

La historia de la ciencia como laboratorio epistemológico: La relación ciencia-tecnología-sociedad desde una epistemología de la imaginación

LUIS MAURICIO RODRÍGUEZ SALAZAR*/CARMEN PATRICIA ROSAS COLÍN**/
SILVERIO GERARDO ARMIJO MENA***

RESUMEN: En este artículo se plantea un nuevo marco epistemológico para abordar la relación ciencia-tecnología-sociedad tomando la historia de la ciencia como laboratorio. Esta relación se ve reflejada en lo que proponemos como triada de pensamiento del sujeto cognoscente y del sujeto epistémico. Esta triada la conforman el razonamiento práctico, el pensamiento simbólico-imaginativo y el pensamiento racional. Cada uno de ellos adquiere distinta primacía en la relación ciencia-tecnología-sociedad en los diferentes periodos de la historia. Bajo una epistemología de la imaginación, en la Edad Media la triada de pensamiento se veía reflejada en la relación artesanos, magos y filósofos de la naturaleza. En la actualidad, en la sociedad del conocimiento, se ve reflejada en la relación técnicos, ingenieros y científicos, mientras que en la economía del conocimiento la triada la forman los industriales, los ingenieros y los científicos. El vínculo entre los elementos de esta triada es el pensamiento simbólico-imaginativo, que a la vez es la base de nuestra propuesta de una epistemología de la imaginación.

PALABRAS CLAVE: epistemología de la imaginación, epistemología de la ingeniería, la historia como laboratorio.

ABSTRACT: We propose a new epistemological framework for the study of science-technology-society relationship in the History of Science as a laboratory. This relationship is reflected in what we suggest as a thinking triad of the cognitive subject and the epistemic subject. This triad is conformed by practical reasoning, symbolic-imaginative thinking and rational thinking. Throughout human history, each one of these elements has had different relevance in the science-technology-society relationship. From an epistemology of imagination in the Middle Age the thinking triad we propose had been reflected in the relationship between artisans, magicians and nature philosophers. Actually in knowledge society it is reflected in the relationship between technicians, engineers and scientists. While in knowledge economy the triad thinking is conformed by industrialists, engineers and scientists. The link among the triad thinking elements is the symbolic-imaginative thinking, which at the same time is the ground of our epistemology of imagination proposal.

KEYWORDS: Epistemology of imagination, engineering epistemology, history as a laboratory.

Introducción

Referirnos a la historia de la ciencia como laboratorio epistemológico, rompe con las versiones tradicionales de la historia como relato de hechos o descripción cronológica de acontecimientos. Tampoco se refiere simplemente a la narrativa como reconstrucción de los hechos históricos de las contribuciones científicas. En nuestra propuesta epistemológica, en la historia de la ciencia hay un continuo,

*Doctor en Ciencias en Matemática Educativa con estancia en la Sección de Metodología y Teoría de la Ciencia, CINVESTAV-IPN. Miembro del Cuerpo Académico de la Maestría en Ciencias en Metodología de la Ciencia, CIECAS-IPN. Beca EDI-SIP-IPN Nivel 6, Beca SIBE-COFAA-IPN Nivel 4. Líneas de investigación: Lógica y Epistemología (Epistemología de la Imaginación), Historia y Filosofía de la Ciencia.

**Maestra en Ciencias en Metodología de la Ciencia, CIECAS-IPN. Graduada con Mención Honorífica y galardonada con el Premio a la Mejor Tesis de Posgrado 2009 por el IPN. Actualmente en estancia predoctoral en CIECAS-IPN en el marco del proyecto SIP 20091432. Líneas de investigación: Formación de Investigadores, Epistemología de la imaginación, Educación Científica.

***Ingeniero en Comunicaciones y Electrónica. Maestro en Política y Gestión del Cambio Tecnológico. Estudios pre-doctorales en Matemática Educativa CINVESTAV-IPN. Profesor en el Programa de la Maestría en Ciencias en Metodología de la Ciencia, CIECAS-IPN. Líneas de Investigación: Educación Científica, Lógica y Epistemología (Epistemología de la ingeniería).

sin que esto quiera decir que su destino ya está marcado. En el devenir histórico, en el marco de la relación ciencia-tecnología-sociedad, hay una relación permanente, la que se establece entre el pensamiento racional, el razonamiento práctico y el pensamiento simbólico-imaginativo. Este es nuestro laboratorio epistemológico.

El pensamiento racional ha estado referido tradicionalmente al pensamiento de los filósofos y los científicos. Respecto al razonamiento práctico, tradicionalmente se hace referencia a él como un mero conocimiento práctico, es decir no se le da el estatus de razonamiento. En esta categoría generalmente se ubica a los artesanos y trabajadores técnicos de las diferentes áreas de la actividad productiva. En cuanto al pensamiento simbólico-imaginativo, generalmente estigmatizado, ha sido relegado como pensamiento mitológico, teológico y mágico, buscando siempre distinguirlo e incluso enemistarlo de la ciencia. Es así que han tenido lugar los grandes debates entre ciencia y religión, literatura mitológica y tradición filosófica, prácticas esotéricas y quehacer científico. En este último caso, un claro ejemplo lo tenemos con la separación entre la Alquimia y la Química, así como entre la Astrología y la Astronomía.

A diferencia de esta perspectiva, nuestra propuesta de epistemología de la imaginación trata de resaltar el papel del pensamiento simbólico-imaginativo como vínculo entre el pensamiento racional y el razonamiento práctico. Se trata de una propuesta unificada de conocimiento que va adquiriendo diversos matices en los diferentes periodos de la historia de las sociedades. En este marco, la relación ciencia-tecnología-sociedad ha implicado y seguirá implicando, la coordinación del pensamiento racional, el razonamiento práctico y el pensamiento simbólico-imaginativo de cada uno de los integrantes de la sociedad (el sujeto cognoscente), así como de los diferentes grupos que la conforman (el sujeto epistémico).

Proponemos entonces una triada de pensamiento en el que cada uno de sus tres elementos adquiere distinta primacía en su proceso de coordinación. No se trata de una distinción o elección tajante de alguno de los tres tipos de pensamiento, en lo individual o en lo colectivo, como comúnmente ha sido planteado. Siendo así, en el caso de la ciencia, el pensamiento racional tiene la primacía, mientras que en la tecnología, sobresale el razonamiento práctico, pero en ambos casos, tanto en ciencia como en tecnología, el pensamiento simbólico-imaginativo es el que hace posible el planteamiento de nuevas realidades.

En esta línea, la historia como destino o como devenir, entendida como un predeterminismo enmarcado en la gran cadena del ser y la idea de progreso, pierde todo sentido, cuando lo que ha cambiado el curso de la historia ha sido la capacidad no tan sólo de imaginar, sino de hacer posibles nuevas realidades. Es así que nos adentramos al laboratorio del epistemólogo: la historia de la ciencia, bajo la guía de nuestra propuesta de epistemología de la imaginación.

De acuerdo con Ludovico Geymonat, para explicar los fenómenos de la naturaleza, el hombre antes de hacer uso de la observación o la razón, recurrió al mito y a la fantasía. El mito, dice, no puede ser considerado como un complejo de falsedades y por lo tanto un obstáculo para la conquista de lo verdadero, sino que éste enseñó al hombre a no limitarse a ser un simple espectador de hechos, sino a buscar los principios que los rigen, lo cual lo llevó a transformar la naturaleza en su beneficio.

En esta búsqueda primitiva, el mundo humano y el divino se encuentran estrechamente unidos uno al otro y, por lo tanto, la indagación se extiende desde la cosmogonía (generación del mundo o cosmos) a la teogonía (generación de los dioses). Conexos con los mitos están los ritos religiosos, propiciatorios, con lo cual el hombre cree conquistar el favor de las potencias que dominan el mundo (Geymonat, 1979/1998, p.15).

Asimismo, Geymonat señala que el “milagro griego”, es decir la formación de la civilización helénica tuvo la influencia de las más antiguas civilizaciones mediterráneas. Una de sus más directas expresiones son los misterios órfico-dionisiacos¹, inspirados en el mito egipcio de Isis y Osiris. Siguiendo a Geymonat en su planteamiento de que las grandes civilizaciones anteriores a los griegos no sólo les transmitieron sus mitos y sus experiencias religiosas, sino también sus investigaciones en matemáticas y astronomía, los griegos, dice, “fueron deudores, en muchas nociones, de los asirio-babilonios y de los egipcios” (Geymonat, 1979/1998, p. 17). Estas civilizaciones además fueron de grandes navegantes y de agricultores. Lejos del mediterráneo existieron otras civilizaciones como la china y la hindú, con un desarrollo científico y tecnológico propio, así como una cultura mítica y religiosa propias.

En el marco de la relación ciencia-tecnología-sociedad, la ciencia está vinculada al pensamiento racional, mientras que la tecnología se vincula con un razonamiento práctico. Sin embargo, en este trabajo incluimos una propuesta que, para el caso de las civilizaciones antiguas, tiene que ver con la cosmogonía y la teogonía, derivadas del pensamiento simbólico-imaginativo de cada una de las diferentes civilizaciones. La relación ciencia-tecnología-sociedad se conforma así por el pensamiento racional, el razonamiento

¹ En relación con Orfeo y Dionisio.

práctico y el pensamiento simbólico de cada uno de los integrantes de la sociedad, así como de los diferentes grupos que la conforman. Lo anterior llevado a la Edad Media, tiene que ver con el simbolismo religioso de los filósofos de la cristiandad y con el pensamiento mágico de los árabes.

El saber del género humano, dice Leibniz, nace de la colaboración de las diferentes actividades a las que se dedican los individuos, por lo que para Leibniz el sujeto cognoscente se forma del trabajo en común de la humanidad. Por su parte Crombie (1953/1971; 1973), señala que el origen de la ciencia moderna se debió al encuentro de los filósofos de la cristiandad occidental de los siglos XII y XIII, con el sistema científico greco-árabe. De los griegos heredaron, dice, la explicación racional y de los árabes la arraigada tradición de su pensamiento basado en la ciencia mágica o ciencia oculta.

Desde el punto de vista de la epistemología de la imaginación, el trabajo experimental basado en el pensamiento mágico, como lo propone Crombie, rompe con la visión simplificada del experimento entendido como el elemento crucial para la evidencia empírica y aval del conocimiento científico. Una visión que considera que el experimento en sí mismo es lo que permite la comprobación rigurosa de los hechos. Esta perspectiva es difundida por una visión ingenua y reduccionista de lo que es el positivismo. En nuestra propuesta, los hechos positivos, es decir, aquello que tiene que ver con la realidad exterior, antes son imaginados, e incluso muchas veces permanecen fuera de toda métrica. En el marco de nuestra propuesta de epistemología de la imaginación, el diseño experimental se basa en la coordinación de lo que hemos denominado triada de pensamiento.

Trasladándonos de las civilizaciones antiguas y la edad media a la actualidad, nuestra propuesta sobre la triada de pensamiento es que el pensamiento simbólico-imaginativo se ve reflejado en la innovación, como punto de encuentro entre la ciencia y la tecnología en el contexto social de hoy en día. Asimismo, desde nuestra propuesta, el punto de encuentro entre el científico y el técnico es el ingeniero. El pensamiento simbólico-imaginativo del ingeniero une a los científicos y a los técnicos desde el propio pensamiento simbólico-imaginativo de cada uno de ellos, ya que el pensamiento racional, el razonamiento práctico y el pensamiento simbólico-imaginativo están presentes en todo sujeto cognoscente.

Como grupo, esta división se establece de acuerdo a la primacía de cada uno de ellos. Así, lo que caracteriza al trabajo científico es la primacía del pensamiento racional, de la misma forma como lo que prima en los técnicos es el razonamiento práctico. Esta propuesta es presentada y

sustentada en el marco de lo que hemos estado desarrollando como una epistemología de la imaginación (Rodríguez-Salazar y Quintero-Zazueta, 2009; Rodríguez-Salazar y Rosas-Colín, 2009), de la cual deriva lo que denominamos epistemología de la ingeniería (Armijo-Mena, Rodríguez-Salazar y Quintero-Zazueta, 2009; Gorostiola-Martínez, Rodríguez-Salazar y Rojo-Asenjo, 2009; Rosas-Colín, Rodríguez-Salazar y Armijo-Mena, 2009).

La relación ciencia-tecnología-sociedad como conocimiento unificado desde una epistemología de la imaginación

La relación ciencia-tecnología-sociedad la podemos remontar al periodo de los filósofos presocráticos y socráticos. Esta relación la planteamos como la relación del pensamiento racional de los filósofos de la época, como los sofistas y los cínicos, con el razonamiento práctico de los navegantes, los metalurgistas y los artesanos en general. En el período helenista, William Keith Chambers Guthrie (1962) en su trabajo *A History of Greek Philosophy Volume I: The Earlier Presocratics and the Pythagoreans*, señala que abordar la historia de la filosofía griega, implica describir el periodo en el que se formó nuestro propio pensamiento. Asimismo señala que hay otra cara de la moneda: entender las aportaciones griegas como el inicio del pensamiento racional en Europa.

Sin embargo, no sólo hace referencia al pensamiento racional, sino lo refiere como la aplicación de la ciencia a la tecnología, especialmente en la esfera militar. Esta relación comúnmente se señala como la relación de las artes prácticas con la filosofía. En la “Enciclopedia de la Pléyade”, Clémence Ramnoux (1972) realiza un estudio acerca de la relación entre el pensamiento de los filósofos presocráticos con la cosmología de los pensadores de otras actividades científicas. Para llevar a cabo su análisis, Ramnoux se enfrenta al problema que enfrenta todo historiador de la ciencia, la escasa documentación. A falta de biografías de los filósofos que vivieron en la primera mitad del siglo V a. C., dice Ramnoux (1972), nos informamos más a través de los procedimientos de construcción de la leyenda: “A falta de historia, y basándonos en los relatos llegados hasta nosotros, sería más fácil esbozar una sociología de la sabiduría” (p. 3).

No siendo historiadores de la ciencia, recurrimos a las reconstrucciones narrativas de los historiadores, o bien a los textos originales de los científicos, para convertirlos en nuestro laboratorio, un laboratorio para la experimentación epistemológica. De esta manera, nosotros en lugar de una sociología de la sabiduría, proponemos una epistemología de la imaginación. En el marco de nuestro análisis de la relación ciencia-tecnología en las sociedades de la Grecia

antigua, podemos convertir un pequeño fragmento de la narrativa que hace Ramnoux en un laboratorio para la experimentación epistemológica. Podemos establecer la relación entre el razonamiento práctico y el pensamiento simbólico-imaginativo que los llevó al desarrollo de su pensamiento racional:

Un hombre sabio, en griego, es ante todo un hombre sobresaliente en todo tipo de técnicas. Pero es también mucho más. El genio griego no fue más contemplativo que el de los pueblos del desierto: pero su asombro ante el cielo deja un sitio a la curiosidad por el arte. [...] No satisfechos con reunir en una figura inscribible el ámbito explorado con las navegaciones, imaginan o fabrican modelos de todas las cosas, incluso el sol, los planetas, la bóveda estrellada y lo que rodea al todo (Ramnoux, 1972, p. 4).

Debemos entonces, en primer lugar, quitarnos el prejuicio de que con los griegos comienzan la filosofía y la ciencia, siguiendo los procedimientos de construcción de leyendas que propone Ramnoux. Sin embargo, también tenemos que despojarnos del prejuicio de la leyenda de que los griegos fueron hostiles a la tecnología. Al respecto, Ian Hacking en el capítulo “El Experimento” de su libro *Representing and Intervening* en el apartado “Clases y Castas” señala que:

Según la leyenda y quizás por naturaleza, los filósofos están más acostumbrados al escritorio que al banco de los artesanos. [Sin embargo] Filósofos como Bacon y Leibniz muestran que no tenemos por qué ir contra lo experimental (Hacking, 1983/1996, p. 178).

Respecto a la leyenda que señala Hacking, el desprecio de los griegos por la tecnología puede ser interpretado por la lejanía, métrica, entre la Academia y el *Herculaneum*, así como por la cercanía, también métrica, de la Academia con el Ágora, como se aprecia en el siguiente párrafo de Hacking:

Platón y Aristóteles frecuentaban la Academia de Atenas. Ese edificio está localizado a un lado del ágora, o mercado. Está casi tan lejos como es posible del *Herculaneum*, el templo de la diosa del fuego, patrona de los metalúrgicos (Hacking, 1983/1996, p. 178).

Se puede interpretar también como desprecio, el aparente sarcasmo de la última frase del siguiente párrafo del mismo Hacking:

De todos los edificios que en un tiempo heroseaban el ágora ateniense, sólo uno se mantiene como siempre fue, intacto por el tiempo o la reconstrucción. Ése es el templo de los metalúrgicos. **La academia se cayó hace mucho tiempo. Ha sido reconstruida –en parte– con dinero ganado en los altos hornos de Pittsburg**² (p. 178).

Sin embargo, en una sociedad planificada como la de la Grecia antigua, la lejanía entre el templo del saber y el templo de los metalúrgicos se puede interpretar, desde nuestros días, como el de una sociedad que pone en el centro a la ciencia y en la periferia, a la tecnología. El último párrafo no resulta entonces sarcástico sino en todo caso paradójico, es decir, que la tecnología reconstruya la ciencia. En el marco de nuestra propuesta sobre la relación ciencia-tecnología-sociedad, no sólo se aborda la relación entre el pensamiento racional y el razonamiento práctico en las diversas sociedades. Aun cuando ha sido poco explorado, encontramos algunos trabajos en los que también se incursiona en el papel que jugó el pensamiento simbólico en la ciencia medieval. La relación del pensamiento simbólico con el pensamiento racional y con el razonamiento práctico ha sido explorada, entre otros autores, por Marie Boas (1962), Wayne Shumaker (1989) y Lyn Thorndike (1925).

En el marco de nuestra propuesta de la historia de la ciencia como laboratorio para la experimentación epistemológica, la relación ciencia-tecnología-sociedad la planteamos como la relación magos, artesanos y filósofos de la naturaleza. En otras palabras, lo planteamos como el encuentro entre el pensamiento simbólico de los magos, el razonamiento práctico de los artesanos y el pensamiento racional de los filósofos de la naturaleza; conformando a nivel colectivo la mencionada triada de pensamiento. Esta idea la fundamentamos con lo que plantea Crombie en las dos tesis centrales del libro en el que propone el origen de las ciencias experimentales: *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science*.

En esta obra Crombie señala como primera tesis, que el entendimiento sistemático de al menos los aspectos cualitativos de la concepción moderna del método experimental, fue creado por los filósofos de Occidente en el siglo XIII. En una segunda tesis señala que “una teoría sistemática de la ciencia experimental fue entendida y practicada por suficientes filósofos para que su trabajo produjera la revolución metodológica a la cual la ciencia moderna debe su origen” (Crombie, 1953/1971, p. 9). Asimismo, en su obra de historia de la ciencia, la cual abarca el estudio de los siglos V al XVII, Crombie señala, en el mismo marco del encuentro de la cristiandad occidental con el sistema científico greco-árabe, que de los griegos heredaron la explicación racional, pero de los árabes heredaron la

² Las negritas son nuestras para resaltar lo que podría ser interpretado como sarcasmo o como paradoja.

arraigada tradición de su pensamiento basado en la ciencia mágica u oculta. Su propuesta es que el simbolismo mágico de los árabes se unió al simbolismo religioso de los Filósofos de la Cristiandad, como base de la nueva ciencia experimental:

La nueva ciencia que comenzó a infiltrarse en la Cristiandad Occidental en el siglo XII era predominantemente árabe por la forma pero basada, en las obras de los antiguos griegos [...] Una esfera en la que los árabes hicieron una de las contribuciones más importantes y originales a la historia de la ciencia europea fue la alquimia, la magia y la astrología, y ello fue en parte debido a la manera particular de abordar los problemas del mundo de la naturaleza que es característica de una gran tradición del pensamiento árabe [...] No se hacía ninguna distinción estricta entre la ciencia de la naturaleza y la ciencia mágica u oculta, puesto que se reconocía igualmente que tanto las causas físicas como las ocultas podían ser responsables de los fenómenos físicos (Crombie, 1973, pp. 44, 57, 58).

Crombie hace referencia, aunque no profundiza en ello, al simbolismo de la magia en la tradición del pensamiento árabe, reflejado en su uso del dominio de la naturaleza. Asimismo, hace referencia al simbolismo del pensamiento de los filósofos de la Cristiandad, en el cual se expresa su interés por explicar los primeros capítulos del Génesis a través del estudio de la naturaleza. Fue hasta muy avanzado el siglo XVI, señala Crombie, cuando la relación del simbolismo del pensamiento mágico de algunos filósofos de la naturaleza, así como las artes practicadas por algunos de ellos dio origen a la ciencia experimental. Crombie señala de manera destacada que en la Edad Media existen demasiadas evidencias que muestran que las artes prácticas y la filosofía no estuvieron totalmente divorciadas.

Algunas de estas evidencias se pueden apreciar en el desarrollo de la agricultura, con sus métodos de cultivo, el mejoramiento de suelos, el arado y el uso de la tracción animal. Asimismo, se pueden apreciar en las técnicas mecánicas, reflejadas en sus molinos de viento y de agua, en las prensas y las catapultas, en las artes del uso del hierro y del vidrio. Sin embargo, dice Crombie, en donde mejor se aprecia la relación entre las actividades prácticas y la filosofía natural es en la medicina. “La Medicina es quizá, de todas las artes prácticas de la Edad Media, en la que la mano, la mente, la experiencia y la razón, se combinan para producir los resultados más destacables” (Crombie, 1973, p. 203).

Aun cuando Crombie resalta la importancia de la ciencia mágica en el origen de la ciencia experimental, la mayoría de las referencias en la literatura científica se refiere al trabajo experimental como un acto racional, como

una característica de la revolución científica. Sin embargo, como señala Alexandre Koyré en el capítulo “Los orígenes de la ciencia moderna”, para Crombie no se trató de una revolución científica, sino de una revolución metodológica (Koyré, 1956). Para Crombie la relación del simbolismo mágico y el simbolismo teológico queda sintetizada en el pensamiento de Roger Bacon, el cual se ve reflejado en su deseo de dominar la naturaleza con el fin de proteger a la Cristiandad.

En el marco de nuestra propuesta de una epistemología de la imaginación, el simbolismo del pensamiento teológico de Bacon (Roger Bacon, no Francis Bacon), combinado con el simbolismo de su pensamiento con respecto a la ciencia mágica lo llevó a “imaginar” mejoras en los suelos y sus productos, en la producción animal y en la medicina. Al contrario de los pensadores de la época que imaginaron el vuelo del hombre a través de seres transportados por pájaros y brujas, Bacon imaginó máquinas voladoras y embarcaciones sin remos, ambas conducidas por un solo hombre.

Otro ejemplo de la relación ciencia-tecnología-sociedad desde nuestra propuesta de una epistemología de la imaginación, se presenta en el libro de Paolo Rossi, “Los Filósofos y las Máquinas 1400-1700”, quien señala que en donde hallamos por primera vez en la historia la convergencia de la práctica de los artesanos y de los técnicos, con la gran tradición teórica, es con Galileo, quien marca el inicio de la ciencia experimental y con ella la revolución científica. En la obra de Galileo “se funden, formando un sólido conjunto de conocimientos teóricos, la mecánica empírica y la ciencia del movimiento” (Rossi, 1970, p. 109). Siguiendo a Rossi en su análisis de la obra de Galileo *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* se ilustra la relación de la ciencia con la tecnología como la convergencia del pensamiento filosófico con la labor de los técnicos:

Sagredo: llena de maravilla y al mismo tiempo de deleite la fuerza de las demostraciones necesarias, como lo son sólo las matemáticas. Ya sabía yo, por haber prestado fe a los relatos de varios artilleros, que de todos los tiros que se disparan hacia arriba, así los del cañón como los del mortero, el más largo, o sea, el que más lejos lanza la bala, es el que se hace con una elevación de medio ángulo recto, que ellos dicen del sexto punto del cuadrante; pero al entender la causa por la que esto sucede supera con infinito intervalo la simple noticia adquirida mediante los testimonios ajenos y aun la que se adquiere mediante muchas experiencias repartidas (Galileo Galilei, *Discorsi*, citado por Rossi, 1970, p.110).

En la visión tradicional de Galileo como principal representante de la revolución científica, lo cual lo ha

llevado a ser considerado también el padre de la ciencia experimental, se considera que su metodología consta de tres pasos fundamentales: observación, experimentación y demostración. Vincenzo Viviani, quien fue el último discípulo de Galileo y uno de sus primeros biógrafos, en su trabajo publicado en 1654 *Racconto istorico*, veinte años después de la muerte de Galileo, enfatiza su talento práctico como científico, músico y aun como pintor. Viviani señala que este talento le permitió a Galileo captar los secretos de la naturaleza observando con gran cuidado y dando minuciosos detalles (citado por Segre, 1980, p. 231). Por el contrario, Marin Mersenne, casi dos décadas antes que Viviani, dudaba que Galileo hubiera llevado a cabo los experimentos acerca del plano inclinado (citado por Segre, 1980, pp. 232-233). Un elemento más que acompaña la duda acerca del trabajo experimental de Galileo, es si realmente construyó los instrumentos con los que experimentaba.

Más allá del debate de que si usó o no instrumentos, está el problema de su construcción. Si no construyó materialmente el plano inclinado, tuvo que haber configurado el modelo primeramente como una imagen en el pensamiento, lo mismo que antes de diseñar sus experimentos los tuvo que haber configurado antes en imágenes. Considerando la historia de la ciencia como laboratorio para la reflexión epistemológica, el trabajo de Galileo es un excelente objeto de estudio para una epistemología de la imaginación. En la misma época de Galileo, una referencia a la relación ciencia-tecnología, ahora como la relación de la tecnología con la ciencia, es el caso del marinero inglés Robert Norman, quien después de pasar muchos años recorriendo los mares se dedicó a la construcción y comercio de brújulas. Con las brújulas de su propia creación, Robert Norman arribó al trabajo experimental, publicando sus resultados en un pequeño volumen acerca de la declinación de la aguja magnética de sus brújulas, la cual consideró como una nueva atracción.

El título de su libro en inglés antiguo es: *The newe attractive, containing a short discourse of the Magnes or Lodestone and amngest other his vertue; of newu discovered secret and subtil propertie concernyng the declining of the needle*. Paolo Rossi menciona que Norman se calificaba a sí mismo como un *unlearned mathematician*, lo cual significa que para él su trabajo no era el de un teórico. El trabajo de Norman fue citado por William Gilbert, haciendo continua referencia al reporte de su *Newe Attractive*, señalando que utilizó ampliamente los resultados obtenidos por “ese experto marinero e ingenioso artesano” (Rossi, 1970, pp. 17, 18). Asimismo, en la monografía que acompaña la publicación del *Æpinu's Essay on the Theory of Electicity and Magnetism* de Franz Ulrich Theodor Æpinus (1724- 1802), Home (1979) señala que el trabajo

de Robert Norman fue citado por Musschenbrock, físico holandés inventor de la botella de Leyden. Sin embargo, en la mayoría de los libros de historia de la ciencia no se hace referencia al trabajo de este marinero artesano que arribó al trabajo teórico.

Un ejemplo que es más conocido, en donde un grupo de artesanos arriban al trabajo teórico, es expuesto por Sturgeon y el de Faraday, sobre todo éste último. Iwan Rhys Morus (1992) relata el caso de William Sturgeon, quien después de haber aprendido de su padre el oficio de fabricante de zapatos, al matricularse en el ejército de manera voluntaria, se convirtió en artillero, profesión que ejerció durante 16 años. Durante ese tiempo, de manera autodidacta aprendió matemáticas y filosofía natural, además de griego y latín. Esto lo llevó más tarde, cuando había dejado la milicia, a experimentar en electricidad, para lo cual construyó sus propios instrumentos. Iwan Rhys Morus compara el trabajo experimental de William Sturgeon con el de Michael Faraday.

Como es sabido, mientras ejercía la profesión de encuadernador Faraday asistía a los cursos de filosofía natural impartidos por Humphry Davy, hasta convertirse en su asistente. Fue así como se introdujo en la experimentación con electricidad y magnetismo. El punto en común es que ambos al arribar al terreno teórico fabricaron sus propios instrumentos, para con ellos experimentar en el campo de la teoría naciente en ese momento: la teoría electromagnética. El trabajo experimental de Faraday que ilustra la propuesta de epistemología de la imaginación, entendida como la configuración imaginaria de una realidad posible, como en el caso de la creación de su aparato de rotación electromagnética. Su configuración imaginaria fue expresada en trazos, bocetos y diagramas antes de su materialización (Rodríguez-Salazar, 2008). Esta misma propuesta puede ser aplicada a sus resultados experimentales, los cuales fueron expresados como líneas de fuerza, previos a la propuesta de campo.

Por su parte, David Gooding (1980) hace referencia a la relación entre Michael Faraday y William Thomson como la relación entre el trabajo experimental (Faraday) y el trabajo teórico (Thomson) y como ejemplo de los primeros pasos hacia la noción de campo y su expresión matemática (Faraday y Thomson, respectivamente). De ninguna manera se trata de una simple relación entre el trabajo teórico y el trabajo práctico. En todo caso se trata de la relación entre un trabajo teórico-experimental y un trabajo teórico-matemático. Se trata de un trabajo teórico-teórico que desembocó en las ecuaciones de Maxwell, las cuales tienen un fuerte impacto tecnológico al ser aplicadas a algunas de las ramas de la ingeniería eléctrica, la ingeniería electrónica y de la ingeniería en comunicaciones, entre otras.

Por último presentamos la propuesta del físico Oliver Darrigol, interpretado en el marco de nuestra propuesta como la relación ciencia-tecnología, entendida como la relación teoría-práctica en el caso del trabajo teórico y el trabajo experimental. La tesis epistemológica de Darrigol es que ambas actividades están presentes en el mismo actor, sólo que de diferente manera en los diferentes actores. Dicho de otra manera, en el mismo sujeto está integrada la capacidad tanto para el trabajo experimental como para el trabajo teórico, la diferencia radica en la primacía de cada uno de ellos, como en el caso de Faraday y Ampère, al que hace referencia Darrigol.

También, Darrigol se pronuncia en contra de la separación que hacen los historiadores de la ciencia de las actividades teóricas y las actividades experimentales, así como al supuesto de los filósofos de la ciencia de que la teoría simplemente controla la experimentación. Esta tesis epistemológica la ejemplifica con los trabajos experimentales en electrodinámica de Michael Faraday y Andre- Marie Ampère:

La coordinación de la práctica experimental y la práctica teórica por el mismo actor, implica principios metodológicos que guían a ambos, al experimento y a la teoría. Por ejemplo, Faraday siguió un principio de contigüidad de acuerdo al cual, tanto la exploración como la representación del fenómeno trataban de “establecer hechos estrechamente vinculados”; Ampère basó tanto su teoría como sus experimentos en la descomposición de sistemas electrodinámicos en elementos de corriente (Darrigol, 2000, p. viii).

En el marco de nuestra propuesta, lo que le faltó a Darrigol es destacar el papel del pensamiento simbólico-imaginativo, al cual ya hemos hecho referencia en el caso de Faraday, que en el caso de Ampère está muy relacionado con los aspectos teórico-matemáticos a partir de los cuales pudo imaginarse el magnetismo como electricidad en movimiento, base de su teoría electrodinámica. De esta manera, la relación entre el pensamiento racional, el razonamiento práctico y el pensamiento simbólico-imaginativo, se presenta tanto en el plano individual, como acabamos de señalar, así como en el plano social, como lo planteamos en nuestro recorrido histórico en el marco de la relación ciencia-tecnología-sociedad.

Bases teóricas de nuestra propuesta de epistemología de la imaginación

Nuestra propuesta epistemológica se empezó a desarrollar a partir de la reconstrucción que uno de nosotros inició sobre la propuesta teórica de Jean Piaget con el propósito de plantear una nueva noción de experiencia

(Rodríguez-Salazar, 2008). De acuerdo a la teoría psicogenética de Jean Piaget (1936/1990; 1937/1995; 1959/1996; 1967/1999; 1995), el sujeto cognoscente está conformado por tres conjuntos de estructuras cognitivas: la estructura de la inteligencia práctica, la estructura del pensamiento simbólico y la estructura del pensamiento formal. En la propuesta de Piaget, a través de la imitación diferida y el juego simbólico, las acciones materiales sobre la realidad se prolongan en acciones evocadas en el pensamiento.

Esto da paso al simbolismo lúdico, creador de la representación mágico-fenomenológica del mundo de los niños. Posteriormente, mediante el juego de reglas, es decir, con el paso del juego individual egocéntrico al juego socializado, el simbolismo lúdico se convierte en pensamiento simbólico, creador de las representaciones del mundo socialmente aceptadas. Por último, las acciones evocadas del pensamiento simbólico se convierten en grupos de operaciones que son llevadas a cabo mentalmente, convirtiendo el pensamiento simbólico en pensamiento representativo, del cual deriva la creación de la representación del mundo socialmente aceptada. Los grupos de operaciones al principio tienen como referencia la realidad exterior, por lo que Piaget les da el nombre de operaciones concretas. Posteriormente, los grupos de operaciones se llevan a cabo de manera completamente independientes de la realidad exterior, que Piaget les da el nombre de operaciones formales. En la propuesta de Piaget, esto marca el paso de la lógica del niño a la lógica del adolescente, por medio de lo cual el adolescente arriba al mundo de los adultos.

Nuestra diferencia con Piaget es que, para él, estos tres grandes conjuntos de estructuras se van subsumiendo en el desarrollo psicogenético del niño. Así, en su propuesta la inteligencia sensorio-motriz y el simbolismo lúdico se subsumen en las estructuras del pensamiento simbólico. De la misma manera, las estructuras del pensamiento simbólico son subsumidas en las estructuras del pensamiento representativo, al subsumirse las estructuras del pensamiento simbólico en las estructuras del pensamiento formal. En la propuesta de Piaget esto da origen al sujeto lógico-matemático, es decir, un sujeto epistémico que, a diferencia del sujeto pre-lógico se maneja bajo representaciones del mundo que son socialmente aceptadas.

En la propuesta de Piaget, el sujeto pre-lógico es el que abarca el período que va del final de la inteligencia sensorio-motriz al inicio del pensamiento formal. De esta manera, las estructuras del simbolismo lúdico, las del pensamiento simbólico y las estructuras de las operaciones concretas, corresponden al sujeto pre-lógico. Al ser subsumidas las estructuras de las operaciones concretas en las estructuras de las operaciones formales y al subsumirse las estructuras del simbolismo lúdico y las del pensamiento

simbólico en las estructuras del pensamiento representativo, todas ellas desaparecen. Para Piaget entonces, el sujeto cognoscente corresponde al sujeto pre-lógico, mientras que el sujeto epistémico, como se acaba de señalar, corresponde al sujeto lógico-matemático.

En nuestra propuesta en cambio, aunque consideramos que el sujeto cognoscente abarca todas las etapas que propone Piaget en el desarrollo del sujeto, para nosotros no se subsumen las mencionadas estructuras. El sujeto cognoscente para nosotros queda conformado por tres grandes conjuntos de estructuras cognitivas: las del razonamiento práctico, las del pensamiento simbólico-imaginativo y las del pensamiento formal o racional. En un trabajo anterior de uno de los autores (Rodríguez-Salazar, 2008), esto se planteó como base para una noción ampliada de experiencia. Rompiendo con la visión tradicional de ver la experiencia únicamente como experiencia práctica, se propuso que todo sujeto cognoscente lleva a cabo tanto experiencias prácticas por medio de acciones materiales, como experiencias formales mediante operaciones tanto concretas como formales llevadas a cabo mentalmente.

Tanto en ese trabajo como en trabajos subsecuentes, hemos destacado la importancia del papel que juegan las estructuras del simbolismo lúdico y las del pensamiento simbólico en el lenguaje pre-verbal y pre-conceptual (Rodríguez-Salazar & Quintero-Zazueta 2009; Rodríguez-Salazar & Rosas-Colín, 2009). En la propuesta de Piaget, el lenguaje pre-verbal corresponde a la etapa del simbolismo lúdico, mientras que el lenguaje pre-conceptual corresponde a la etapa del pensamiento simbólico, ambas pertenecientes a la etapa del pensamiento pre-lógico. Para nosotros, más que una etapa pre-lógica, la consideramos como un proceso contra-lógico o de oposición tanto a las representaciones del mundo socialmente aceptadas, como a su transmisión cultural. Para nosotros esta es la base de nuestra propuesta sobre el cambio teórico en ciencia, entendido como un proceso individual que se socializa.

La propuesta de Piaget (1959/1996; 1967/1999) acerca del simbolismo lúdico y el pensamiento simbólico en el niño, se enmarcan en la teoría psicológica de la formación de imágenes mentales y su transformación en representaciones cognitivas. En el marco de la teoría de la imagen como sistema simbólico de representación, el trabajo de Piaget es una propuesta de carácter claramente epistemológico y no psicológico. Por lo tanto, en virtud de que estas dos etapas, el simbolismo lúdico y el pensamiento simbólico, son fundamentales para nuestra propuesta de epistemología de la imaginación, presentamos su fundamento teórico desde la psicología. Al igual que Piaget, recurrimos a la psicología para dar fundamento a nuestra propuesta epistemológica.

Para la psicología, la formación de imágenes mentales se divide en dos tipos generales: las “imágenes de memoria” y las “imágenes de imaginación”, ambas reunidas bajo el término genérico de “imágenes del pensamiento” (Denis, 1984). Las imágenes de memoria “son el recuerdo, en forma más o menos fiel, de una experiencia o una sensación anterior” (Vinake, 1952, citado por Denis, 1984). Para Denis “en esta función es donde se encuentra esencialmente el aspecto imitativo de la imagen que subraya Piaget” (Denis, 1984, p. 42). Respecto a las imágenes de imaginación, son producto de la libre combinación de varias imágenes de memoria.

Aun cuando Denis no lo menciona, en la imagen de imaginación se enmarcan las primeras imágenes del simbolismo lúdico propuestas por Piaget como imágenes en las que se mezclan la inteligencia y la efectividad. La unión de ambas imágenes, las de memoria y las de imaginación, en la propuesta de Piaget, se ilustra con el juego de la comidita como simbolismo lúdico. En este juego, al tiempo que imita la realidad, la asimila lúdicamente a su mundo mágico-fenomenológico. Además de las imágenes referenciales y las de elaboración, ambas relacionadas con experiencias perceptivas, hay otro tipo de imágenes: las imágenes eidéticas o imágenes de experiencia evocadas. Se trata de imágenes de experiencias que nunca han sido realizadas. Por lo tanto, a la configuración de este tipo de imágenes se les llama también experiencia eidética.

Desde el punto de vista de la psicología, el problema para diferenciar las imágenes eidéticas de las imágenes de memoria y las imágenes de imaginación, es su cercanía a la perfección visual. Bajo este criterio, la diferencia entre las imágenes eidéticas, que no son imágenes extraídas de la realidad, por lo que son confundidas con las imágenes de las alucinaciones, es que el sujeto eidético no confunde sus imágenes con percepciones visuales, como es el caso de las alucinaciones. Dicho de otra manera, el sujeto eidético está consciente de que dichas imágenes él mismo las elabora, es decir, sabe que son imágenes producto de su propia configuración imaginaria. Bajo este planteamiento teórico, desde la psicología, la experiencia eidética, como imágenes de experiencias que nunca han sido realizadas, la trasladamos al terreno epistemológico como base de nuestra propuesta de la experiencia simbólico-imaginativa.

Por tratarse de imágenes que no son extraídas de la realidad y por tratarse de imágenes de experiencias que nunca han sido realizadas, las imágenes de la experiencia simbólico-imaginativa, se pueden considerar como una alternativa no apriorista al planteamiento del empirismo. Esta es la base de nuestra propuesta de una epistemología de la imaginación, la cual ya ha sido propuesta en trabajos anteriores (Rodríguez-Salazar & Quintero-Zazueta, 2009; Rodríguez-Salazar &

Rosas-Colín, 2009). Un claro ejemplo de imagen eidética es la percepción de la trayectoria parabólica de los proyectiles, como la trayectoria del balón de soccer en su camino a la red y en general durante todo el juego.

Es claro que no es una imagen extraída a través de la percepción, ya que la trayectoria parabólica no existe en la realidad material. También es claro que no es debida a una intuición *a priori*, ya que no todos los sujetos perciben dicha trayectoria, menos aún cuando el sujeto no sabe qué es una parábola. Se trata de una imagen que es producto de su propia configuración imaginaria de la realidad, la cual es compartida con otros sujetos que parten de la misma base teórica. Sin embargo, las imágenes eidéticas también son producto de una experiencia nunca antes tenida, la cual es la base de todo diseño experimental. Según Michele Denis las primeras investigaciones importantes en el campo de las imágenes eidéticas fueron las de Jaensch en 1930 y la de Klüber en 1932, las cuales estaban relacionadas con procesos patológicos. Sin embargo, dice Denis, también:

[...] apoyan la hipótesis de que la imagen eidética constituye la supervivencia de una forma de cognición relativamente *primitiva* fundada sobre todo en modalidades no verbales, eminentemente concretas, de representación mental, que en el curso del desarrollo normal del individuo son *sustituídos* por modalidades cognoscitivas más abstractas (Denis, 1984, p. 39).

En la imagen eidética reside la propuesta de Jean Piaget del pensamiento simbólico como modalidad pre-verbal y pre-conceptual a nivel individual. A nivel colectivo, la propuesta que queremos recuperar para nuestra epistemología de la imaginación es la del simbolismo primitivo de Carl Gustav Jung, base de su propuesta del inconsciente colectivo como *paleopsique* o forma preexistente de la percepción. En su libro *Psicología y Alquimia*, Jung plantea que el inconsciente colectivo es “ese hecho psíquico que realiza el papel de mediador entre la conciencia y las funciones fisiológicas” (Jung, 1952/2003, p. 301).

Jung señala que los significados atribuidos por los alquimistas a los objetos de sus investigaciones se llevaban a cabo mediante un proceso íntimamente ligado de *meditatio e imaginatio*. Se trata de “un reino *intermedio* entre la materia y el espíritu, un reino psíquico de cuerpos sutiles que tenían la propiedad de manifestarse tanto material como espiritualmente” (p.299). Para Jung los significados atribuidos por los alquimistas a los objetos de sus investigaciones, eran en su origen formas y figuras derivadas del inconsciente colectivo. Su influencia apriorista se ve reflejada cuando señala que las formas y figuras son proyecciones en lo real de los datos del inconsciente colectivo activados por la imaginación.

Hacemos referencia al nivel colectivo, ya que para ambos, Piaget y Jung, se trata de un pensamiento contralógico mediante el cual los individuos y sus colectividades se oponen a las representaciones socialmente aceptadas y su transmisión cultural a través del cual las sociedades buscan perpetuarse. Bajo este marco, los individuos y sus colectividades crean propuestas completamente diferentes a las ya establecidas. En otras palabras, esta perspectiva nos ha llevado a desarrollar una epistemología de la imaginación que parte de la reconstrucción que hacemos de algunos de los aspectos de la propuesta teórica de Jean Piaget, así como los aspectos de la propuesta teórica de Jung. Nuestra propuesta de epistemología de la imaginación parte de una noción ampliada de experiencia que conlleva la necesidad de reflexionar sobre el papel que juega la imaginación en la generación y socialización del conocimiento.

Nuestra propuesta de epistemología de la imaginación parte de que el sujeto cognoscente no solamente lleva a cabo acciones materiales sobre la realidad exterior, la denominada experiencia práctica, sino también lleva a cabo acciones operatorias sobre sus propias abstracciones de la realidad, en su pensamiento, lo cual puede denominarse experiencia formal. En íntima relación con la experiencia práctica y con la experiencia formal, proponemos la experiencia simbólico-imaginativa, la cual se lleva a cabo mediante acciones evocadas en la imaginación. Así, el sujeto cognoscente es capaz de imaginar nuevas realidades en el universo material, así como nuevas realidades en universos de entidades abstractas: los universos de los entes matemáticos.

Subrayamos que no se trata de un acto de voluntad en el que el sujeto arbitrariamente se imagina las cosas y éstas se hacen realidad. Se trata de un complejo proceso en el que mediante acciones evocadas se crean, por un lado, configuraciones imaginarias de realidades materialmente posibles, y por otro, nuevas realidades estructuradas formalmente en la imaginación. En el primer caso la experiencia se lleva a cabo en el universo empírico material, es decir, la realidad exterior. En el segundo caso, la experiencia se lleva a cabo en lo que hemos denominado universo empírico de lo imaginado, es decir, un universo imaginado por el sujeto que es en el que habitan los entes matemáticos.

Bajo esta base teórica, hemos ido a la historia de la ciencia como laboratorio epistemológico para llevar a cabo nuestra experimentación en el marco de una epistemología de la imaginación. Esta línea de investigación la pensamos continuar en el programa de la Maestría en Ciencias en Metodología de la Ciencia que se imparte en el Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales. Asimismo, hemos continuado desarrollando nuestra propuesta de una epistemología de la imaginación en el marco

del razonamiento matemático para la configuración de una nueva pedagogía de la matemática (Rodríguez-Salazar & Rosas-Colín, 2009; Armijo-Mena, Rodríguez-Salazar & Quintero-Zazueta, 2009b; Cecilio-Martínez, Rodríguez-Salazar & Hernández-Ulloa, 2009). Actualmente, nuestra propuesta de epistemología de la imaginación ha derivado en una reciente propuesta: una epistemología de la ingeniería (Armijo-Mena, Rodríguez-Salazar & Quintero-Zazueta, 2009a; Gorostiola-Martínez, Rodríguez-Salazar & Rojo-Asenjo, 2009; Rosas-Colín, Rodríguez-Salazar & Armijo-Mena, 2009).

Hacia una nueva propuesta de la relación ciencia-tecnología-sociedad: el papel de los ingenieros como magos de la sociedad actual

Considerar la historia de la ciencia como un laboratorio epistemológico, en el caso del desarrollo histórico de la ingeniería y en el marco de la relación ciencia-tecnología-sociedad, no es tarea fácil. No se trata de una mera incursión en lo que se podría entender como una descripción del desarrollo de la ingeniería en las diferentes etapas de las civilizaciones. En el marco de lo que se ha denominado “la gran idea de progreso”, de manera trivial se ha considerado que la tecnología, y con ella la ingeniería, es la que ha contribuido de forma importante a la conformación de nuestra civilización actual.

En el marco de la relación ciencia-tecnología, la formación en ingeniería, sobre todo la que se oferta en el Instituto Politécnico Nacional, de acuerdo con nuestra propuesta epistemológica, pertenece más al ámbito de la ciencia, sin dejar de ser altamente pertinente en el ámbito de la tecnología. En el marco del proceso de innovación tecnológica, todas las actividades previas al escalamiento industrial, se ubican en el ámbito de la ciencia. En este marco, las patentes, las cuales, en diferente proporción, derivan de la ciencia básica y la ciencia aplicada, requieren de un proceso de desarrollo experimental, antes de su participación en el proceso de escalamiento industrial.

Por su sólida formación en matemáticas, en analogía con la dicotomía matemático puro - matemático aplicado, si su quehacer lo dirige hacia el ámbito de la tecnología, hablaríamos de un ingeniero aplicado, mientras que si se dirige hacia el ámbito de la ciencia lo llamaríamos ingeniero puro. Desde nuestra propuesta, en ninguno de los dos casos se debe hacer referencia a la formación de técnicos al servicio de la patria, sino de la formación de mejores ingenieros politécnicos para un mejor país.

Aproximadamente en el 200 d.C., se inventó un ariete llamado *ingenium*, el cual servía para atacar las murallas. Muchos años después, a su operador se le dio el nombre de *ingeniator*, que muchos historiadores creen que fue el origen de la palabra ingeniero (UNIMET, 2009). En la actualidad se sigue considerando que el ingeniero es el que “debe” operar las máquinas, cuando en realidad el ingeniero es el que concibe la idea de la máquina y la materializa en la realidad. En el marco de nuestra propuesta de una epistemología de la imaginación, el ingeniero configura en la imaginación sus ideas, las confecciona en forma de trazos, bocetos y diagramas, y materializa sus ideas en las grandes obras de ingeniería, de las que da cuenta la historia de la humanidad.

Nuestra concepción entonces de la historia de la ingeniería se enmarca en la historia de las ciencias, que bien podría ser llamada entonces historia de las ciencias de la ingeniería. Bajo esta concepción hemos propuesto desarrollar una epistemología de la ingeniería, que medio siglo atrás Bunge la definió como algo pintoresco. Esta afirmación la hizo Mario Bunge el 5 de abril de 1957, en su clase inaugural del curso de filosofía de la ciencia en la Facultad de Filosofía y Letras de la ciudad de Buenos Aires. En el libro *La Ciencia, su Método y su filosofía*, específicamente en el capítulo *Filosofar científicamente y encarar la Ciencia filosóficamente*, quedó registrado de la siguiente manera:

Es fácil advertir cuán modesto es el lugar que actualmente ocupa la filosofía de la ciencia en nuestras universidades. **Si se exceptúa los pintorescos cursos de “epistemología de la ingeniería” de años recientes,**³ la filosofía de la ciencia se enseña solamente en las facultades de filosofía, y en éstas no ocupa un lugar importante (Bunge, 1989/2000, p.79).

Al parecer la epistemología de la ingeniería no tuvo eco, y cómo iba a tenerlo con el comentario de Bunge. En la actualidad, sólo se cuenta con algunos trabajos como el de los suizos Robin Adams y Sally Fincher y el del portugués Antonio Dias de Figueiredo. En el caso de Adams & Fincher (2008), ellos proponen una epistemología de la ingeniería centrada “en la comprensión de la naturaleza del pensamiento y conocimiento de la ingeniería, así como en su práctica y en la preparación de los ingenieros” (p. web). Mientras que Dias de Figueiredo (2008) plantea que se requiere de una epistemología que entre otras cosas, explique si es posible distinguir el conocimiento que generan las ingenierías, del que generan las ciencias. Asimismo, dice, que dé cuenta de cómo se puede obtener conocimiento relevante de las ingenierías y cómo puede evaluarse su valor.

³ El texto en negritas es de nosotros.

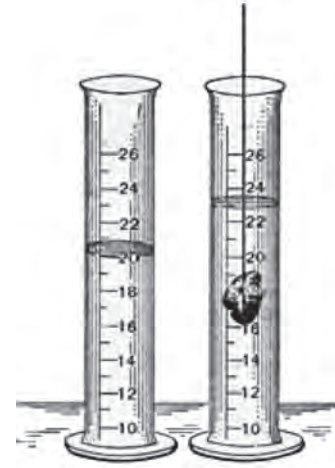
A esta pequeña lista se pueden agregar nuestros dos trabajos, en los que sólo se sugiere pero no se desarrolla aún una epistemología de la ingeniería en el marco de una epistemología de la imaginación (Armijo-Mena, Rodríguez-Salazar & Quintero-Zazueta 2009; Gorostiola-Martínez, Rodríguez-Salazar & Rojo-Asenjo, 2009). En el presente trabajo en cambio, bajo la conceptualización de la relación ciencia-tecnología-sociedad que hemos venido planteando en este documento, presentamos la posibilidad de considerar, la historia de la ingeniería como laboratorio para el desarrollo de una epistemología de la ingeniería en el marco de una epistemología de la imaginación. Con base en esto presentamos los siguientes breves relatos.

Aproximadamente en el año 440 a. C, dentro de la llamada “Edad de Oro de Grecia”, Pericles contrató trabajadores especializados en construcción para que construyeran templos en la Acrópolis. Las vigas de mármol del cielo raso de estas estructuras estaban reforzadas con hierro forjado, lo que constituye el primer uso conocido del metal como componente en el diseño de un edificio. Los responsables de esas construcciones recibían el nombre de *arquitekton*, y se les otorgaba dicho título solamente a aquellos que habían cumplido determinado periodo como aprendices en los métodos estándares de edificación públicos (UNIMET, 2009). Es evidente que los *arquitekton* en la actualidad son los arquitectos, sin embargo, por la naturaleza del trabajo que hacían y en el marco de nuestra propuesta, consideramos que los *arquitekton* bien pueden ser los antecesores de los ingenieros civiles.

De igual manera, en esta Edad de Oro de Grecia, se elaboró un texto famoso: “La Mecánica”. En este texto se estudiaban algunos conceptos fundamentales de lo que posteriormente se conocería en ingeniería como la teoría de la palanca. El texto en su interior contiene un diagrama que ilustra un conjunto de tres engranes mostrados como círculos. En el marco de nuestra propuesta, la topografía que desarrollaron los griegos y luego los romanos, se considera como la primera aplicación de la ingeniería mecánica. De igual manera, en el campo de la milicia, se escribió un libro intitulado *Mecanikos*, en donde se detalla el estudio de las máquinas de asedio, puentes colgantes, arietes y otros dispositivos semejantes (Mechanical engineering, 2009).

En una historia de las ciencias de la ingeniería no puede faltar el más celebre matemático de la antigüedad: Arquímedes (287-212 a. C). En las áreas de la geometría plana y sólida destaca su aportación sobre las leyes para encontrar los centros de gravedad de figuras planas, la estimación del número *Pi* (π), así como su famoso principio relacionado con los fluidos. El principio de Arquímedes afirma que todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje vertical y hacia arriba igual al peso del fluido desalojado.

Figura 1
Ilustración del principio de Arquímedes



Fuente: Carhart & Chute (1912).

En el marco de nuestra propuesta epistemológica se puede decir que Arquímedes «pesaba» imaginariamente áreas y volúmenes desconocidos para determinar su valor. En la obra “Sobre la esfera y el cilindro” utilizó el método denominado de “exhaustión”, mediante el cual se determina la superficie de una esfera y para establecer la relación entre una esfera y el cilindro circunscrito en ella, que bien puede plantearse como el precedente del cálculo integral, concepto que resulta elemental para los desarrollos en ingeniería.

Marshall Clagett (1970/1985), en el *Dictionary of Scientific Biography* señala que el trabajo matemático de Arquímedes se clasifica en tres grandes grupos. En el primero se pueden colocar las pruebas de los teoremas relativos a los volúmenes y figuras geométricas limitadas por líneas curvas y superficies. El segundo, comprende trabajos que llevan a un análisis geométrico de la estática y problemas hidrostáticos, así como el uso de la estática en la geometría.

Figura 2
Arquímedes de Siracusa



Fuente: O'Connor & Robertson (s.f.)

En el tercer y último grupo, se encuentra el *Sandreckoner*, una obra en la que Arquímedes se dispuso a determinar un límite superior para el número de granos de arena que caben en el universo. En este notable trabajo propone un sistema numérico que utiliza las miríadas, equivalente a 1×10^4 , proponiendo también una miríada de miríadas equivalente a 1×10^8 . En su trabajo es capaz de expresar números que en la notación moderna equivaldrían a 8×10^{63} . Así, si bien Arquímedes es una figura notable en la Matemática y en la Física, nosotros en el marco de nuestra propuesta lo consideramos como uno de los primeros grandes ingenieros.

En un trabajo reciente, en el marco de la formación de investigadores, dos de nosotros (Rosas-Colín & Rodríguez-Salazar, 2009) hicimos referencia a la novela de Jostein Gaarder, “El mundo de Sócrates”, en la que propuso la cronología del antes y después de Sócrates. En cambio, la novela futurista de Aldous Huxley “Un Mundo Feliz”, propone la cronología del antes y después de la *Ford Motor Company*, haciendo alusión a la era industrial de la producción en serie, con la creación del Ford modelo-T. En el marco de la Ingeniería, nuestro tercer autor propone la cronología del antes y después de Arquímedes. De manera futurista, plantea el antes y después de la sociedad del conocimiento, haciendo alusión a la creación de empresas de base científica, la cual dio origen a la llamada economía del conocimiento.

Como lo señalamos en el mencionado trabajo, en la literatura latina se utiliza el antes y después de Cristo (a. C. y d. C.) mientras que en la literatura anglosajona sólo se utiliza el antes de Cristo: *Before Christ* (B.C.) y en lugar de utilizar el término después de Cristo se utiliza *Anno Domini* (A. D.) que significa, en el año o la era del Señor. Por lo tanto, nuestro planteamiento fue, por tratarse de un trabajo sobre la formación de investigadores, el plantearlo, en una especie de híbrido lingüístico como antes de Sócrates (a. C.) y como *Anno Scientia* (A. Sc.) para significar la era del conocimiento o la era de la investigación científica (Rosas-Colín & Rodríguez-Salazar, 2009). Ahora juntos plantearíamos que el antes de Sócrates puede ser sustituido por el antes de Arquímedes, lo que es invariable es el *Anno Scientia*. Sin embargo, las ciencias de la ingeniería no sólo

tienen que ver con la matemática y su materialización en grandes obras.

En el siglo XIII, Santo Tomás de Aquino argumentó que ciencia y religión eran compatibles, mientras que Al-Ghazali-Algasel, quien fuera erudito en ciencia y filosofía griegas, llegó a la conclusión de que la ciencia alejaba a las personas de Dios, por lo tanto era mala. Los europeos siguieron a Santo Tomás, en tanto que el Islam siguió a Ghazali. Desde la conceptualización de “la gran idea de progreso”, se supone que durante siglos, Europa ha disfrutado de superioridad científica y tecnológica en el mundo, en tanto que el desarrollo tecnológico y científico en el Islam ha sido muy limitado. Desde una epistemología de la imaginación, la historia de la ciencia oriental ofrece un gran laboratorio, el cual, abre toda una posibilidad al estudio de las ciencias de la ingeniería desde un nuevo enfoque, con una perspectiva, tal vez totalmente diferente, de la idea de progreso.

Siguiendo la teoría de Crombie (1953/1971) del origen de la ciencia experimental, la ciencia oriental, también llamada la ciencia mágica, unida a la tradición racional de los griegos, llegó a occidente para unirse al trabajo práctico de los artesanos y al trabajo científico de los filósofos de la cristiandad para formar la tríada artesanos, magos y filósofos de la naturaleza. En la sociedad actual, la matemática como ciencia es la base de la imaginación de los magos: los ingenieros. De esta manera, bajo un nuevo marco de la relación ciencia-tecnología-sociedad, en la sociedad del conocimiento, se forma la tríada técnicos ingenieros y científicos. En cambio, en una economía del conocimiento, la tríada la forman los científicos, los ingenieros y los industriales.

Las posibilidades son vastas, queda mucho por hacer y fundamentar. No obstante, el reto está planteado: se requiere de una epistemología de la ingeniería que dé cuenta del conocimiento que la ingeniería genera. En el fondo, lo que se cuestiona es la identidad de la ingeniería como técnica, como ciencia o incluso como arte (Adams & Fincher, 2008; Dias de Figueiredo, 2008). Nosotros lo que buscamos es darle a la ingeniería el estatus que se merece al interior de la ciencia, sin cuestionar su pertinencia en el campo de la tecnología en el marco de la relación ciencia-tecnología-sociedad.

Bibliografía

- ◆ Adams, Robins & Sally Fincher (2008, September), “Engineering Epistemology –Everyday Engineering Practice”, en *Cross-Disciplinary Thinking and Practice*, University of Kent, Sweden. Recuperado el 24 de septiembre de 2009 de: <http://xdisciplinary-thinking-practice.blogspot.com/>
- ◆ Armijo-Mena, Silverio Gerardo, Luis Mauricio Rodríguez-Salazar & Ricardo Quintero-Zazueta (2009a), “Relación entre lo empírico imaginado y lo empírico digital: dos universos co-convergentes”, en *Generación Digital*, 8, 1, pp. 55-59.

- ◆ Armijo-Mena, Silverio Gerardo, Luis Mauricio Rodríguez-Salazar & Ricardo Quintero-Zazueta (2009b), “Relación entre lo empírico imaginado y lo empírico digital: dos universos co-convergentes”, en A. Hernández-Ulloa & L. M. Rodríguez-Salazar (coords.), *Razonamiento matemático. Epistemología de la imaginación. Configurando una nueva pedagogía de la matemática* [en evaluación].
- ◆ Boas, Marie (1962), *The Scientific Renaissance 1450-1630*, Harper Torchbooks, New York.
- ◆ Bunge, Mario (1989/2000), *La ciencia, su método y su filosofía*, Ediciones siglo veinte, Nueva Imagen, Buenos Aires, Argentina.
- ◆ Carhart, Henry & Horatio Chute (1912), “First Principles of Physics”, en Wikipedia (2009), *Submerged-and-Displacing*. Recuperado el 25 de noviembre de 2009 de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Submerged-and-Displacing.png>
- ◆ Chambers Guthrie, William Keith (1962), *A History of Greek Philosophy: The earlier Presocratics and the Pythagoreans*. Volume I, Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain.
- ◆ Clagett, Marshall (1970/1985), Archimedes. In C.C. Gillispie (Editor in chief). *Dictionary of Scientific Biography, American Council of Learned Societies*, Vol.8, Charles Scribner’s Sons, N.Y., U.S.A.
- ◆ Crombie, Alister (1953/1971), *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science 1100- 1700*, Oxford University Press, London.
- ◆ Crombie, Alister (1973), *Historia de la Ciencia*, Volúmenes 1 y 2, Siglo XXI Editores, México.
- ◆ Darrigol, Oliver (2000), *Electrodinamics: from Ampère to Einstein*, Oxford University Press, New York.
- ◆ Denis, Michel (1984), *Las Imágenes Mentales*, Siglo XXI de España Editores, Madrid, España
- ◆ Dias de Figueiredo, Antonio (2008, November), Toward an Epistemology of Engineering. 2008 Workshop on Philosophy and Engineering, The Royal Academy of Engineering, London, November 10-12. *Social Science Research Network. Tomorrow’s Research Today*. Recuperado el 24 de septiembre de 2009 de <http://ssrn.com/abstract=1314224>
- ◆ Geymonat, Ludovico. (1979/1998), *Historia de la Filosofía y de la Ciencia*, Editorial Crítica, Barcelona, España.
- ◆ Gorostiola-Martínez, Jaime Saúl, Luis Mauricio Rodríguez-Salazar & Onofre Rojo-Asenjo (2009) “Sensores electrónicos y sentidos humanos: un debate epistemológico en torno a la inteligencia artificial”, en *Generación Digital*, 8, 1, pp. 60-66.
- ◆ Gooding, David (1980), “Faraday, Thomson, and the concept of the magnetic field”, en *The British Journal for the History of science* 13, 44, pp. 91-119.
- ◆ Hacking, Ian (1996), *Representar e intervenir*. Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos, Paidós-Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM, México.
- ◆ Home, R. W. (1979), *Æpinus’s Essay on the Theory of Electicity and Magnetism*, by Franz Ulrich Theodor Aepinus (1724-1802) Introduction Monography, Princeton University Press, New Jersey.
- ◆ Jung, Carl Gustav (1952/2003), *Psicología y Alquimia*, Editorial Solar & Cía., Bogotá, Colombia
- ◆ Morus, Iwan Rhys (1992), “Different Experimental Lives: Michael Faraday and William Sturgeon”, en *History of Science*, xxx, pp. 1-28.
- ◆ Koyré, Alexandre (1956), “Los orígenes de la ciencia moderna. Una interpretación nueva”, en Koyré, Alexandre (1973/2000), *Estudios de historia del pensamiento científico*, Siglo XXI editores, México.
- ◆ Mechanical engineering (2009), *Encyclopædia Britannica*, Retrieved November 27, 2009, from Encyclopaedia Britannica Online: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/371845/mechanical-engineering>
- ◆ O’Connor, J. J. & E. F. Robertson, “Biografía de Arquímedes de Siracusa”, en *Historia de las Matemáticas, Astroseti.org*. Recuperado el 27 de noviembre de 2009 de: <http://ciencia.astroseti.org/matematicas/articulo.php?num=3499>
- ◆ Philosophy Pages Británica Internet guide selection (1997-2002). *Al-Ghazali-Algasel*. Recuperado el 27 de noviembre de 2009 de: <http://www.philosophypages.com/dy/g5.htm#ghaz>
- ◆ Piaget, Jean (1936/1990), *El nacimiento de la inteligencia en el niño*, Editorial Crítica, Barcelona, España.
- ◆ ----- (1937/1995), *La construcción de lo real en el niño*, Editorial Grijalbo, México.
- ◆ ----- (1945-1959/1996), *La Formación del Símbolo en el Niño*, Fondo de Cultura Económica, México.
- ◆ ----- (1967/1999), *La Psicología de la Inteligencia*, Editorial Crítica, Barcelona, España.
- ◆ ----- (1995), *La equilibración de las estructuras cognitivas*, Siglo XXI Editores, Madrid, España.
- ◆ Ramnoux, Clémence (1972/2003), “Los Presocráticos”, en Historia de la Filosofía. La Filosofía griega, Siglo XXI editores, México. Versión castellana tomada del Volumen 26 de la *Encyclopédie de la Pléiade*.
- ◆ Rodríguez-Salazar, Luis Mauricio (2008), *Instrumentos Materiales e Instrumentos Matemáticos: su significado epistemológico bajo una noción ampliada de experiencia*, Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias en la especialidad de matemática educativa. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. México, D.F.

- ◆ Rodríguez-Salazar, Luis Mauricio & Ricardo Quintero-Zazueta (2009), *El Significado Epistemológico de los Instrumentos Científicos bajo una noción ampliada de experiencia*, [en prensa], México.
- ◆ Rodríguez-Salazar, Luis Mauricio & Carmen Patricia Rosas-Colín (2009), “De la epistemología tradicional a la epistemología científica: la psicología genética experimental como base de una epistemología de la imaginación”, en A. R. Hernández-Ullóa & L. M. Rodríguez-Salazar (coords) *Razonamiento Matemático. Epistemología de la Imaginación. Configurando una Nueva Pedagogía de las Matemáticas*, [en evaluación], México.
- ◆ Rosas-Colín, Carmen Patricia & Luis Mauricio Rodríguez-Salazar (2009), *Programa Institucional de Formación de Investigadores. Visión al 2025 en su 25 aniversario*, [en elaboración], México.
- ◆ Rosas-Colín, Carmen Patricia, Luis Mauricio Rodríguez-Salazar y Silverio Gerardo Armijo Mena (2009), Re/thinking design and implementation of Learning Objects: An interdisciplinary configuration of math’s pedagogy in the framework of Learning Technology. *Newsletter IEEE* [in evaluation].
- ◆ Rossi, Paolo (1970), *Los Filósofos y Las Máquinas 1400- 1700*, Editorial Labor, México.
- Segre, Michael (1980), “The Role of Experiment in Galileo’s Physics. Archive for History of Exact”, en *Sciences* 23, 3, pp. 227-252.
- ◆ Shumaker, Wayne (1989), *Natural Magic and Modern Science*, Medieval & Renaissance Texts & Studios, Binghamton, New York.
- ◆ Thorndike, Lynn (1925), *A History of Magic and Experimental Science*, 6 volumes, Kessinger Publishing Co., New York
- ◆ Universidad Autónoma Metropolitana de Colombia –UNIMET (2009), Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia. Recuperado el 24 de marzo de 2009 de: <http://ares.unimet.edu.ve/mecanica/bpii00/Historia/historia.htm>

