

Universidad Nacional de Mar del Plata  
Facultad de Humanidades

Maestría en Epistemología y  
Metodología de las Ciencias

Tesis Final:

*"Análisis del status epistemológico  
de los algoritmos:*

*Implicancias en los  
desarrollos científico-tecnológicos"*

Alumna: Prof. Emilce Moler  
Director: Dr. Manuel Comesaña

Servicio de Información Documental  
Dra. Liliana B. De Boshi  
Fac. Humanidades  
UNMDP

Octubre 1998

## Índice

• <b>Introducción general.</b> _____	Pag.1
• <b>Capítulo 1</b>	
<b>Reflexiones sobre Ciencia y Tecnología.</b>	
1.1- Epistemología de la Tecnología: Evolución y desarrollo. _____	Pag.4
- <i>Posibles causas de la insuficiencia de su desarrollo.</i> _____	Pag.8
- <i>Datos históricos.</i> _____	Pag.12
- <i>Sin embargo, hay dificultades...</i> _____	Pag.18
1.2- Hacia una definición de Tecnología. _____	Pag.21
- <i>Objetivos, alcance, criterios de demarcación.</i> _____	Pag.21
- <i>Una definición.</i> _____	Pag.30
1.3- Relación entre Ciencia y Tecnología. _____	Pag.31
- <i>Intelectualismo-Pragmatismo.</i> _____	Pag.33
- <i>Implicancias científicas ante la ausencia de Tecnología.</i> _____	Pag.36
• <b>Capítulo 2</b>	
<b>Diseño de Algoritmos:Una Actividad Tecnológica?</b>	
2.1- Tipos de problemas resolubles a través de una computadora. _____	Pag.40
- <i>Problema del itinerario del viajante.</i> _____	Pag.42
- <i>Problema de los puentes de Königsberg.</i> _____	Pag.45
- <i>Máquina de Turing.</i> _____	Pag.52

- <i>Clasificación de los problemas.</i>	_____	Pag.54
- <i>Problema de Hamilton.</i>	_____	Pag.55
- <i>Observaciones.</i>	_____	Pag.62
2.2- Análisis de las definiciones de Algoritmo.		Pag.64
2.3- El desarrollo de los algoritmos de tiempo polinómico y su relación con los diseños tecnológicos.	_____	Pag.69
• <b>Capítulo 3:</b>		
<b>Las lógicas que no se aplican</b>		
3.1- Evolución histórica de la lógica clásica bivalente.	_____	Pag.73
- <i>El álgebra de Boole.</i>	_____	Pag.75
- <i>El origen de la lógica contemporánea.</i>	_____	Pag.77
- <i>La lógica y los fundamentos de la matemática.</i>	_____	Pag.80
3.2- Otras lógicas.	_____	Pag.83
- <i>Lógica intuicionista, lógica cuántica y lógica difusa.</i>	_____	Pag.85
- <i>Relevancia de las otras lógicas.</i>	_____	Pag.87
3.3- Reflexiones sobre las otras lógicas y los desarrollos científico-tecnológicos.	_____	Pag.90
• <b>Capítulo 4</b>		
<b>Conclusiones.</b>	_____	Pag.93
• <b>Bibliografía.</b>	_____	Pag.96

## **Introducción general**

---

En el campo de la **Epistemología de la tecnología** son muchos los autores que hacen referencia a temas relativos a la Informática, en especial al desarrollo del software, como una actividad tecnológica que brinda innumerables beneficios a nuestra sociedad, en múltiples aspectos.

Sin embargo, no es tan frecuente encontrar análisis filosóficos sobre los supuestos en que se sustenta la teoría de los algoritmos, que es la base de todo desarrollo de software.

Esta ausencia me resultó motivadora para explorar y avanzar sobre esta temática y fue lo que dio origen al trabajo de Tesis.

Por lo tanto, el objetivo de esta presentación es exponer una reflexión sobre los distintos modos de relación entre Ciencia y Tecnología y las profundas implicancias que suscitan en los desarrollos en ambos campos. La Informática será el eje temático para estos análisis.

En la primera parte del **capítulo 1, titulado "Reflexiones sobre Ciencia y Tecnología"**, analizaré el

desarrollo histórico de la Epistemología de la tecnología. No se trata de un análisis histórico profundo, sino, simplemente, hacer referencia a un conjunto de aspectos necesarios para comprender el estado actual de esta rama de la filosofía, sus alcances, problemas y algunas causas del retraso en su evolución.

Un tema casi obligado para esta temática es ofrecer una definición de tecnología que servirá como marco de referencia a lo largo del trabajo. La definición, junto con las explicaciones de las dificultades de arribar a ella, se expondrán en la segunda parte del primer capítulo.

Para finalizar este núcleo de ideas presentaré las posiciones clásicas establecidas para las relaciones entre Ciencia y Tecnología.

Y es aquí donde haré una reflexión sobre la tecnología como inhibidora de avances y desarrollos científicos, posición poco analizada e incorporada en nuestros días.

Para sostener este último punto, analizaré la teoría de los algoritmos, mostrando cómo una disciplina aparentemente tan abstracta tiene una fuerte incidencia en los desarrollos científico- tecnológicos, ya que proporciona el marco lógico gracias al cual se conciben todas las computadoras y el software existente. Este es otro tema central de mi trabajo.

Esta teoría se sustenta en la lógica clásica bivalente y todo diseño de algoritmos y computadoras también. Por lo tanto, se discutirá que, por estar gobernados por esta situación, se han sacrificado innumerables ramas de desarrollos científicos, que por no contar con la tecnología adecuada para implemetarlas se han abandonado, pero reitero, este abandono no se ha dado por un criterio científico sino por ausencia de tecnología. Estos aspectos los desarrollaré en el **segundo capítulo**, denominado: "**Diseño de algoritmos: Un actividad tecnológica?**". Comenzaré analizando qué tipos de problemas se pueden resolver a través de una computadora, definiré el concepto de algoritmo y analizaré si no se está en presencia de un diseño tecnológico más que frente a un concepto absolutamente teórico.

Para finalizar, en el **capítulo 3**, denominado "**Las lógicas que no se aplican**", realizaré una reseña histórica y conceptual sobre distintas lógicas, lo que permitirá demostrar que el uso de la lógica bivalente en nuestros días responde más a un criterio tecnológico que a un criterio científico.

## Capítulo 1

### Reflexiones sobre Ciencia y Tecnología

#### **1.1- Epistemología de la Tecnología: Evolución y desarrollo**

- *Posibles causas de la insuficiencia de su desarrollo*
- *Datos históricos*
- *Sin embargo, hay dificultades...*

#### **1.2- Hacia una definición de Tecnología:**

- *Objetivos, alcances, criterios de demarcación*
- *Una definición*

#### **1.3- Relación entre Ciencia y Tecnología:**

- *Intelectualismo-Pragmatismo*
- *Implicancias científicas ante la ausencia de la Tecnología*

### **1.1- Epistemología de la Tecnología: Evolución y desarrollo.**

La Epistemología de la tecnología es una disciplina, relativamente nueva, que ha adquirido durante los últimos años un empuje creciente, debido fundamentalmente al gran impacto social, cultural y ambiental de los últimos desarrollos científico-tecnológicos. Se le confiere un especial valor de actualidad y se la distingue de otras corrientes filosóficas de orientación más clásica, enfrascadas, por lo general, en cuestiones de tipo interno.

Aunque Epistemología de la tecnología, como nombre de una rama autónoma de las humanidades es, relativamente reciente, dicho nombre incluye investigaciones que prosiguen las que se han realizado durante siglos bajo nombres pertenecientes a las divisiones tradicionales de la filosofía tales como lógica, teoría del conocimiento, metafísica, filosofía moral y social, entre otras.

Aunque la gran difusión de dicha expresión en la bibliografía crea la impresión, a veces, que denota una disciplina claramente delimitada sobre un conjunto de problemas íntimamente vinculados entre sí; la Epistemología de la tecnología, tal como se desarrolla actualmente, no tiene un ámbito de análisis completamente definido. Por el contrario, quienes hacen contribuciones a este ámbito manifiestan, a menudo, objetivos y métodos divergentes, y las discusiones

clasificadas como pertenecientes a él, abarcan gran parte del heterogéneo conjunto de problemas que han constituido el objeto tradicional de la filosofía.

Aunque la tecnología fue tema de interés de los filósofos, no mereció la misma atención que otros campos de la cultura. Sólo en las últimas décadas esta disciplina se ha ido configurando como una especialidad de importancia creciente. Sin embargo, hay que tener en cuenta que una comprensión más profunda de los fenómenos tecnológicos siempre ha presupuesto análisis y reflexiones amplias y fundamentales. Pero, este tipo de trabajo es el que falta pues, curiosamente hasta ahora la tecnología no ha merecido por parte de la literatura filosófica la atención que su importancia efectiva merece.

Tradicionalmente la relevancia filosófica de la tecnología se circunscribía al problema de cómo se podía transformar la realidad, cuestión ésta aparentemente secundaria, si se la compara con otros problemas filosóficamente más interesantes y que sólo recientemente han merecido un tratamiento sistemático.

A lo largo de la historia de la filosofía, se han discutido detalladamente variados temas dentro del marco de las respectivas escuelas tales, como por ejemplo, la fundamentación filosófica de la teología (en la escolástica); la importancia de la razón (en el racionalismo); el papel de la percepción sensible (en el empirismo); la situación de la existencia

personal (en la filosofía de la existencia) y la estructura del conocimiento científico (en la teoría analítica de la ciencia).

Las cuestiones epistemológicas de la tecnología han sido tratadas incipientemente por las distintas escuelas, en las que los diferentes investigadores estudian planteamientos comunes y, con ello, contribuyen al desarrollo sistemático de una determinada concepción. Como consecuencia de esto, no se dispone aquí de un instrumento conceptual bien elaborado al que pudiera recurrirse en el caso de una determinada investigación.

Hasta hace muy poco apenas existían pequeñas discusiones que eran vistas como parte de un esfuerzo de cooperación y reflexión. En realidad, las reflexiones acerca de la tecnología han tendido a ser subsumidas dentro de otros aspectos de la filosofía. Las razones de ello son a la vez históricas y filosóficas.

Un problema histórico de la Epistemología de la tecnología es que no sólo ha nacido con retraso, sino que además, no ha surgido de una concepción única. Los impulsos que han conducido a la tecnología moderna, el análisis de la situación actual y desde luego el desarrollo futuro, son juzgados de forma totalmente distintas y hasta opuestas.

Esta pluralidad metódico-conceptual está constituida por divergencias objetivas, ya que, o bien la tecnología es celebrada como una panacea o bien es condenada como la encarnación del mal.

- Posibles causas de la insuficiencia de su desarrollo

La primera explicación que se da a esta falta de atención que ha recibido la tecnología por parte de los filósofos se debe al sesgo teoricista de nuestra cultura.

Es sabido que el pensamiento Occidental ha despreciado tradicionalmente el saber práctico y las artesanías. Por lo tanto esta actitud habría llevado a una desvalorización de la actividad tecnológica, incluida sus reflexiones filosóficas.

Sin embargo, ésta no puede ser la única causa de la pobreza de esta disciplina. No es completamente cierto que los filósofos olvidaran las reflexiones sobre la tecnología.

Los filósofos modernos que hicieron posible la ciencia en el sentido actual del término estaban atentos a las innovaciones de los artesanos que estaban cambiando las formas de producción y la vida cotidiana desde el Renacimiento y la baja Edad Media. No es cierto ese olvido en Bacon y dudosamente lo sea en Descartes, por no recordar la alta capacidad tecnológica de filósofos-científicos como Galileo y Newton. El propio Leibniz dedica muchas horas de su trabajo a problemas que hoy se consideran de ingeniería, como es el cálculo de resistencia de vigas. No es cierto que los filósofos modernos, en los cuales se fundamenta en gran parte el pensamiento contemporáneo, hayan despreciado las artes prácticas.

La razón de la poca importancia que la tecnología ha tenido en la cultura hay que buscarla en otro lugar: en la poca importancia relativa que tuvo la tecnología en el dominio general de la cultura, incluso de la vida cotidiana antes de la Revolución Industrial de los siglos XVIII y XIX.

Las actividades intelectuales como la ciencia y el arte, como toda actividad humana en todo tiempo y espacio, usan, investigan, desarrollan y aplican tecnologías, pero la dependencia de la tecnología de su propio desarrollo no es tan clara y evidente como lo será posteriormente.

En las épocas anteriores a la Revolución Industrial la tecnología estaba subordinada a los respectivos contextos vitales y culturales, por lo tanto no existía una razón inmediata para llevar a cabo una consideración independiente de sus problemas filosóficos.

Sin embargo, en nuestros días, la tecnología afecta a todos los aspectos de la vida humana. Las respuestas a las preguntas sobre: cómo es la realidad, cómo se la conoce y cómo se debe actuar, están condicionadas por la influencia de la tecnología sobre la configuración de la realidad en que vivimos, sobre la ciencia y sobre la moral.

Ello se debe a las transformaciones que ha ido experimentando la tecnología a lo largo de la historia y a la trascendencia que ha llegado a tener en las sociedades actuales.

Nuestro mundo y nuestras vidas han sido invadidas por productos, procesos y lenguajes tecnológicos. Casi cualquier relación que intentemos mantener con la naturaleza, con los demás o incluso con nosotros mismos se encuentra ya mediada por la tecnología.

La dependencia tecnológica de todas las actividades culturales se hace presente en todo momento del proceso de creación, producción y reproducción cultural.

La cultura no existe, no sobrevive, si no es en un medio progresivamente más sofisticado tecnológicamente. No hay un solo dominio cultural que no haya sido transformado radicalmente por la progresiva implantación de sistemas tecnológicos.

Las reflexiones sobre nuestros conocimientos y nuestras acciones no pueden seguir manteniéndose al margen de estos desarrollos tecnológicos. Esto explica, en parte, el interés creciente que suscita la tecnología como objeto de pensamiento.

Hubo un tiempo en el que conocíamos, actuábamos y reflexionábamos sobre nuestros conocimientos y acciones a través de la religión, la magia, la poesía, la filosofía o la ciencia. Hoy día debemos también aprender a conocer y a actuar a través de la tecnología.

La historia de la humanidad está caracterizada por diferentes civilizaciones en las cuales, a lo largo de grandes períodos de tiempo, dominaron condiciones materiales de vida más

o menos estables. Todo indica que la humanidad se encuentra al comienzo de una era totalmente condicionada por una tecnología que ofrece posibilidades materiales antes insospechadas, a la vez que angustiosas perspectivas de futuro.

Pero, si bien es cierto que se está dispuesto a aceptar sin más los indiscutibles aportes y aspectos agradables de la tecnología, también lo es que sus consecuencias negativas provocan la reflexión y la crítica. Así, por ejemplo, se suele lamentar la división del trabajo, la cosificación y el afán de eficiencia que, en el mundo del trabajo y en las relaciones interhumanas, han conducido a la enajenación con respecto a una existencia directamente perceptible e internamente plena.

Y, por otra parte, parece que estamos condenados a la tecnología. Ella se produce siempre sólo a través de la acción humana y, sin embargo, se ha transformado en una instancia independiente cuyo desarrollo aparentemente no puede ser guiado. El progreso técnico-médico ha provocado en los países en desarrollo un explosión demográfica y, con ello, problemas de alimentación que, a su vez, sólo pueden ser solucionados a través de la utilización de medios tecnológicos (control de la natalidad, fertilizantes artificiales y empleo de maquinaria agrícola). A raíz de la carrera armamentista, la humanidad se encuentra bajo la amenaza de una aniquilante guerra atómica. Al mismo tiempo, a raíz de la destrucción del medio ambiente y de la crisis de energía y de materias primas, se ha visto

claramente que el desarrollo técnico no puede continuar indefinidamente. La dinámica del acontecer real escapa aquí, en gran medida, a la comprensión teórica.

Precisamente por ello, la tecnología que el hombre creara planificada y perseverantemente, se presenta como un poder extraño e intranquilizante.

Éste es un dato significativo para explicar el papel crecientemente central de la tecnología como objeto de reflexión filosófica: no es sólo nuestro conocimiento de la realidad o nuestra forma de comportarnos ante ella, sino la sustancia misma de la realidad que nos circunda la que es intrínsecamente tecnológica o artificial.

La teoría filosófica de la realidad no puede ya pasar por alto la teoría de lo artificial.

*- Datos históricos*

Sin embargo, lo que hoy entendemos por tecnología, y el papel que la tecnología desempeña en las sociedades de nuestros días, es algo radicalmente diferente a lo que supuso en épocas anteriores.

El origen de la tecnología actual hay que buscarlo en la revolución industrial de los siglos XVIII y XIX. En esa época se produjeron los cambios más decisivos para explicar la posterior evolución de la tecnología: el sistema de producción de bienes

materiales se vio alterado por la sustitución generalizada de las herramientas artesanales por las máquinas, la introducción de una nueva fuente de energía utilizable para el trabajo mecánico, la máquina de vapor, que permitió independizar el proceso de producción industrial de la disponibilidad de fuentes de energía tradicionales (el viento, el agua, la fuerza muscular), y la organización de la producción en factorías o manufacturas.

En su origen, el trabajo en las manufacturas inglesas era del mismo tipo que el trabajo artesanal que desde hacía centenares de años se había ido desarrollando en pequeños talleres o en unidades de producción de carácter familiar. De manera que en un principio la revolución industrial no supuso una innovación radical de carácter tecnológico, salvo en el aspecto exclusivo de la organización social del trabajo. Pero supuso un cambio de perspectiva en la "lógica" del sistema productivo que tuvo consecuencias decisivas para el desarrollo de nuevas tecnologías, nuevos instrumentos y nuevas máquinas. Pero, sobre todo, para acelerar el ritmo del cambio tecnológico y para generalizar la incidencia de las innovaciones tecnológicas en toda la organización social.

La nueva "lógica de la producción" radica en la separación del capital y el trabajo, y en el sometimiento consiguiente de todo el proceso productivo al principio de maximización del beneficio en un mercado competitivo. La disponibilidad de

capital y la autonomía del capitalista para invertirlo hacen posible que se incorporen a la producción innovaciones tecnológicas cuyo origen pudo haber sido completamente ajeno al proceso productivo. Y el hecho de que tales innovaciones consigan un aumento de la productividad del trabajo hace que, en el sistema capitalista, su incorporación a la producción sea, en la práctica, necesaria.

En el sistema de producción industrial capitalista, la tecnología, como factor de producción, es asunto del capital y éste se rige por la ley del máximo beneficio. De manera que el aumento en la eficiencia de una máquina se traduce inmediatamente en aumento de productividad, y con ello lo que antes podía contemplarse tan sólo como un logro esporádico, una curiosidad intelectual o un instrumento específico que daba ventaja a su poseedor en una coyuntura determinada, se transforma ahora en un factor decisivo para la dinamización de todo el sistema productivo y con ello de toda la vida social.

Así pues, con la revolución industrial y el capitalismo el cambio tecnológico se ve sometido a una presión que acelera su ritmo y aumenta su difusión de forma, al parecer, imparable.

Con ello entramos en una nueva era de la civilización y con ello aparece una dimensión esencial de la tecnología que, a pesar de las líneas de continuidad y las analogías, supone una fuerte ruptura con la actividad tecnológica preindustrial. No es, pues, casual que las primeras reflexiones filosóficas en

torno a la tecnología sean de pensadores que, como Marx, se preocuparon por los grandes problemas sociales surgidos de la revolución industrial capitalista.

Sin embargo, la importancia de la tecnología en el sistema productivo del capitalismo no justificaría por sí sola el creciente interés filosófico por el fenómeno tecnológico. Hay otras características de la tecnología industrial que justifican un interés filosófico más general.

La revolución industrial del siglo abrió las puertas a una nueva etapa de la civilización. A partir de entonces la tecnología ha invadido todos los rincones de la vida humana.

Sin embargo, para apreciar en su justa dimensión lo que esto significa en la actualidad, hay que abandonar la asociación del concepto de tecnología con el de producción industrial de artefactos mecánicos.

Los avances científicos del siglo XX y sus repercusiones en el diseño y desarrollo de nuevas tecnologías han hecho cambiar por completo, en pocos años, el panorama de la tecnología actual. Por una parte se han creado nuevas fuentes de energía que alteran por completo el repertorio de fórmulas disponibles para el desarrollo de energías mecánicas. La enorme potencialidad de la energía nuclear hace palidecer cualquier sueño respecto a las posibilidades de transformar la realidad. La síntesis de nuevos materiales con propiedades insospechadas

altera por completo el elenco de los componentes disponibles para realizar nuevos artefactos. La tecnología láser permite utilizar la luz como fuente de energía no sólo extraordinariamente potente, versátil y adaptable tanto a trabajos de tipo mecánico como a funciones de comunicación o de procesamiento de información. La biotecnología permite por primera vez la síntesis de organismos vivos con características predefinidas y siguiendo procesos enteramente artificiales (más rápidos y posiblemente más eficientes que las viejas tecnologías de selección genética). La electrónica digital, la informática y las tecnologías de las telecomunicaciones suponen por último la aparición de un nuevo ámbito de desarrollo tecnológico que trasciende al sector tradicional de la producción de bienes materiales para invadir el terreno del procesamiento, almacenamiento, producción y transmisión de información.

Este conglomerado de nuevas tecnologías con su implacable invasión de todos los ámbitos de la vida humana supone una configuración de la tecnología completamente nueva en la historia de la humanidad. Nunca como hasta ahora había estado la sociedad en su conjunto tan articulada en torno a la actividad tecnológica, y nunca la tecnología había tenido tan fuertes repercusiones sobre la estructura social, y en especial sobre la estructura cultural de una sociedad.

Existen ideas distintivamente tecnológicas. El concepto de máquina (en sus muchas modificaciones desde Aristóteles pasando

hasta Franz Reuleaux y Alan Turing<sup>(1)</sup>), las ideas de conmutador, invención, eficiencia, optimización, la teoría aerodinámica, la cinemática y la cibernética, las teorías de autómatas, de la información, de los sistemas lineales, del control, etc., son todas esencialmente tecnológicas. Tales ideas no se encuentran en las ciencias de la física, la química o la biología, sino en disciplinas tales como la ingeniería mecánica, civil, eléctrica, electrónica e industrial.

Preguntar por ideas distintivamente tecnológicas tiene un contenido diferente al de preguntar por las ideas científicas. Dentro de la tecnología, se asume comúnmente no que los enunciados tecnológicos sean verdaderos, sino que los mismos funcionen. Cuando se cuestiona este funcionamiento y su utilidad, cuando se plantean dudas sobre la talla moral de las acciones tecnológicas y sus resultados, así como de las ideas en las cuales ellas se basan, entonces, surgen las siguientes preguntas: ¿Qué es la tecnología? ¿Es siempre buena o útil la tecnología? ¿Qué es lo bueno dentro de la tecnología? ¿Cuál es la lógica del pensamiento y la acción tecnológicos? ¿De qué tipo de realidad están dotados los entes tecnológicos? ¿Cuál es el significado de tecnología? ¿Cómo se relaciona con otros aspectos de la vida humana? Que, tales preguntas y muchas otras más,

---

<sup>(1)</sup>La definición de máquina que ofrece Reuleaux (1615) se ha convertido en clásica. "Una máquina es una combinación de partes sólidas dispuestas de tal forma que por medio de ellas se pueda hacer que las fuerzas naturales produzcan movimientos de un tipo determinado"

constituyen el núcleo central de la Epistemología de la tecnología.

Debido a esta diferencia en el tipo de preguntas que se formulan a la ciencia y a la tecnología, la Epistemología de la tecnología está estrechamente ligada a reflexiones éticas y del quehacer práctico.

Sin embargo, sería un error, limitarla a cuestiones prácticas o considerarla solamente como la forma más general de la filosofía aplicada. La tecnología es objeto de todos los enfoques de la división tradicional de la filosofía, un conjunto de cuestiones que van desde lo conceptual hasta lo metafísico.

- *Sin embargo, hay dificultades...*

A pesar de la preocupación que suscita la tecnología, no hay muchos filósofos que se dediquen a este campo. A pesar de que el período desde la Revolución Industrial hasta nuestros días bien podría ser denominado la era de la tecnología, el desarrollo de la Epistemología de la tecnología permanece aún en un estadio embrionario.

Hay que añadir otra razón a las expuestas: es posible que la velocidad y profundidad del proceso de transformación que la tecnología causa en los modos y formas culturales haya vuelto opaco el sentido de los cambios, en el mismo sentido en el que

los cambios revolucionarios se muestran opacos para aquellos a quienes les toca vivir en ese preciso momento de la historia.

La novedad del proceso y la ausencia de referentes históricos no facilita tampoco la tarea del filósofo que desea meditar sobre la tecnología.

A estas dificultades no es ajena la actitud distante y externa de muchas actitudes intelectuales, que ven en la tecnología la madre de todos los males o, por el contrario, de todas las soluciones de los problemas que nos aquejan.

Pertenece a esta actitud externalista la consideración de la tecnología como una caja negra de la que sólo interesan los productos y/o las consecuencias de los productos, pero no los métodos de trabajo, la especial forma de su conocimiento, el modo en el que se articulan los factores sociológicos y económicos con los intereses estrictos de la investigación, o del tecnólogo.

Otro aspecto que ha inhibido el desarrollo de la Epistemología de la tecnología es el hecho de que muchos filósofos han considerado, a mi entender en forma equivocada, a la tecnología como ciencia aplicada y por lo tanto las reflexiones filosóficas sobre tecnología, han quedado reducidas a cuestiones epistemológicas de las ciencias. Esta

situación se presenta frecuentemente entre quienes desarrollan estos temas. Pero, reitero es un error confundir tecnología con ciencia aplicada, la tecnología no es solamente ciencia aplicada, pues si bien es cierto que está estrechamente ligada a conocimientos científicos, se basa también en la experiencia, utiliza muchas veces conocimientos empíricos y tiene en cuenta además muchos otros factores (algunos ajenos a la específica aplicación de determinados conocimientos científicos) como ser los aspectos prácticos de la construcción o de la producción industrial, los modos y medios de producción, la factibilidad económica, la adaptación del producto a las costumbres del usuario, la aceptación que el producto pueda o no tener en el público, entre otros y estos son aspectos que la Epistemología de la tecnología debe considerar.

Jorge Sábato<sup>(2)</sup> dice:

*"Es particularmente perjudicial la creencia generalizada de que la tecnología no es otra cosa que ciencia aplicada, y que, por lo tanto, para obtener aquélla es suficiente producir esta última."*

---

<sup>(2)</sup> Sábato Jorge A. y Mackenzie M. La producción de tecnología, ed. Nueva Imagen, México, pp.24-26,1982.

Y es aquí donde se presenta otro importante núcleo de problemas epistemológicos: **la relación que la tecnología mantiene con la ciencia.**

Antes de seguir avanzando sobre estos conceptos, se impone presentar una breve dilucidación sobre el significado de Tecnología para que quede claro a qué me refiero cuando hablo de tecnología.

### **1.2- Hacia una definición de tecnología**

*- Objetivos, alcance, criterios de demarcación*

A primera vista, parece ser perfectamente claro el significado de "tecnología". Sin embargo, cuando se quiere dar una definición clara y unívoca de la tecnología, aparecen dificultades. La situación es aquí similar a la de otros conceptos usuales con alto grado de generalidad: A pesar de que cada cual considera que sabe que es lo que significan "ciencia", "política" o "sociedad", es muy difícil obtener consenso acerca de una definición exacta. Sin embargo, en vista de los múltiples factores que condicionan la definición de la tecnología, no es posible esperar aquí, ya desde el primer momento, una definición que pueda contar con consenso

Como la palabra "tecnología" ha sido incorporada también al lenguaje ordinario, esta tarea no puede consistir, desde

luego, en llevar a cabo precisiones terminológicas totalmente nuevas.

En vista de lo expuesto no puede esperarse, desde el comienzo, ninguna precisión conceptual que tome en cuenta todas las peculiaridades presentadas. Pero, además la ambigüedad sistemática del concepto de tecnología dificulta una definición precisa. Para no complicar innecesariamente la cuestión, se tendrá en cuenta aquí únicamente el actual uso de la palabra.

Para llegar a un intento de definición se impone una dilucidación aún más clara entre ciencia y tecnología. Para esto voy a contestar algunas de las preguntas que caracterizan a la ciencia standard como: cuáles son sus objetivos, cuáles sus referentes y alcances y si existe un criterio de demarcación. Las responderé en forma paralela para la tecnología. Este análisis no será de modo alguno exhaustivo por no ser objetivo principal de este trabajo, pero me permitirá arribar a una definición de tecnología aceptable para este trabajo.<sup>(3)</sup>

---

<sup>(3)</sup> En la concepción estándar y no-standard de la ciencia, lo que se diferencia es el tipo de preguntas sobre ésta que se formulan. En la tecnología no hay una concepción no estándar, pero sea cual fuere la posición de ciencia que se adopte, las distinciones entre ciencia y tecnología funcionan.

*Sobre sus objetivos:*

El objetivo de la Tecnología es alcanzar la eficiencia a través de acciones que satisfagan necesidades sociales y humanas.

Estos objetivos son evaluados con diferentes parámetros como: eficacia, simplicidad, efectividad, confiabilidad, practicidad, productividad, entre otros, que permiten realizar la evaluación de una tecnología determinada.<sup>(4)</sup>

El objetivo de la ciencia es la explicación. La tecnología no explica, es un conocimiento del cómo más que del por qué. Y esto permite entender la no necesidad de sistematicidad en tecnología. Con el objeto de marcar claramente la diferencia entre ciencia y tecnología podemos decir que la ciencia se ocupa del conocimiento, mientras que la tecnología fundamentalmente del hacer (de la acción eficaz); pero evidentemente para hacer hay que conocer, por lo que el tecnólogo busca informarse, conocer, pero no por el conocimiento en sí mismo, sino para saber cómo hacer.

---

<sup>(4)</sup> Anchorena S. "Ciencia y Tecnología: Juntas pero no revueltas" Tesis de Maestría, Mar del Plata, 1997

*Referente y alcance:*

En la ciencia el referente y el alcance es el mundo real, no sólo el de la naturaleza sino también el social.<sup>(5)</sup>

En la tecnología es lo artificial. Fundamentalmente se interfiere para producir algo "per se", no se produciría para crear algo que se daría en forma natural.

Suele decirse que la ciencia opera con leyes de carácter universal. La tecnología opera dentro de los límites de estas leyes. Discute que es lo que es posible hacer o llevar acabo en contextos muy estrechos, establece, algunas veces, generalizaciones empíricas sobre instrumentos y sus usos, pero más allá propone enunciados nomo-pragmáticos. Es decir, la ciencia se focaliza en estructuras objetivas referidas por leyes, mientras que la tecnología procura establecer normas estables de acción exitosa, las que se denominan reglas tecnológicas.

*Criterios de demarcación:*

Uno de los puntos más controvertidos, a mi entender, es definir si existe un claro criterio de demarcación entre ciencia y tecnología. Hay dos posiciones claramente diferenciadas: aquellos que consideran que no existe tal

---

<sup>(5)</sup> Estas afirmaciones son muy discutibles, pero no es propósito de este trabajo extenderme en el tema.

criterio y quienes sostienen que éste existe y bien delimitado. Sin embargo, es importante señalar que, aunque no se defina el criterio de demarcación esto no quiere decir que no sean actividades sustancialmente distintas.

Con el fin de encontrar el mencionado criterio hay quienes enuncian que: la ciencia busca el conocimiento puro y desinteresado mientras que la tecnología busca desesperadamente la acción.

Sin embargo, la estrecha vinculación actualmente existente entre la ciencia y la tecnología ha hecho que esta concepción entre en una crisis conceptual.

A saber, el objetivo de la ciencia es conocer para poder explicar la realidad. Pero este conocer no puede ser de cualquier manera. Por otra parte, el objetivo de la tecnología es satisfacer intereses actuando sobre la realidad. Esta actuación está orientada, en muchos casos, por el conocimiento científico. Por lo que resulta que la tecnología encuentra en parte lo que necesita en el conocimiento científico porque los intereses que mueven el conocimiento se solapan en gran medida con los intereses que las acciones tecnológicas quieren satisfacer. Esta armonía conduce a la sospecha de que tal vez no sea ya posible, en nuestras sociedades avanzadas, hacer ninguna demarcación real

---

entre los intereses generales de la tecnología y la ciencia. Ambas compartirían más o menos los mismos intereses. En la ciencia y en la tecnología se busca tanto el conocimiento como la acción.

Pero, hay algo en estos argumentos que no termina de convencer: La ciencia no conoce ni actúa como lo hace la tecnología. Aunque tanto en la ciencia como en la tecnología se busque el conocimiento y la acción, o incluso antes la acción que el conocimiento, hay una diferencia conceptual importante en la manera cómo ello se lleva a cabo. Aunque en la ciencia importe el actuar tanto como en la tecnología y en la tecnología tanto el conocer como en la ciencia, ese conocer y actuar adoptan distintas formas. Dije precedentemente que, para cumplir su objetivo común, la satisfacción de intereses actuando en la realidad, la tecnología también necesitan conocer no pocas cosas. No sólo a la ciencia le preocupa el conocimiento. Y, en el caso de la tecnología, muchas veces lo aportado por la ciencia y por el conocimiento de los intereses que se han de satisfacer no lo es todo en materias epistémicas. Muchas veces, la tecnología no es sólo ciencia aplicada a la satisfacción de unos intereses dados. La tecnología puede tener contenidos epistémicos muy diferentes de los de la ciencia que utiliza e incorpora.

Por decirlo resumidamente, en la ciencia el conocimiento y la acción se organizan a través de teorías, mientras que en la tecnología se organiza principalmente a través de modelos.

Pero, la anterior afirmación no implica que se disponga de un nuevo criterio para distinguir ciencia y tecnología donde no se encuentren ya distinguidas. Sólo significa que donde sí lo estén, se encontrarán de una parte teorías (y también modelos) y de la otra modelos. La anterior diferencia conceptual es importante en relación al propósito de orientar mejor nuestro conocimiento y acción a través de la tecnología. Con ella entran en juego los modelos. Aprender a orientar nuestro conocimiento y nuestra acción a través de la tecnología, en lugar de hacerlo sólo a través de la ciencia, significará, entonces, hacerlo con la ayuda de modelos más bien que con la ayuda de teorías, o además de con la ayuda de ellas. Por lo expuesto, quedan claros aspectos absolutamente distintivos de la tecnología como para esbozar una definición.

Al respecto Johan Galtung<sup>(6)</sup> escribe:

*"Una forma ingenua de entender la tecnología sería considerarla meramente como cuestión de herramientas (equipos) y aptitudes y conocimientos (programas). Claro*

---

<sup>(6)</sup> Galtung, J. El desarrollo, el medio ambiente y la tecnología, ed. Naciones Unidas, Nueva York, p.6, 1979.

que estos componentes son importantes, pero constituyen la superficie de la tecnología, como la punta visible del iceberg. La tecnología también comprende una estructura conexas, e incluso una estructura profunda. Los conocimientos en que se basa constituyen una determinada estructura cognoscitiva, un marco mental, una cosmología social que actúa como un terreno fértil en el que pueden plantarse las semillas de determinados tipos de conocimientos para que crezcan y generen nuevos conocimientos. Para utilizar las herramientas hace falta una cierta estructura del comportamiento. Las herramientas no funcionan en un vacío, las hace el hombre y las utiliza el hombre y para que puedan funcionar requieren determinarlas circunstancias sociales. Incluso una tecnología de la producción totalmente automatizada implica una estructura cognoscitiva y del comportamiento, es decir de distanciamiento del proceso de producción. Por lo general se tiene muy poca conciencia de estas estructuras que acompañan a las tecnologías."

El amplio uso de la palabra puede servir aquí de indicio de que la tecnología entendida en sentido amplio se refiere a

un complejo de fenómenos múltiples pero objetivamente estrechamente vinculados entre sí.

Aquiles Gay<sup>(7)</sup> da una definición más concreta. Plantea a la tecnología como el resultado de relacionarla con la ciencia, con la estructura económica y sociocultural con el fin de solucionar problemas concretos para la sociedad, en forma conjunta con la estructura económica y sociocultural del medio. Dice así:

*"Tecnología es el conjunto ordenado de conocimientos, y los correspondientes procesos, que tienen como objetivo la producción de bienes y servicios, teniendo en cuenta la tecnología, la ciencia y los aspectos económicos, sociales y culturales involucrados; el término se hace extensivo a los productos (si los hubiera) resultantes de esos procesos, los que deben responder a necesidades o deseos de la sociedad y como ambición contribuir a mejorar la calidad de vida."*

---

<sup>(7)</sup> Gay, Aquiles. La Tecnología , el Ingeniero y la Cultura, ed.TEC., Argentina, p.19, 1995.

- Una definición

Es importante señalar que:

La tecnología es una entidad abstracta. Sus materializaciones o realizaciones concretas no. No obstante, a pesar del inevitable carácter abstracto de ésta, puede ocurrir que su caracterización no pueda siempre llevarse a cabo prescindiendo por completo de las peculiaridades físicas o materiales de sus posibles realizaciones concretas.

La tecnología abarca todos los medios que dispone el hombre para controlar y transformar su entorno físico, así como para convertir los materiales que le ofrece la naturaleza en elementos capaces de satisfacer sus necesidades.

El término "tecnología" se hace extensivo a los productos tecnológicos (objetos tecnológicos o situaciones tecnológicas), que son portadores de dimensiones no sólo tecnológicas y científicas, sino también económicas, culturales y sociales, y cuyo objetivo ideal debería ser mejorar la calidad de vida.

Por lo tanto, la definición de tecnología que propongo de acuerdo con las consideraciones precedentes es:

*"La tecnología es un sistema de acciones de transformación, socialmente estructurado y estrechamente relacionado con el conocimiento científico, conducido por reglas articuladas en planes de acción y evaluado con criterios específicos, que permiten alcanzar los objetivos planteados."*

Luego de esta caracterización de tecnología, analizaré los distintos modos que se relacionan la ciencia y la tecnología, haciendo especial énfasis en las relaciones menos exploradas.

### **1.3- Relación entre Ciencia y Tecnología**

Uno de los tópicos obligados de la filosofía de la tecnología es el de las relaciones entre ciencia y tecnología. Estas relaciones son complejas y multifacéticas.

Hasta comienzos del siglo XX la tecnología no estaba fundada en cuerpo científico alguno. Esta correlación positiva entre ciencia y tecnología aparece en el siglo XX. Quiere decir que, desde una perspectiva histórica, la tecnología no está fundada en la ciencia.

Sobre este tema Julio Rey Pastor<sup>(8)</sup> dice:

*"Considerar, según se acostumbra, la tecnología como ciencia aplicada y, por lo tanto, posterior a la ciencia pura, es concepción que contradice la realidad histórica. Más bien han nacido las ciencias puras de una previa y no siempre sistemática acumulación de conocimientos técnicos. Del valioso saber astronómico de los caldeos y de su tecnología astrológica se elevaron Hiparco, Aristarco y Ptolomeo a la teoría astronómica, y las dificultades y complicaciones tecnológicas con que se tropezó al aplicar la teoría geocéntrica durante catorce siglos incitaron a Copérnico a buscar una teoría mejor."*

Es decir, muchos filósofos plantean que si hay alguna relación es precisamente al revés, la tecnología impulsando a desarrollar avances científicos. El empleo de conocimientos científicos de carácter teórico y abstracto para diseñar y

---

<sup>(8)</sup> Rey Pastor, Julio y Drewes, N. La tecnología en la historia de la humanidad, ed. Atlántida, Buenos Aires, p. 106, 1957.

construir artefactos no es específico de las modernas tecnologías industriales. Los principios teóricos de la estática y la hidrostática ya se utilizaban en la antigüedad para diseñar y construir máquinas y artefactos de varios tipos. A partir de la revolución industrial se generaliza la explotación sistemática de los nuevos conocimientos científicos para aplicarlos a la producción industrial y agrícola como a los servicios , pero sobre todo al diseño de nuevos artefactos y/o productos de consumo. Sin embargo, no todas las nuevas tecnologías de la sociedad industrial son resultado de aplicaciones directas del conocimiento científico: las máquinas de vapor, por ejemplo, son anteriores a la formulación de la termodinámica.

Es decir, que aunque la conexión entre ciencia y tecnología es mucho más fuerte que en el pasado, una gran cantidad de cambios tecnológicos han tenido lugar sin incorporaciones sustanciales de la ciencia.

- *Intelectualismo-Pragmatismo*

Esta posición epistemológica mencionada hay que enmarcarla entre los dos principales enfoques de estas relaciones que revelan distintas perspectivas filosóficas del fenómeno científico-técnológico.

El primer enfoque, denominado *intelectualista*, considera que las tecnologías son aplicaciones de conocimientos previamente disponibles que conducen a la resolución de problemas prácticos. Se reducen, en último término, a ciencia aplicada. La investigación que realiza el tecnólogo para el diseño de un artefacto se limita a aplicar conocimientos científicos relevantes para el problema práctico y a diseñar normas de actuación basadas en esos conocimientos.

Quienes argumentan en contra de esta posición plantean que el diseño de un artefacto no es una simple operación de "aplicación" de conocimientos a situaciones o problemas prácticos definidos de antemano. Incluye otros elementos como la invención, el descubrimiento, la creación práctica. Los criterios de evaluación son criterios específicos como eficacia, eficiencia, fiabilidad, entre otros que no coinciden con los criterios de verdad aplicados en la ciencia aplicada. Es decir que se utiliza el conocimiento científico, pero, cuando se realizan diseños tecnológicos no sólo se basa en el conocimiento científico previamente disponible, sino en los resultados de investigaciones expresamente emprendidas para ese propósito tecnológico. Es más aún, existen sistematizaciones de conocimientos científicos orientados a problemas prácticos o referidos a la organización de acciones. Tanto en las tecnologías preindustriales como en

las industriales, la invención, el diseño y la innovación creativa son factores decisivos para un proceso de diseño tecnológico, y estas operaciones no se pueden entender como simples procesos de aplicación de conocimientos científicos previamente disponibles.

El segundo enfoque, que se denomina *pragmatista* o *materialista*, considera la situación inversa: la base de todo conocimiento es la experiencia práctica (la habilidad técnica) y los conocimientos científicos son formulaciones teóricas que pretenden fundamentar o explicar esos conocimientos obtenidos a través de la práctica. La ciencia evoluciona a partir de las técnicas, y las tecnologías son complejos técnicos promovidos por las necesidades de organización de la producción industrial, que promueven a su vez nuevos desarrollos de la ciencia.

El principal argumento en contra de esta posición es que si se pretende afirmar que el conocimiento científico no es más que una forma de representar en abstracto la experiencia tecnológica habría que preguntarse por qué esa decantación de la experiencia aumentaría el conocimiento teórico de la realidad. Es decir, que si el único contenido informativo del conocimiento científico es el de la experiencia técnica en que se basa, entraría en crisis el

criterio de juzgar las teorías científicas con criterios de verdad, precisión y exactitud, mucho más exigentes que los criterios de utilidad y eficiencia con que se evalúan las tecnologías.

Es difícil, aunque no imposible, que filósofos sostengan alguna de estas posiciones en su estado puro en nuestros días. Pero sí se pueden observar en distintos pensadores sesgos marcados de los dos enfoques.

La postura más razonable, parece ser, adoptar una postura ecléctica, que reconozca al mismo tiempo la autonomía de la tecnología, como parte de la cultura humana, y su interacción con otras partes de la cultura, como las manifestaciones artísticas o la misma ciencia.

- *Implicancias científicas ante la ausencia de Tecnología*

Es importante tener presente que la secuencia de descubrimientos científicos y de innovaciones tecnológicas no se reproducen en un proceso lineal. Este proceso es intrincado y complejo. Y un mejor entendimiento necesita ser llevado a cabo tratando las dos vías de influencia entre ciencia y tecnología

Siempre se enfatiza la relación de la ciencia como elemento motivador y conductor de desarrollos tecnológicos y éstos como procesos y productos inevitables en los nuevos desarrollos científicos.

También se acepta, y cada día más, que las innovaciones tecnológicas son el motor de investigaciones científicas, tanto de carácter aplicado aportando conocimientos que ayudan a resolver problemas tecnológicos, como de carácter básico, con el aporte de un fondo de conocimientos sobre el que florecen nuevas iniciativas de innovación tecnológica.

**Pero poco se habla sobre los innumerables desarrollos científicos que no se desarrollan porque no se cuenta con la tecnología adecuada.**

En este trabajo voy a hablar de esta relación, tan poco explorada, de los avances científicos que "no son" por la profunda interrelación entre ciencia y tecnología que no permite, en algunos casos, que una de las componentes avance por no estar presente la otra.

Esto demuestra que cuando se habla de la complicadas relaciones entre ciencia y tecnología, este tema no sea menor, ya que no siempre esta relación responde al "modelo de

matrimonio", bajo el ideal de cooperación tan comúnmente aceptado.

La tecnología, como mencioné en párrafos precedentes ejerce una influencia extremadamente fuerte en nuestros días en los desarrollos científicos. Pero este análisis se hace siempre desde el punto de vista positivo, es decir: gracias a la presencia de determinada tecnología se logran avances científicos específicos.

Lo que planteo es lo siguiente: Como no se tiene determinada tecnología se han abandonado innumerables líneas de desarrollos científicos. Es decir el "feedback" tan aceptado no permite ver las cosas que quedan de lado y que no se puede establecer una adecuada dimensión del retroceso en el avance del conocimiento en múltiples campos disciplinares.

Estamos tan invadidos por conceptos tecnológicos que no se puede ver con claridad las cosas que se han sacrificado en pos de los desarrollos tecnológicos. Es decir que, aunque lejos de asumir una posición pesimista ante la tecnología, quiero señalar que cuando se avanza en determinados desarrollos científico-tecnológicos se sacrifican otros que nadie puede determinar cuándo se desarrollarán y los retrocesos que ya han producido.

En los siguientes capítulos, a modo de ejemplo, analizaré los supuestos básicos subyacentes de la Informática, máximo exponente de avances tecnológicos con aportes altamente positivos en nuestra sociedad.<sup>(9)</sup>

Me interesará subrayar que por ir en pos de desarrollos informáticos se han abandonado otras valiosas ramas teóricas que podrían haber sido tan valiosas, o quizás más, que las actuales y cuán profunda es la influencia tecnológica en el momento de decidir sobre una determinada línea teórica.

---

<sup>(9)</sup> Esto si no se adopta una posición pesimista frente a la tecnología. Aunque si se adoptase los análisis acá presentados seguirían siendo válidos.

## Capítulo 2

### Diseño de Algoritmos: ¿Una Actividad Tecnológica?

#### **2.1- Tipos de problemas resolubles a través de una computadora.**

- *Problema del itinerario del viajante*
- *Problema de los puentes de Königsberg*
- *Máquina de Turing*
- *Clasificación de los problemas*
- *Problema de Hamilton*
- *Observaciones*

#### **2.2- Análisis de las definiciones de Algoritmo**

#### **2.3- El desarrollo de los algoritmos de tiempo polinómico y su relación con los diseños tecnológicos.**

## 2.1- Tipos de problemas resolubles a través de una computadora

Un aspecto fundamental en el desarrollo tecnológico de nuestros días es la potencialidad de las computadoras que permiten realizar gran diversidad de tareas.

Es muy raro que haya disciplinas científicas que puedan estar absolutamente ajenas a ellas, aunque sea con el uso de un Procesador de texto o mediante la búsqueda de información para una tarea específica por Internet.

Pero, qué es lo que permite esta multiplicidad de tareas? El concepto básico es simple y siempre el mismo: Una computadora resuelve problemas a través de órdenes precisas en un lenguaje determinado.

Escribir un programa<sup>(10)</sup> en computadora para resolver un problema comprende varios pasos que van desde la formulación y especificación del problema, el diseño de la solución, su implementación, prueba y documentación, hasta la evaluación de la solución.

La principal trabajo, aunque no tan mencionado, es saber si el problema que se quiere resolver se lo puede hacer a través de una computadora.

---

<sup>(10)</sup> Cuando las órdenes son codificadas en un determinado lenguaje para que sea interpretado por una computadora, se denomina programa.

A continuación voy a describir distintas posibilidades que se pueden presentar al intentar resolver problemas en computadora:

- *Problema del itinerario del viajante*

El problema es preparar el itinerario de un viajante que quiere visitar cierto número de ciudades. Para ello se le entrega un mapa en el que están señaladas las distancias entre las distintas ciudades, y se le pide que determine el circuito más corto que pase por todas las ciudades y regrese al punto de partida. Un método seguro de obtener la respuesta correcta consiste en trazar todos los recorridos posibles, medir sus longitudes y tomar el mínimo. Sin embargo, en cuanto el itinerario haya de contener cierto número de ciudades, habrá que comprobar, seguramente, centenares o miles de posibles rutas.

Si fuesen 100 ciudades, por ejemplo, incluso la computadora más veloz necesitaría varias semanas de operación para hallar el recorrido mínimo.

Tratando de obtener más rápidamente la solución se podrían ensayar métodos menos rigurosos. Una idea razonable podría ser: visitar las ciudades más cercanas, antes de dirigirse a las alejadas. Pronto se descubre, sin embargo, que este procedimiento no siempre da el resultado deseado.

Otros posibles atajos resultan también fallidos. De hecho, los mejores métodos disponibles para resolver este problema, no son mucho mejores que el evidente procedimiento, aunque laborioso, consistente en examinar todas las posibilidades. Los matemáticos sospechan en la actualidad que este problema, y otros muchos semejantes, pueden rebasar, muy probablemente, nuestra capacidad para resolverlos de alguna forma eficiente. No obstante, tales especulaciones tampoco han recibido confirmación, no se ha podido demostrar que no existen métodos más rápidos.

En el problema del itinerario del viajante, lo que tiene importancia no es la solución para un conjunto de ciudades determinado, sino el método general de hallar la solución para cualesquiera ciudades. Tales métodos se llaman **algoritmos**. Se trata de procedimientos enunciados con la mayor precisión que dan un conjunto de reglas, aplicables siempre de igual forma a todos los casos concretos de un problema general. Cuando el problema ha de resolverse con el auxilio de una computadora, es indispensable disponer de un algoritmo, porque a la computadora solamente pueden serle presentados aquellos procedimientos que pueden enunciarse en la forma de algoritmos. Instrucciones vagas o que apelen a la intuición no son aceptables para el cómputo mecánico.

El método que se explica en la escuela para restar dos números enteros proporciona un ejemplo de algoritmo. Si se

aplica correctamente cada uno de los pasos del método, el algoritmo dará la solución correcta. Lo que es más importante, una vez aprendido el algoritmo, o almacenado en la memoria de una computadora, o incorporado en los circuitos de una calculadora electrónica (dispositivo), puede aplicarse a un conjunto infinito de problemas de sustracción. Con este algoritmo puede establecerse siempre la diferencia entre dos números enteros cualesquiera.

En principio, todo problema para el que puede diseñarse un algoritmo puede resolverse mecánicamente. Por ello, quizás resulta sorprendente que haya problemas para los que existen algoritmos, pero hasta el momento es imposible resolver en la práctica de forma general. Los algoritmos para resolver estos problemas darían siempre soluciones correctas, pero muy frecuentemente **exigirían tiempos desorbitados**. El problema del viajero figura entre tales ímprobos tareas.

La **eficiencia** de los algoritmos es un tema de indudable importancia práctica.

Tanto en la matemática como en la lógica existen problemas para los que **nunca podrán escribirse algoritmos**.

Por otra parte, se conocen ya **algoritmos rápidos y eficientes** para muchos problemas importantes. Comprendida entre ambos grupos se encuentra una tercera categoría de problemas que, en principio, siempre es posible resolver, para los cuales sin embargo, sólo se conocen **algoritmos**

**ineficientes** (y, por consiguiente la mayoría de las veces, impracticable).

Los matemáticos han podido demostrar que, para algunos de estos difíciles problemas nunca podrán prepararse algoritmos eficientes. Para muchos, de los problemas más importantes, sin embargo, se tiene únicamente la sospecha de que será imposible encontrar algoritmos eficientes.

Puede haber más de un algoritmo que resuelve un problema dado. Por ejemplo, en Europa los niños aprenden a restar en forma ligeramente distinta que en EEUU. No obstante ambos algoritmos dan resultados iguales y requieren el mismo tiempo de ejecución. Pero no ocurre invariablemente así con los distintos algoritmos que resuelven un mismo problema. Un famoso problema que puede resolverse bien por un algoritmo "rápido", bien por un algoritmo "lento", es el problema de los puentes de Königsberg.

- *Problema de los puentes de Königsberg*

En el siglo XVIII, en la entonces ciudad alemana de Königsberg se construyó un par que ocupaba las orillas y dos islotes del río Pregel. Dentro del parque de siete puentes, pasando por cada uno de ellos una y solamente una vez, llegó a ser muy popular en la época.

Para resolver el problema carecen de importancia la forma y tamaño de los islotes o la longitud de los puentes. La única información esencial es la configuración que definen las interconexiones. Se puede presentar matemáticamente tal información de forma concisa mediante un grafo.<sup>(11)</sup> En el caso del parque de Königsberg, cada ribera y cada isla se condensan en único punto, y cada puente se convierte en una línea que une dos puntos. Así pues, el grafo está formado por cuatro puntos y siete líneas. Si cada línea recibe un distintivo, cualquier recorrido por el parque queda completamente determinado por la sucesión de distintivos correspondientes. (Ver Página 71, Figura 1)

Un procedimiento obvio de resolver el problema sería enumerar todos los caminos que cruzan todos los puentes y desechar después todos aquellos que crucen un mismo puente más de una vez. Se trata de la técnica de la búsqueda exhaustiva, análoga a la empleada en el problema del viajante. Cuando le plantearon el problema de los puentes de Königsberg al matemático Leonhard Euler, éste reconoció inmediatamente la pobreza del método y descubrió otro. En reconocimiento a su trabajo, en la actualidad se llaman caminos eulerianos a los caminos que pasan por cada línea de un grafo una y exactamente una vez. Euler escribió: *"El problema particular de los siete puentes de Königsberg podría*

---

<sup>(11)</sup> Un grafo es una estructura matemática constituida por un conjunto de puntos y de líneas que los enlazan.



*resolverse tabulando cuidadosamente todos los posibles recorridos, comprobando después por inspección cuáles, si es que existe alguno, satisfacen la condición. Este método de resolución, no obstante, es demasiado tedioso y demasiado difícil, en virtud del elevado número de combinaciones posibles, y, además, en otros problemas con muchos más puentes, sería imposible utilizarlo".*

El método hallado por Euler es mucho más sencillo. Demostró primero que tendría que existir un recorrido como el deseado si el grafo cumpliera dos requisitos: primero, que ha de ser posible ir desde cualquier otro punto siguiendo las líneas del grafo; dicho de otra forma, el grafo no puede ser disconexo. Segundo, que todos los puntos del grafo, a excepción de posiblemente dos, han de ser nudos donde se reúna un número par de líneas.

Por lo tanto un grafo no puede tener un recorrido euleriano si no cumple estas dos condiciones. Si ha de existir un camino que pase por todas las líneas del grafo, éste ha de ser conexo, es decir, todas sus regiones han de estar conectadas entre sí. Cada punto ha de tener un número par de líneas, pues la mitad de ellas son necesarias para llegar al punto, y, la otra mitad, para salir de él. Puede haber dos puntos con un número impar de líneas, si tales puntos se toman como origen y término del recorrido. La

---

demostración de que todo grafo que reúna estos dos requisitos tiene efectivamente un camino euleriano requiere un razonamiento algo más complicado, que no ofreceré aquí, pero que Euler construyó rigurosamente.

Es cosa sencilla expresar algorítmicamente la solución que Euler dio al problema anterior, que puede ser ejecutada mediante una computadora. Puede comprobarse que se satisface el primer requisito, conexión del grafo, marcando un punto cualquiera del mismo, y señalando después de la misma manera todos los puntos conectados mediante líneas con él. Se procede ahora de la misma forma a partir de los puntos recién marcados, y así sucesivamente. El grafo es conexo si al final han marcado todos sus puntos. La segunda condición se verifica con gran facilidad. Se ordena a la máquina que examine cada punto del grafo y que cuente el número de líneas que concurren en ese punto. Si no hay más de dos puntos que contengan un número impar de líneas, el grafo tiene un recorrido euleriano. El parque de Königsberg, cumplía con la primer condición, pero no la segunda, y, por consiguiente, no existía ningún recorrido euleriano de sus siete puentes.

De los métodos, el de Euler es incuestionablemente más económico para resolver el problema de los puentes de Königsberg; en él solamente es preciso enumerar cada punto y cada línea del grafo una vez, mientras que el método de búsqueda exhaustiva no termina hasta que se hayan enumerado

todos los caminos que pasan por todos los puentes. El número de tales caminos es mucho mayor que el número de puntos y líneas del grafo. En este sentido el método de Euler da un algoritmo superior, pero ¿cuánto mejor? ¿Cómo puede medirse la diferencia entre ambos y cómo puede saberse si la diferencia es significativa?

Para un grafo que tenga solamente cuatro puntos y siete líneas ambas técnicas son lo suficientemente rápidas para ser consideradas practicables. Sin embargo, supongamos que se añaden al parque nuevas islas y puentes, o sea, que se añaden al grafo nuevos puntos y líneas. Si el problema ha de resolverse por el método de Euler, cada nuevo punto añade solamente un nombre a la lista de puntos a examinar. Por otra parte, si han de examinarse los posibles caminos mediante exploración exhaustiva, con cada nuevo punto o cada nueva línea, el tamaño de la lista queda multiplicado por un cierto factor. Un moderado aumento del tamaño del grafo provoca el crecimiento explosivo del número de caminos. La longitud de la lista de caminos acaba haciendo prohibitivo su examen.

La anterior comparación de las dos soluciones del problema de Euler proporciona las bases para diseñar un método completamente general de evaluar la rapidez o la viabilidad de un algoritmo, esto es, su eficiencia. Se imagina que al algoritmo se le suministran entradas cada vez mayores, y se observa la razón del crecimiento del tiempo

invertido en ejecutarlo. De este modo pueden hacerse juicios inequívocos sobre la calidad del algoritmo.

El método de exploración exhaustivo no es solamente un método más lento; en general es demasiado lento para tener valor práctico alguno. El método de Euler sigue siendo válido para problemas de tamaño, en esencia, ilimitado.

Conforme aumenta el tamaño de los grafos a examinar, el tamaño de las listas obtenidas por el método de exploración exhaustiva crece exponencialmente. Cada vez que se añade al grafo un número fijo de líneas y puntos se duplicará el tamaño de la lista resultante.

Un crecimiento de esta naturaleza puede expresarse mediante una función matemática de la forma  $2^n$  siendo  $n$  cierta medida del tamaño y complejidad del grafo. Otras muchas funciones tienen tasas de crecimiento parecidas o aún mayores. Entre ellas se tienen  $n^n$  y  $n!$ .<sup>(12)</sup>

Para los fines de esta presentación será suficiente considerar que todas estas funciones tienen la propiedad **de crecimiento exponencial**.

Otro tipo de funciones matemáticas son las llamadas funciones **polinómicas**. Las más sencillas de esta clase son las funciones lineales, como por ejemplo,  $3n$ , que representan la simple relación de la proporcionalidad. El tiempo

---

<sup>(12)</sup> Que se lee "factorial de  $n$ " y representa el producto de  $n$  por todos los enteros comprendidos entre 1 y  $n$

necesario para resolver el problema de los puentes de Königsberg por el método de Euler crece en función lineal del tamaño del grafo. Otros polinomios son, por ejemplo,  $n^2$ ,  $n^3$ , etc. y la suma de productos por números de tales funciones. Lo que distingue a los polinomios de las funciones exponenciales es que la  $n$  nunca aparece como exponente.

Tomando valores de  $n$  suficientemente grandes, toda función exponencial alcanzará y superará a cualquier función polinómica. Para valores pequeños de  $n$  es perfectamente posible que una función polinómica dada sea mayor que una función exponencial dada, pero siempre existe un valor  $n$ , dependiente de las funciones de las funciones particulares consideradas, a partir de la cual la mayor de las dos es la función exponencial. La forma precisa que pueda tener el polinomio no importa gran cosa: únicamente cambiará el punto en el que la función polinómica se verá superada.

Los especialistas en informática están totalmente de acuerdo en que los algoritmos cuyo tiempo de ejecución crece exponencialmente en función del tamaño de la entrada carecen de valor práctico.

Se denominan **algoritmos de "tiempo exponencial"** a los algoritmos de esta categoría, o, más sencillamente algoritmos **no eficientes**. Los únicos algoritmos que se consideran lo suficientemente rápidos o **eficientes** para ser aplicables en general son los de **"tiempo polinómico"**. Como es

obvio, incluso entre los algoritmos eficientes, unos son más rápidos que otros; ahora bien, para los objetivos de este trabajo tan sólo importa distinguir entre algoritmos de tiempo polinómicos y algoritmos de tiempo exponencial, pues ambos forman categorías diferentes.

- *Máquina de Turing*

Las propiedades matemáticas de los algoritmos fueron estudiadas en la década de 1930 por el matemático británico A. M. Turing, inventor de una computadora imaginaria, hoy denominada "máquina de Turing". En su concepción la máquina de Turing era un autómata provisto de una cinta infinita de papel dividido en regiones cuadradas. La máquina solamente podía realizar cuatro acciones: que la cinta avanzase un cuadro, escribir una marca, borrar una marca ya existente en él y, al finalizar un cálculo, podía detenerse. Estas operaciones habían de realizarse de acuerdo con una sucesión de instrucciones que formaban parte del mecanismo interno.

Evidentemente, Turing nunca llegó a construir tal máquina: se trataba sencillamente de un artificio conceptual para resolver de manera automática problemas de lógica y de matemática. Lo que, en realidad, interesaba a Turing no era la solución efectiva mediante su máquina, sino determinar qué tipos de problemas podrían resolverse con ella y cuáles no.

Turing descubrió que incluso una máquina tan sencilla como ésta podría resolver cualquier problema para el que se tuviese un algoritmo. El cálculo sería laborioso e indirecto, pero concediéndole suficientemente tiempo y papel la máquina terminaría por hallar la solución y detenerse. Reducida a sus elementos más esenciales, la máquina de Turing es un lenguaje para enunciar algoritmos, en principio tan potente como los más complejos lenguajes que se utilizan actualmente para comunicarse con las computadoras.

Además de concebir tales máquinas, Turing puso de manifiesto sus limitaciones. En 1936, demostró que hay problemas que **no pueden resolverse mediante máquinas de Turing, y de aquí se sigue que tales problemas no podrán ser resueltos por ninguna computadora.** Existen problemas para los que es imposible enunciar un algoritmo, ni siquiera en teoría. El primer ejemplo estudiado por Turing es el problema de predecir si una máquina de Turing concreta, una vez puesta en marcha, llegará a terminar su cálculo y se detendrá. Analizando este problema, llegó a la demostración de que no puede existir un procedimiento general para decidir si las proposiciones matemáticas son verdaderas o falsas. Desde entonces, se han propuesto diversidad de otros problemas con las mismas propiedades.

- *Clasificación de los problemas*

Un resultado del trabajo de Turing fue la división de todos los problemas matemáticos imaginables en dos clases.

**Clase 1:**

Los problemas para los que nunca podrán escribirse algoritmos son, desde el punto de vista formal, permanentemente irresolubles. Ciertos casos de tales problemas podrán resolverse si se tiene suerte o alguna clase de intuición geométrica, pero nunca podrá hallarse un método general de resolución de los mismos.

**Clase 2:**

Todos los demás problemas de la matemática y la lógica pueden ser resueltos mediante algoritmos. Como ya hemos visto, unos algoritmos son más útiles que otros. La clase de los problemas resolubles puede, por lo tanto, descomponerse en dos subclases:

**Clase 2.1:**

La formada por aquellos problemas que poseen algoritmos eficientes, de tiempo polinómico. (También llamada clase P, inicial de "polinomio")

**Clase 2.2:**

La compuesta por los problemas que solamente admiten algoritmos de tiempo exponencial.

El problema de Euler es miembro de la clase de problemas con tiempo polinómico (**clase P**) pues el propio método de Euler es un algoritmo de tiempo polinómico.

Se conocen también problemas que solamente pueden poseer algoritmos de tiempo exponencial, aunque se trata de problemas bastante oscuros.

A pesar de que estos dos grupos de problemas son bien distintos, no siempre es tarea fácil asignar a un problema dado el grupo al que pertenece.

En realidad hay una clase muy interesante de problemas que parecen ocupar una posición intermedia.

### **Clase 2.3:**

Para estos problemas no se conocen algoritmos eficientes, y las mejores soluciones disponibles requieren tiempos exponencialmente crecientes con el tamaño del problema; pero nadie ha podido demostrar todavía que no tienen soluciones de tiempo polinómico. (Esta clase también se denomina **clase NP** nondeterministic polynomial", no determinísticamente polinómicos)

#### *- Problema de Hamilton*

Uno de tales problemas es el estudiado por William Rowan Hamilton, matemático irlandés del siglo pasado. En apariencia, el problema de Hamilton es muy semejante al de Euler. El problema de Hamilton consiste en determinar si un

fracasado y ha de considerarse posible que se descubra un algoritmo eficiente en el día de mañana.

La clase NP incluye todos los problemas de la clase P; dicho de otra forma, P es subconjunto de NP. Además de los anteriores, la clase NP contiene otros problemas de status menos seguro. Todos ellos son problemas resolubles, al menos en teoría; tienen algoritmos, aunque por el momento se conocen algoritmos de tiempo exponencial. Podrían tal vez tener algoritmos de tiempo polinómico (en cuyo caso NP y P serían idénticas) o pueden resultar permanentemente inabordables, y tener solamente soluciones ineficientes.

Los problemas aquí considerados, y todos los problemas clasificados de esta forma, pueden describirse como un conjunto infinito de cuestiones semejantes, cada una de las cuales puede responderse con "sí" o "no". En el caso de problemas formalmente insolubles, como el problema de predecir si una máquina de Turing determinada se detendrá o no, estas preguntas no pueden contestarse mediante ningún procedimiento algorítmico.

Para los problemas de la clase P, las cuestiones tienen siempre respuesta, tanto si la respuesta es afirmativa como si es negativa, por un procedimiento eficiente. Para que un problema forme parte de la clase NP no es preciso que exista un método eficiente de responder las preguntas afirmativa o negativamente. Lo que se requiere es que cuando la respuesta

sea afirmativa exista un método breve y convincente que así lo demuestre.

El problema de Hamilton, por ejemplo, satisface este requisito. Ninguno de los métodos hoy conocidos permite decidir eficientemente si un grafo dado tiene recorrido de Hamilton, pero cuando lo tiene es posible mostrar el recorrido en cuestión, y demostrar fácilmente que el recorrido existe. Así pues, para todo grafo de Hamilton puede extenderse un certificado "que demuestre que pertenece a esta clase especial de grafos". Un certificado tal consistiría en nombrar las líneas del grafo en el mismo orden en que las iría recorriendo el camino hamiltoniano. Para hallar tal camino, quizás sean precisas varias semanas de tabulaciones, pero una vez hallado puede mostrarse fácilmente.

Otro problema perteneciente a la clase NP es ver si un número entero dado es primo o compuesto, esto es, si es o no descomponible en producto de otros dos números. Como antes ocurría, no se conoce ningún método eficiente de responder esta cuestión; pero cuando el número es verdaderamente compuesto, tal hecho puede probarse muy brevemente, a saber, mediante una multiplicación correcta cuyo resultado sea el número propuesto.

Es preciso poner gran atención al formular las preguntas a responder con un sí o con un no en los problemas de la categoría NP, pues el problema no-o-sí complementario del

dado puede no pertenecer a la misma clase. Por ejemplo, el complementario del problema del grafo de Hamilton pediría demostrar que un grafo no tiene ningún camino que pase una sola vez por cada uno de esos puntos. Este problema puede muy bien no pertenecer a la clase NP, pues hasta el momento, la única forma de demostrar la no existencia de tal camino sería dar el inventario completo de todos los caminos posibles, demostración que es demasiado larga para servir como certificado de pertenencia a la clase NP. Por otra parte, el complementario del problema del número compuesto, que pediría determinar si un número es primo, resulta pertenecer a la clase NP.

Es fácil demostrar que todo problema de la clase P pertenece también a la clase NP. Si un problema pertenece a P, por definición existe para él un algoritmo eficiente. Para obtener una demostración breve y convincente de que la respuesta en un caso particular es afirmativa, todo lo que se necesita es aplicar el algoritmo; el registro de los pasos del proceso constituye el certificado requerido.

La clase NP puede definirse también como la clases de problemas cuya respuesta es "sí "o "no" y que podrían resolverse brevemente por tanteo. Si se tiene un caso particular de problema NP cuya respuesta resulte ser afirmativa, tal respuesta podría descubrirse bastante pronto realizando unos cuantos tanteos si la suerte ayudase un poco.

Si su respuesta fuese negativa, no se podría hallar por tanteo tal respuesta antes que si se efectuara una exploración exhaustiva. Por ejemplo, al estudiar un problema de Hamilton concreto, se podría encontrar un camino correcto (si es que hay alguno) al primer intento; trazando pequeñas porciones del itinerario y tanteando en cada etapa la forma de proseguir. Tal proceder, y vale la pena insistir con esto, no es algorítmico. Para convertirlo en un algoritmo sería necesario tachar cada camino ensayado después de verificarlo, examinar todos los caminos posibles, método equivalente al de exploración exhaustiva.

Puede parecer grotesco definir un método matemático en términos de felices ideas y tanteos afortunados, pero, no obstante, es un método perfectamente legítimo de precisar cuáles son los problemas que pertenecen a la clase NP. En teoría, se podría incluso mecanizar el procedimiento construyendo un artificio denominado "máquina de Turing no determinística". Este dispositivo puede efectuar todas las funciones de una máquina de Turing ordinaria, pero además, en algunos puntos de su funcionamiento, puede elegir de más de una manera cuál va a ser la etapa siguiente. Se consideraría que tal máquina habría respondido afirmativamente a una cuestión si existiera alguna sucesión de elecciones que pudieran llevarla a conclusión afirmativa.

La clase NP de los problemas no determinísticamente polinómicos está formada precisamente por aquellos problemas cuyos casos particulares de solución afirmativa podrían ser identificados por máquinas efectuando una sucesión relativamente breve de cálculos de tanteo.

La posibilidad de definir problemas como los anteriores, apelando a la noción de tanteo afortunado, ha inducido a muchos matemáticos a opinar que las clases P y NP no son el mismo conjunto, y que, por consiguiente, nunca podrán encontrarse algoritmos eficientes para los problemas no manejables de la clase NP. Si todo problema perteneciente a NP perteneciera en realidad a P, todo el trabajo de "tanteo y adivinación" podría sustituirse sin excesivo sacrificio de tiempo por un proceder sistemático. Cuesta trabajo que la capacidad de adivinar y la posibilidad de tener suerte puedan aportarnos tan poco.

La clase NP contiene una diversidad de problemas de frecuente aparición, y que parecen desafiar la posibilidad de resolverlos eficientemente.

Dado que los problemas NP-completos encierran en sí todas las dificultades de los demás problemas NP, está hoy ampliamente difundida la convicción de que los problemas NP-completos son computacionalmente imposibles de tratar. Por lo general, si llega a demostrarse que un problema es NP-

completo, se acepta tal razón como suficiente para abandonar la búsqueda de algoritmos eficientes que lo resuelvan.

Ni aún admitiendo que ningún problema NP-completo puede ser computacionalmente manejable quedarían zanjadas todas las cuestiones relativas a la clase NP. Hay razones aún más oscuras que los misteriosos problemas NP completos: problemas de la clase NP para los que no se conocen algoritmos eficientes ni tampoco han podido demostrarse que sean NP-completos.

Desde un punto de vista de la matemática, la cuestión importante es si NP es una clase idéntica a P. Los reiterados fracasos que han sufrido todos los intentos de hallar algoritmos eficientes para los problemas NP-completos han hecho crecer la confianza en que NP y P no sean clases iguales. Se tiene hoy la sospecha de que no son idénticas, pero es posible que la demostración de su distinto carácter no esté al alcance de la matemática actual. Esta cuestión puede muy bien sumarse al selecto grupo de enigmas matemáticos que permanecen sin solución durante varias décadas, en espera del desarrollo de nuevos métodos.

- *Observaciones*

Por todo lo expuesto, queda claro que los matemáticos seguirán analizando las intrincadas situaciones de la teoría de los algoritmos y quienes decidan trabajar

computacionalmente deberán resolver exclusivamente los problemas que pertenecen a la clase P abandonando otros problemas de real interés.

Es decir que todos los problemas que se resuelven en computadora han sido seleccionados por un **criterio de eficiencia respecto del algoritmo que entrega la solución, criterio basado en tiempos de ejecución del algoritmo.**

Como el concepto de algoritmo presenta una importancia fundamental es este trabajo, a continuación voy a profundizar en él desde un punto de vista histórico y conceptual.

## 2.2 Análisis de las definiciones de Algoritmo

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, se entiende por algoritmo la prescripción exacta sobre el cumplimiento de cierto sistema de operaciones en un orden determinado para la resolución de todos los problemas de algún tipo dado. Aunque ésta no es una definición rigurosa de algoritmo refleja la concepción que se ha formado y es empleada desde la matemática desde los tiempos antiguos.

En matemática se considera resuelta una serie de problemas de un tipo determinado cuando se ha establecido un algoritmo para su solución. Pero como se enunció precedentemente, existen problemas para los que es imposible enunciar un algoritmo.

La eficiencia de los algoritmos es inextricable a la definición misma.

De lo antes expuesto se infiere la relación íntima existente entre los algoritmos y las máquinas computadoras automáticas. Obviamente todo proceso cuyos pasos individuales se ejecuten en sucesión en una máquina automática puede ser descrito por un algoritmo. Por otra parte, todos los algoritmos polinómicos hasta ahora conocidos y aquellos cuya existencia puede preverse en el estado actual de las ciencias, son realizables en principio en máquinas automáticas.

La relación antes mencionada, entre los conceptos de algoritmo y de máquina automática de memoria potencialmente ilimitada, permite elucidar mejor su esencia. Si se precisa uno de estos conceptos también se precisará el otro.

Sin embargo no basta con subrayar la comunidad de ambos conceptos, pues por ahora no se ha definido con precisión ninguno.

La definición matemática exacta del concepto de algoritmo ( y junto con ella la definición de exacta de computadora automática) fue elaborada en 1930.

Al elaborar la definición hubo que superar dificultades que consistían en que la definición propuesta debía reflejar correctamente la esencia que, aunque en forma vaga, de hecho ya se tenía. Con este fin se emprendió una serie de investigaciones para revelar todos aquellos medios que realmente se utilizan para crear algoritmos. La tarea consistía en dar, sobre esta base, una definición del concepto de que fuese perfecto, no sólo desde el punto de vista de exactitud formal sino también, lo más importante, desde el punto de vista de su correspondencia real al sentido del concepto definido. Aquí cada investigador partía de diferentes consideraciones técnicas y lógicas y como consecuencia fueron elaboradas varias definiciones del concepto. No obstante, después se aclaró que todas estas definiciones eran equivalentes entre sí y, por consiguiente,

determinan el mismo concepto, este es el concepto actual exacto de algoritmo.

Todos los procedimientos de precisión del concepto, a pesar de toda su diferencia y variedad, en su esencia siempre llevaban y llevan a un mismo resultado. Esta circunstancia tiene una gran importancia cognitiva y es precisamente un testimonio del acierto de la definición elaborada.

Tiene un interés particular desde el punto de vista de la matemática de máquina, la definición en la que la esencia de este concepto se descubre en base del examen de los procesos que se realizan en la computadora.

Para tal definición matemática rigurosa hay que representar el mecanismo del funcionamiento de la computadora en forma de cierto esquema standard, simple al máximo en cuanto a su estructura lógica y a la vez tan exacto que pueda servir de objeto para la investigación matemática. Esto fue lo que realizó Turing en su enunciación de su máquina.

Partía de la idea general de asemejar el funcionamiento de la máquina al trabajo de un calculador que opera en concordancia con cierta prescripción.

Es evidente que ninguna máquina creada o por crear puede tener una memoria infinita y en ese sentido la Máquina de Turing sólo representa un esquema idealizado que refleja la posibilidad potencial del aumento del volumen de memoria.

Esta idealización se justifica con la relación citada anteriormente, entre el concepto de algoritmo y el concepto de computadora con una memoria potencial ilimitada.

El fundamento de la Teoría de los algoritmos se basa en el siguiente enunciado:

*Cualquier algoritmo puede ser presentado por medio de un esquema funcional<sup>(13)</sup> de Turing realizado en la correspondiente Máquina de Turing.*

En esta definición se habla, por una parte, de cualquier algoritmo o sea sobre el concepto general de que, como ya se ha subrayado varias veces, no es un concepto matemático exacto; por otra parte en esta misma definición se trata de un concepto matemático tan exacto como el de esquema funcional de la Máquina de Turing. La importancia del enunciado consiste justamente en que precisa el concepto vago de "cualquier algoritmo" por medio del concepto matemático de esquema funcional que es completamente exacto.

Por lo tanto, lo más importante es que el concepto vago se identifica con el concepto exacto de esquema funcional de la Máquina de Turing.

Por lo tanto el concepto de algoritmo no se lo puede pensar independientemente de un autómata, ya que la definición misma se realiza en función de éste.

---

<sup>(13)</sup> Se denomina esquema funcional a la representación de la función lógica que controla la máquina de Turing

Por supuesto, queda para analizar de qué autómeta se habla hoy en día cuando se desarrolla un algoritmo polinómico.

Los algoritmos polinómicos, son por lo tanto, aquellos que se van a implementar en un autómeta con un cierto grado de confiabilidad en su eficiencia.

Esta eficiencia se irá optimizando de acuerdo al hardware existente. Cabe realizar la siguiente pregunta:

¿Alguien que desarrolla actualmente estos algoritmos puede concebirlos realmente sin tener presente el hardware existente o a lo sumo potencialmente existente? Mi respuesta es contundente y es que no.

Si fuese así ¿ Por qué se desarrollaron hasta pocos años atrás sólo algoritmos mono-usuarios, es decir, para que se procesen sólo en un único procesador?

Con el advenimiento de los computadores que pueden distribuir las tareas (multi-tareas) comenzaron a desarrollarse los algoritmos paralelos (para multi-procesamiento). A partir de este herramienta tecnológica comenzaron los desarrollos de los algoritmos paralelos, recién cuando se vislumbró la posibilidad de la existencia de un hardware que los soporte, no se diseñaron antes ,salvo

pequeños intentos, pese a que no existía impedimento formal alguno para concebirlos y desarrollarlos.

Este es un claro ejemplo que hoy en día nadie diseña algoritmos polinómicos sin tener presente, en algún grado el hardware existente.

La dependencia con el hardware, es decir, con el soporte tecnológico, es muy fuerte. Más aún, es tan intensa esta dependencia que no permite que se piense en otro tipo de algoritmos.

Tampoco se ha avanzado con el desarrollo de algoritmos que utilicen otras lógicas que no sea la lógica clásica bivalente. Esto se puede dar a lo sumo en quienes desarrollan teorías matemáticas puras en el tema, pero no quienes desarrollan los algoritmos que van a resolver determinados problemas utilizando esta lógica. (Este tema lo desarrollaré en el Capítulo 3)

### **2.3-El desarrollo de los algoritmos de tiempo polinómico y su relación con los diseños tecnológicos.**

Como se enunció en el capítulo 1, el concepto de eficiencia es un concepto rector en la tecnología.

También lo es en los algoritmos, tanto que su clasificación es en base a este concepto. También se los valora por su simplicidad, economía y demás parámetros

tecnológicos. Los algoritmos no son ni verdaderos ni falsos, sino que funcionan correcta o incorrectamente.

En tecnología se realizan los diseños teniendo en cuenta dispositivos materiales existentes. También esto se tiene en cuenta, en alguna instancia, en el diseño de algoritmos de tiempo polinómico.

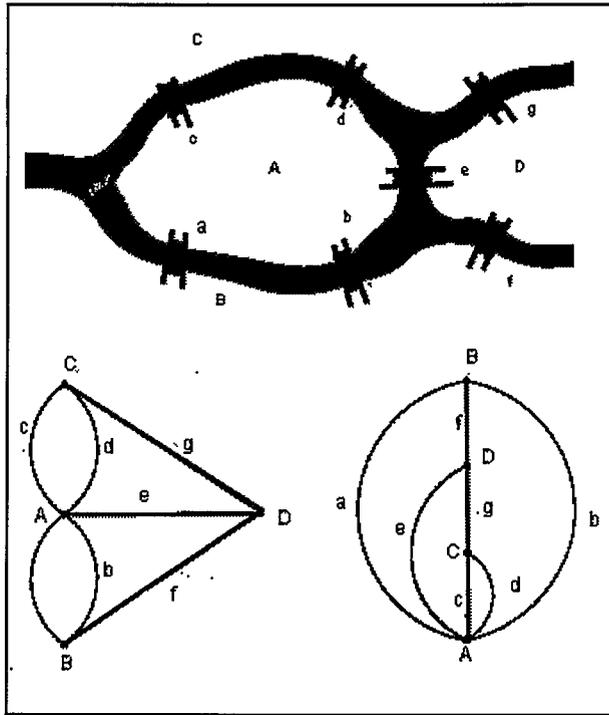
No se puede desconocer el carácter formal que presentan los enunciados de los algoritmos, sin embargo estos pueden asimilarse al concepto de modelo tecnológico, donde se establecen acciones que conducen a un resultado. Acciones similares a reglas tecnológicas, tales que cualquier dispositivo idóneo que las interprete obtiene el resultado esperado.

Por lo tanto el diseño de algoritmos de tiempo polinómicos, es sin duda una actividad tecnológica.

Ahora bien, cuál es la importancia de este resultado? Uno muy fuerte: Todo desarrollo científico que utiliza, en alguna instancia, algoritmos, está basado en una actividad tecnológica, definido por criterios tecnológicos y no sustentado en avances estrictamente científicos.

En el siguiente capítulo, presentaré, a modo de ejemplo, alguna de las distintas líneas teóricas que se abandonaron en no tener la tecnología adecuada para su implementación.

El problema de Euler:



El parque de Königsberg (arriba) puede representarse mediante un grafo, al menos de dos formas equivalentes (abajo derecha e izquierda). Euler descubrió un algoritmo eficiente para resolver este problema. Demostró que para que un grafo admita un recorrido que pase una sola vez por cada una de sus líneas, es necesario y suficiente que en todos sus puntos (con la posible excepción de dos) concurren un número par de líneas. Tales recorridos se llaman caminos eulerianos. Contando las líneas que concurren en los puntos del grafo del parque de Königsberg, se comprueba que no existen recorridos eulerianos.

Figura 1

El problema de Hamilton

Este problema es, en apariencia, similar al de Euler, aunque ahora sólo se pide si existe un camino que pase una y solamente una vez por todos los puntos de un grafo (en vez de la líneas). El grafo deducido del parque Königsberg (arriba, izquierda) tiene un recorrido hamiltoniano a pesar de no tenerlo euleriano. Suprimiendo dos líneas, se forma un grafo (arriba, derecha) que tiene un camino euleriano, pero no tiene recorrido hamiltoniano. El tercer grafo (abajo) no tiene ninguna de las dos propiedades. No se conocen algoritmos que resuelvan eficientemente el problema de Hamilton.

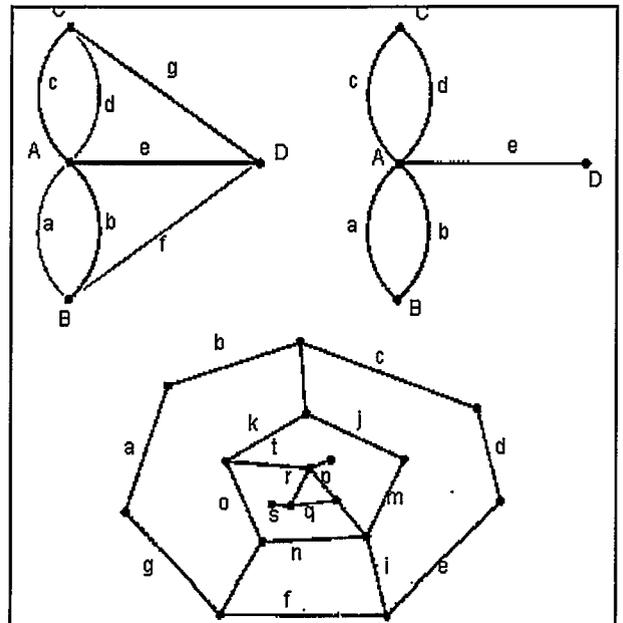


Figura 2

### **Capítulo 3**

#### **Las lógicas que no se aplican**

##### **3.1- Evolución histórica de la lógica clásica bivalente.**

- *El álgebra de Boole*
- *El origen de la lógica contemporánea*
- *La lógica y los fundamentos de la matemática*

##### **3.2- Otras lógicas.**

- *Lógica intuicionista, lógica cuántica y lógica difusa*
- *Relevancia de las otras lógicas*

##### **3.3- Reflexiones sobre las otras lógicas y los desarrollos científico-tecnológicos**

### 3.1- Evolución histórica de la lógica clásica bivalente

La lógica clásica bivalente es la lógica más estudiada y mejor conocida de las lógicas contemporáneas, y ocupa un lugar central en los desarrollos científico-tecnológicos.

Es de interés reseñar los antecedentes geométrico-matemáticos de las actuales lógicas para una mejor comprensión de las mismas.

Para llegar a presenciar los cambios en la visión de la lógica que surgen en el siglo XIX, es preciso tener en cuenta los avances en la investigación en matemática que dan origen, entre otras cosas, al surgimiento del álgebra abstracta, de las geometrías no euclidianas y a la preocupación por determinar la consistencia de la matemática misma.

Con respecto al álgebra abstracta, los trabajos en el siglo XIX, de Peacock, Hamilton, Abel, Galois, Cayley, etc. muestran que las operaciones aritméticas, hasta entonces usadas con un solo significado, podían redefinirse según diversas necesidades; de esta manera una operación como la multiplicación, por ejemplo, podría no ser conmutativa en el caso de los de los vectores.

Con respecto al surgimiento de las geometrías no euclidianas, el siglo XIX presenció el desenlace de la larga historia con respecto a si el postulado V de Euclides, el

postulado de las paralelas, era o no independiente de los otros postulados de los Elementos.

Los resultados anteriores, y algunos más, hacen que los matemáticos de la época se preocupen por la consistencia de su herramienta de trabajo. También en el siglo XIX se comienza a elaborar la axiomatización de los números reales y a adquirir conciencia de las relaciones entre los diversos tipos de números que hasta entonces se habían estado usando sin preocuparse por las posibles relaciones que entre ellos pudieran existir.

Es importante señalar que todos los anteriores avances ayudaron a que los matemáticos tomaran conciencia de que podían modificar, negar o rechazar principios asumidos que sólo la costumbre había hecho que parecieran inamovibles. Los resultados que podían obtener serían no sólo consistentes, sino también interesantes, teniendo en cuenta las posibles aplicaciones de los nuevos sistemas recién formulados o bien incluso por sí mismos, por las relaciones que mostraban que se daban entre sus elementos.

En el campo de la lógica los avances en álgebra influyen de manera importante en la labor de George Boole.

- El álgebra de Boole

El trabajo de Boole tiene como antecedente inmediato la labor de De Morgan y de Hamilton con relación a los viejos enunciados aristotélicos A, E, I, O.<sup>(14)</sup> Si en la tradición aristotélica anterior, el sujeto y el predicado de los enunciados se veían como signos de cualidades, De Morgan y Hamilton lo ven como signos de las cosas que tienen esas cualidades. Por otra parte, en la tradición aristotélica, los enunciados afirmativos, A, I, se explicaban como relacionando el sujeto con sólo parte del predicado, así: "Todo S es P" se entendía como afirmando que la cualidad de ser P era parte de la cualidad de ser S pero, además, no se agotaba P en ser S; en terminología tradicional, en los enunciados afirmativos no estaba distribuido el predicado. A diferencia de esto, en los enunciados negativos sí estaba distribuido. Hamilton, además de introducir una manera diferente de ver los términos de los enunciados, considera la posible cuantificación del predicado, y así, es posible tener dos enunciados de tipo A: "Todos los S son P" así como "Todos los S son algunos P". Con todos estos elementos a la mano, es posible dar una interpretación de los enunciados como afirmando relaciones entre éstas en términos de un álgebra de clases.

---

<sup>(14)</sup> Sean A: "Todo X es Y" ;E: "Ningún X es Y"; I: Algún X es Y;O: Algún X no es Y

Boole desarrolla su propuesta en su primer libro, "*The Mathematical Analysis of Logic, being an essay towards a calculus of deductive reasoning*" (1847) en el que propone un análisis de los enunciados tradicionales, A, E, I, O, en términos de ecuaciones y donde demuestra la validez de un silogismo mediante manejos algebraicos: si de las premisas mediante manejos algebraicos, se puede obtener la conclusión, entonces, el silogismo es válido. El manejo que se da a los términos de los enunciados es mediante una interpretación como términos de clases de la siguiente manera:

el enunciado A como:  $X(1-Y)=0$ ; <sup>(15)</sup>

el enunciado E como:  $XY=0$ ;

el enunciado I como:  $XY \neq 0$  y

el enunciado O como:  $X(1-Y) \neq 0$

Así, la primera expresión se puede interpretar como que es vacía la intersección de la clase de las X y el complemento de la clases de las Y; la segunda expresión señala que es vacía la clase de las X y la clase de las Y; la tercera expresión señala que no es vacía la intersección de la clase de las X y la clase de las Y y, finalmente, la cuarta expresión señala que no es vacía la intersección de la clase de las X y el complemento de la clase de las Y.

---

<sup>(15)</sup> La expresión  $(1-Y)$  representa el complemento de la clase Y.

El trabajo de Boole tuvo un alto impacto en numerosos campos disciplinares, fundamentalmente con el advenimiento de las computadoras se encontró en estos desarrollos la herramienta formal que permitió el crecimiento informático actual.

*- El origen de la lógica contemporánea*

En la segunda mitad del siglo XIX hubo una gran proliferación de nombres importantes que permitieron obtener soluciones. Sin embargo, debe mencionarse uno especialmente, pues con él surge la lógica en su versión contemporánea: Gottlob Frege (1848-1925). Frege desarrolla un primer sistema axiomático, plenamente simbolizado, consistente y completo, de lógica de primer orden, aún antes de que se tuvieran las herramientas lógicas adecuadas para llevar a cabo la prueba de la completitud de un sistema deductivo cualquiera. Como es bien sabido, el trabajo de Frege quedó, por un tiempo, fuera del cauce principal del desarrollo de la lógica debido, principalmente, a su muy rígido y complicado sistema de notación. Por otra parte, el interés que tuvo Russell por su obra, con muchos puntos de contacto con la suya propia, y la difusión que de ella hizo, la pusieron en primer plano de la atención filosófico-matemática de la Europa de los primeros

años de este siglo y tal atención aún sigue fija en su labor ahora a casi setenta años de su muerte.

El interés que se tiene por la obra de Frege no sólo se refiere a su trabajo técnico matemático, sino también, y muy especialmente a sus formulaciones filosófico-matemáticas acerca de diversos problemas tanto epistémicos como ónticos que rebasan el terreno relacionado con solamente los fundamentos matemáticos.

En 1879, Frege publica una breve obra, la primera que dedica al campo de la lógica, su *Begriffsschrift*, que se convertirá en la obra que marca el comienzo de la lógica formal contemporánea. En ella, Frege formula un sistema de lógica de primer orden en el que su autor introduce una modificación radical en el análisis de las proposiciones, ya que, en lugar de analizarlas como si fueran de la forma sujeto-predicado, propone verlas bajo la forma de función y argumento y, además, en su escrito las pruebas se llevan a cabo de una manera estrictamente formal. Hay que añadir que el trabajo de Frege también se caracteriza por el rigor en la presentación de sus demostraciones.

Otra virtud que Frege encuentra en su lenguaje simbólico es que, para los propósitos científicos para los que fue creado, el mismo facilitará el proceso de análisis y, si esto es así, de ello se seguirá una mayor facilidad para descubrir

nuevas verdades, esto es, propiciará un mayor avance de la ciencia.

Frege unifica lo que autores anteriores, a partir de Aristóteles, habían propuesto por separado, la lógica de enunciados y la lógica de términos. Por otra parte, introduce una teoría general de la cuantificación que resuelve muchos de los problemas a los que se habían enfrentado los lógicos medievales y, junto con las otras aportaciones señaladas con anterioridad, da nacimiento a la lógica contemporánea.

Después de él, se diversifican los sistemas lógicos que toman como punto de partida la lógica clásica bivalente, que Frege genera con su trabajo.

Aquí tan sólo apunto al bien conocido interés de Frege por fundar la matemática en la lógica, aspiración que con él comparte Russell. Lamentablemente, en 1903, Frege publica el volumen II de sus *Grundgesetze der Arithmetik* al que añade un Postscriptum en el que anuncia la paradoja, descubierta por Russell, que surge de sus sistemas, a saber, la paradoja de las clases que no son miembros de sí mismas, lo que le produce un profundo pesar, ya que la misma muestra que su trabajo no se puede proponer como una fundamentación adecuada de la matemática.

- La lógica y los fundamentos de la matemática

La obra monumental de Russell y Whitehead, "*Principia Mathematica*", cuyos tres volúmenes se publicaron, respectivamente en los años 1910, 1912 y 1913, puede verse como la conclusión de una de las propuestas centrales de Frege en su labor en fundamentos de la matemática: mostrar que la matemática puede fundarse en la lógica. Russell y Whitehead intentan evitar la paradoja en el sistema de Frege y llevar a cabo la tarea de que es posible derivar toda la matemática de la lógica. Russell, para enfrentarse a la paradoja mencionada, desarrolló su teoría de los tipos lógicos. Sin embargo, lo que Russell toma como el fundamento lógico, primeramente, va más allá de lo que es la lógica elemental o lógica de primer orden y, por otra parte, Kurt Göedel (1906-1978) mostró en 1930, que es imposible derivar toda la matemática de una base axiomática.

Göedel demostró, sobre un conjunto de axiomas de lógica elemental, de que a partir de este conjunto es posible derivar todas (completitud) y sólo las verdades lógicas. Esto parecía apoyar la propuesta de Hilbert de demostrar la consistencia de la matemática, pero el mismo Göedel, un año más tarde, muestra que una axiomatización lo suficientemente fuerte como para derivar de ella la aritmética elemental de los números naturales, si la misma es consistente, entonces

será esencialmente incompleta, esto es, lo que muestra Göedel es que no son equivalentes las nociones de verdad matemática y la de teorema, es decir, que no hay una equivalencia entre los aspectos semántico y sintáctico de la matemática. Es más aún, Göedel demuestra que será imposible demostrar la consistencia de ese sistema.

Para finalizar esta breve visión histórica de la lógica, vale la pena señalar la posición que la disciplina ocupa dentro de las diferentes doctrinas que se propusieron para dar cuenta de los fundamentos de la matemática.

Líneas atrás señalé el interés de Frege, que Russell comparte, de mostrar que las matemática se funda directamente en la lógica o, de manera quizá más precisa, que no hay ninguna diferencia esencial entre lógica y matemática, ya que ésta es una continuación de la primera. Aquí es importante señalar la visión ontológica de esta posición, conocida con el nombre de **logicismo**: la matemática es un estudio descriptivo de una realidad de tipo platónico, por lo que los enunciados matemáticos deben de ser verdaderos de dicha realidad. Así pues, la matemática, es una continuación de la lógica que se funda en un conjunto verdadero de axiomas.

Una propuesta diferente al logicismo es la del **formalismo**, enunciada por David Hilbert. En ella, se mantiene una visión similar a la logicista en tanto que no se considera que haya una diferencia esencial entre lógica y matemática, tan sólo que no se mantiene una posición reduccionista de la matemática con respecto a la lógica, sino que se propone que ambas se desarrollen conjuntamente a fin de mostrar que el sistema conjunto está libre de contradicción. Aquí se dejan de lado los aspectos semánticos de verdad de los axiomas y el criterio básico de corrección es uno sintáctico, esto es, que sea imposible derivar en el sistema tanto en fórmula  $\varphi$  como su contrapuesta  $\neg\varphi$  que se interpretaría como la negación de  $\varphi$ .

Hilbert propuso un programa que procediera de una manera gradual para demostrar la consistencia de la matemática pero, según lo señalé líneas atrás, su cumplimiento se ve frustrado con la demostración de Göedel de que esto es imposible.

En una tercer posición aparece el **intuicionismo**, cuyos principales representantes son Brouwer y Heyting. Tiene sus raíces en la concepción kantiana, aunque sólo parcialmente, pues abandona la aprioridad del espacio y conserva la aprioridad del tiempo. Esta teoría reconoce a la mente la capacidad de crear las entidades con las cuales trabaja, sin preocuparse por el problema de la existencia de dichas

entidades fuera de la mente y plantea la independencia de la lógica clásica y construye una lógica intuicionista.

### 3.2-Otras lógicas

La idea central subyacente a la construcción de lógicas que no trabajen solamente con dos valores de verdad, como lo hace la lógica clásica bivalente, es que hay un cierto campo fronterizo entre la verdad total y la completa falsedad. Por lo tanto incorporar lógicas que amplíen estos dos valores, es decir, ***lógicas multivalentes***, es lo deseable.

Esta idea no es ningún invento de algunos lógicos contemporáneos, sino que tiene hondas y remotas raíces en el pensamiento humano, y cabe alegar a su favor muchas consideraciones de muy diversa índole, desde las puramente filosóficas hasta las referidas a dificultades surgidas en no pocas disciplinas científicas por la pretensión de encasillar cada situación en uno de los dos polos, o "valores de verdad", de la lógica clásica.

Es de suma importancia el trabajo realizado en este campo por el lógico-matemático Charles Pierce. Este fundador de la lógica contemporánea, esbozó claramente, por primera vez, un sistema de lógica trivalente y además elaboró argumentos filosóficos convincentes a su favor. Se sabe que en 1909 elaboró desarrollos que presentaban una alta rigurosidad en el

tema. Su plan de una matemática triádica o tricotómica concebía la inclusión del dominio limítrofe entre la afirmación y la negación "positivas" como un ensanchamiento más que como un debilitamiento de la lógica clásica (el principio del tercero excluido no había de venir omitido, pero sí reinterpretado de tal forma que no fuera enteramente verdadero). Peirce no publicó esos esbozos, desgraciadamente y su obra no influyó en el ulterior re-nacimiento de las lógicas multivalentes.

El primer sistema estricto de lógica multivalente en ser dado a conocer en público fue el sistema trivalente del lógico polaco Jan Lukasiewicz en 1920. Durante los años 20 el propio Lukasiewicz y otros lógicos polacos desarrollaron ese sistema y fueron inventando otros con más de tres valores de verdad.

Uno de esos lógicos, M. Wajsberg, brindó en 1932 una axiomatización completa para la lógica trivalente de Lukasiewicz: este, por su parte, ya en 1930 expresó su preferencia filosófica por la lógica infinivalente. Siguieron en años sucesivos numerosos trabajos de estudio sintáctico y semántico de esos y otros sistemas multivalentes por diversos lógicos polacos, como J. Slupecki, Boleslaw Sobocinski, St. Jaskowski, entre otros.

Independientemente, el lógico norteamericano E. Post, inventó en 1921 otro sistema diferente de lógica trivalente.

Luego generalizó su tratamiento a  $m$  valores (para  $m$  infinito). Desde el punto de vista lógico, el tratamiento de Post suscita una dificultad, y es que lo que él propuso fue una lógica, no de enunciados, sino de conjuntos de enunciados, por lo cual no resulta fácil entender sus sistemas como cálculos sentenciales. Pero dieron lugar a estudios algebraicos que luego se han revelado fructíferos.

Han abundado cada vez más las contribuciones destacadas, entre las que cabe citar las de Gorge Moisil (1972), Balbes & Dwinger (1974), Varlet (1975), Raisiowa (1974), Monteiro y su colaborador argentino R. Cignoli (1980).

Otro aporte muy original fue el de S.C.Kleene, cuyo sistema lógico trivalente, en 1938, presentaba rasgos que lo separaban, interesantemente, de lo de Lukasiewicz. Igualmente original era el sistema trivalente del lógico ruso Bochvar, propuesto en 1939, que postulaba tres valores, V (verdadero), F (falso) e I y que atribuía a I a cada fórmula no atómica que tuviera entre sus componentes una fórmula con valor I. Ese sistema no tiene tautologías, pero recientemente Urquhart (1986) ha probado su interés desde otros puntos de vista.

- *Lógica intuicionista, lógica cuántica y lógica difusa*

No sin conexión con los desarrollos ya mencionados, tuvieron lugar otros que no pueden dejar de considerarse

dentro del ámbito de las lógicas multivalentes: la axiomatización de la lógica intuicionista por Heyting en 1930 y la lógica cuántica.

Según lo señalé, la lógica intuicionista se separa de la lógica clásica al no aceptar todas las tesis que figuran en ésta. Un aspecto en la que la distingue es que acepta tres valores de verdad, en lugar de los dos únicos valores característicos de la tradición clásica.

Con vistas al tratamiento de anomalías en la física cuántica se propuso, en 1937 por P. Détouches-Février, una lógica cuántica, como una lógica de varios valores. Esta fue posteriormente desarrollada por Reichenbach en 1944.

Una auténtica explosión de estudios y de aplicaciones de lógicas multivalentes ha tenido lugar desde que en 1965 el trabajo pionero del ingeniero electrónico californiano Lofti Zadeh inauguró el tratamiento de las lógicas de lo difuso, y de las teorías de conjuntos difusos. La idea central (que ya antes había sido propuesta, entre otros por Rescher) es tomar como función característica de un conjunto una que tome sus valores o imágenes en un conjunto de más de dos valores de verdad, preferiblemente en un dominio de infinitos valores.

Hasta que se empezó a trabajar en teorías de conjuntos difusos prevalecía en el estudio de las lógicas multivalentes

la preferencia por lógicas con un número finito de valores. Pero para su aplicación a la teoría de conjuntos, se han visto las ventajas de la infinidad. Desgraciadamente, sin embargo, resultaba muy difícil dar un tratamiento axiomático adecuado a los cálculos cuantificacionales infinitos (la extensibilidad cuantificacional de las lógicas multivalentes en general se venía investigando desde hacía tiempo, sobresaliendo el aporte de Rosser & Turquette (1952)). Ello ha alejado a una parte de los estudiosos y cultivadores de esas teorías de conjuntos del tratamiento axiomático. Pero recientemente se ha puesto en pie una nueva familia de lógicas infinitas en la cual se obtiene la extensibilidad axiomática al cálculo cuantificacional.

*- Relevancia de las otras lógicas*

Si bien la investigación de lógicas multivalentes ha suscitado entusiasmo, no han faltado sus detractores, quienes han tendido a ver en esos cálculos invenciones artificiales y sin base intuitiva, o incluso exentos de interés matemático.

Como qué tautologías se den en un sistema multivalente también qué consecuencia haya en él dependen de qué valores sean tomados como designados (verdaderos), unos cuantos autores han concluido que se trata de algo meramente arbitrario, y por ende que todo el tratamiento ofrecido por

tales lógicas es un juego. Cae naturalmente fuera del ámbito del presente trabajo discutir las motivaciones filosóficas, pero el hecho es que éstas existen, y a favor de ellas abonan muchos argumentos propuestos por diversos autores.

Hoy se suele estar de acuerdo, más allá de múltiples discrepancias en tantas cosas, al menos en esto: que el tratamiento de lógicas llamadas multivalentes forma parte del estudio algebraico de la lógica. En verdad hay una prueba trivial (generalización de un resultado célebre de Lindenbaum) a cuyo tenor cualquier sistema tiene una matriz característica multivalente: basta con tomar como álgebra una cuyo portador sea el conjunto de las fórmulas, y cuyos elementos designados sean los teoremas. Este resultado no banaliza el estudio de las lógicas multivalentes porque, precisamente, el tratamiento algebraico permite ver qué reducibilidades ulteriores se dan.

Están aún por investigar muchas cuestiones pero lo que ya parece probado es que ese género de tratamiento abre perspectivas que incrementan la aplicabilidad y el grado de motivación filosófica de las lógicas multivalentes.

De hecho, ese manido aserto de que las lógicas multivalentes son meros juegos matemáticos ha sido siempre desacertado (ya Lukasiewicz puso en pie su sistema movido por una idea filosófica, equivocada o no, que es el rechazo del

determinismo), pero nunca ha sido tan falso como con relación a las lógicas algebraicas infinitivalentes.

La idea de que hay sólo dos valores de verdad es tan respetable como cualquier otra tesis metafísica, añeja o no, pero frente a ella abonan razones de peso que no cabe dejar de escuchar atentamente. Algunas de esas razones llevaron a una parte de la tradición filosófica, aunque minoritaria, a la afirmación de grados de realidad y de verdad; otras tales razones tienen que ver con problemas epistemológicos debatidos actualmente; y muchas de ellas guardan conexión con aplicaciones de la lógica a diversos campos del saber y de la investigación.

Teniendo en cuenta que generalmente el mundo se nos presenta como más complicado de lo que nos lo solíamos imaginar, cabe conjeturar que es infinitamente complicado, y que una parte de esa complejidad viene dada por la infinitivalencia veritativa, por los infinitos grados de verdad y de falsedad. También habría que tener en cuenta otra faceta, que multiplica al infinito la infinitud misma: en este trabajo sólo hemos considerado lógicas escalares. Hay razones, en las que ya no cabe entrar aquí, para pensar que la realidad es más complicada, y que incurren en la simplificación burda las lógicas escalares (aquellas en las que, para cualesquiera dos valores,  $x, z$ ,  $x \leq z$  ó  $z < x$ ): sería, en tal caso, más correcto

representar los valores de verdad como matrices infinitas (en el sentido del cálculo matricial). Entre otras cosas, así se podría dar un tratamiento más adecuado a diversos problemas.

Una repercusión de la adopción de una lógica así sería que habría teorías aceptables no primas, o sea tales que  $p$  ó  $q$  podría ser afirmable con verdad sin que lo fueran ni  $p$  ni  $q$ . Naturalmente esto acarrea ciertas complicaciones para el tratamiento semántico de la disyunción.

**Lo que surge, más allá de la controversia, es que las lógicas multivalentes no son ni matemática ni filosóficamente anodinas.**

### **3.3- Reflexiones sobre las otras lógicas y los desarrollos científico- tecnológicos**

Aunque estos enfoques no han suscitado unanimidad y siguen siendo ásperamente controvertidos, numerosísimos científicos de las más variadas disciplinas han abordado con ardor ese tipo de tratamientos, habiéndoles encontrado, o creído encontrar, múltiples aplicaciones en sus respectivos campos.

Más que nada descuella en esto la Informática, donde, curiosamente, el binarismo que parecía subyacente de manera definitiva se ha visto contrarrestado o acaso completado por

los tratamientos multivalentes. El hecho es que quienes más han contribuido a propagar el uso y cultivo de las viejas y de las nuevas lógicas han sido los ingenieros electrónicos.

Sin embargo estos desarrollos se mantienen únicamente en un plano teórico ya que no se han podido poner en práctica realmente. Cuál es la dificultad? Esta reside en que el funcionamiento de toda computadora se rige por la lógica binaria y el álgebra de Boole, anteriormente explicado.

El álgebra de Boole utiliza dos valores:0-1 (ó abierto-cerrado) y se obtiene así un método de estudio de las cadenas de contacto de circuitos eléctricos cuyas estructuras son la base de la construcción de las computadoras.

La estructura física (hardware) de una computadora es bivalente, sólo interpreta dos estados: encendido/apagado (pasa corriente/no pasa). En el plano de la lógica del funcionamiento de una computadora (software)esto se traduce en Verdadero/Falso.

Por lo tanto ninguna de todas las lógicas expuestas se pueden implementar actualmente en una computadora. Ni siquiera todos los desarrollos en lógica difusa, de tanto interés en múltiples campos disciplinares, incluidos la

informática, se pueden implementar por no tener una tecnología adecuada.

Existen prototipos de distintas computadoras con estas lógicas (entre los más avanzados se encuentran los de computadoras cuánticas). Sin embargo en la actualidad todo evoluciona por las computadoras bivalentes.

Y por lo tanto cabe preguntarse: ¿Qué hubiera pasado si en vez de construirse una computadora que tuviera este diseño hubiera surgido una que hubiese admitido otras lógicas? ¿Cuáles hubieran sido los resultados en distintos campos científicos?

Quizás los conocimientos científicos que hoy se tienen serían sólo un caso particular de los múltiples logrados con estas posibilidades que, por ahora y por muchísimo tiempo más, se encuentran inhibidas de exploración.

**Capítulo 4**

**Conclusiones**

---

Para llegar a cumplir el objetivo presentado en la introducción general al inicio de esta Tesis recorrí distintos caminos.

Primero consideré necesario hablar sobre la disciplina marco de este trabajo, que es la Epistemología de la tecnología; este ítem tuvo un doble propósito. Por un lado, dejar especificado de qué se habla cuando se aborda esta disciplina y por otro lado las dificultades que ha tenido y tiene ésta en su desarrollo y madurez comparada con otras ramas de la filosofía. Este punto es de vital importancia en mi trabajo ya que, como planteé en la introducción, la ausencia de análisis profundos sobre distintos aspectos fue el elemento motivador de mi Tesis, y por lo tanto era importante señalar por qué hay tanto por decir y elaborar en el campo de la Epistemología de la tecnología.

La otra rama que decidí desarrollar y, como punto insoslayable en todo trabajo en estos temas, fue una caracterización, relativamente precisa, del significado de la

palabra tecnología. Esto lo hice contestando las preguntas que se le hacen a la ciencia standard sobre cuál es su objetivo, cuál es su alcance y si existe un criterio de demarcación. Seleccioné éstas por considerarlas relevantes para contestarlas en forma paralela con la tecnología y establecer diferencias que me permitieron arribar a la definición deseada. Definición que no plantea algo demasiado diferente a lo dicho por muchos autores, ya que este no era el objetivo principal, pero que hace de marco de referencia sobre qué se entiende por tecnología a lo largo del trabajo.

Finalicé este núcleo de reflexiones marcando cuáles son las corrientes más conocidas y aceptadas sobre los modos que se relacionan Ciencia y Tecnología. Como aporte en esta parte reflexioné sobre la tecnología como elemento de retraso en los desarrollos científicos

Para sostener aún más esta afirmación tomé a la teoría de algoritmos, ya que es la base de todos los avances informáticos y analicé los supuestos sobre los que se sustentaba. Partí analizando qué tipos de problemas se pueden resolver algorítmicamente y cuáles no. Analicé profundamente el concepto de algoritmo y la íntima relación con definiciones tecnológicas.

Finalmente para demostrar que existen muchas ramas teóricas que no se han desarrollado porque requieren una

tecnología que responda a una lógica distinta de la bivalente hice una reseña de estas otras lógicas, que presentan todo el rigor matemático necesario y múltiples campos de aplicación. Campos de aplicación que no se pueden implementar debido a que se sigue una única tecnología en informática y es la que nos gobierna y nos gobernará por muchísimo tiempo más.

Muchas cuestiones de relevante interés han quedado de lado en este trabajo. Una es de especial interés en mí, y es: cuáles son los supuestos que tienen los especialistas en distintos campos disciplinares que no pueden decir que desarrollan tecnología en sus actividades cotidianas y se empeñan en decir que hacen ciencia. Quizás éste fue otro gran disparador para el estudio de estos temas ya que cuando lo hablaba con personas que realizan software, en distintos niveles, les costaba demasiado decir que eran tecnólogos, en vez de científicos.

¿Cuáles serán los supuestos culturales subyacentes para asumir esta actitud? ¿Habrán una idea internalizada que hacer ciencia es imparcial y esto a su vez es bueno y hacer tecnología tiene intereses creados y esto es malo? Considero que este es otro gran tema para otra Tesis de esta disciplina.

**Bibliografía**

---

- Aho, A., Hopcroft, J. & Ullman, J. Estructura de Datos y Algoritmos, ed. Addison-Wesley. Iberoamericana, Estados Unidos, 1983.
- Basalla, George. La evolución de la tecnología, ed. Crítica, España, 1991.
- Bedau, Hugo. Thinking and Writing about Philosophy, ed. Bedford Books, Estados Unidos, 1996.
- Boido, G., Flichman, E. Y Yague, J. Pensamiento Científico, ed. Pro Ciencia, 1988.
- Booth, W., Colomb, G. & Williams, J. The Craft of Research, ed. The University of Chicago Press, Estados Unidos, 1995.
- Bunge, Mario. La Ciencia, su Método y su Filosofía, ed. Siglo Veinte, Buenos Aires, 1987.
- \_\_\_\_\_. "Towards a Philosophy of technology" Philosophy and Technology Readings in the Philosophical Problems of Technology, en C. Mitchan & R. Mackey Eds., The Free Press, New York-London, pp 62-78, 1983.
- \_\_\_\_\_. Epistemología, ed. Ariel, Barcelona, 1985.
- \_\_\_\_\_. Ética, Ciencia y Tecnología, ed. Sudamericana, Argentina, 1996.

*Bibliografía*

---

- \_\_\_\_\_. La Investigación Científica, ed. Ariel, España 1980.
- Casova, Gastón. El Álgebra de Boole, ed. Tecnos, España, 1975.
- Chalmers, Alan. ¿Qué Es Esa Cosa Llamada Ciencia?, ed. Siglo Veintiuno, España, 1988.
- Dijkstra, Edsger. A Method of Programming, ed. Addison-Wesley, Inglaterra, 1988.
- Feibleman, James. "Pure Science, Applied Science, and Technology: An attempt at Definitions." Philosophy and Technology Readings in the Philosophical Problems of Technology, en C. Mitchan & R. Mackey Eds., The Free Press, New York-London, pp 33-41, 1983.
- Gay, Aquiles. La Tecnología, el Ingeniero y la Cultura, ed. TEC, Argentina, 1995.
- Gianella de Salama, Alicia. Lógica Simbólica y Elementos de Metodología de la Ciencia, ed. El Ateneo, Buenos Aires, 1993.
- Grau, J. Tecnología y educación, ed. Fundec, 1995.
- Halmos, P. Teoría Intuitiva de los Conjuntos, CECSA, España, 1967.
- Khun, Thomas. La Estructura de las Revoluciones Científicas, ed. Fondo de Cultura Económica, México, 1971.
- Klimovsky, Gregorio. Las Desventuras del Conocimiento Científico, ed. A-Z, Buenos Aires, 1994.

## *Bibliografía*

---

- Lakoff, George and Johnson Mark, M. *Metáforas de la Vida Cotidiana*, ed. Cátedra, España, 1986.
- Lukasiewicz, J. On the Three- Valued logic, en McCall, (comp.), 16-18, 1967.
- Martinez de la Fuente, Marta. *El Intuicionismo Matemático, Un Filosofía Constructiva*, ed. Universitaria de Buenos Aires, Argentina, 1977.
- Miró Quesada, F. Y Carrió Wam R. *Antología de la lógica en América Latina*, Universidad de Carabobo, Fundación Banco Exterior, Valencia, Venezuela-Madrid, 1988.
- Mitcham, Carl. *¿Qué es la Filosofía de la Tecnología?*, ed. Anthropos, España, 1988.
- Peña, Lorenzo. *Introducción a las lógicas No Clásicas*, ed. UNAM, México, 1994.
- Putman, Hilary. *La vida mental de algunas máquinas*, ed. UNAM, 1981.
- Quine, W. *Philosopy of Logic*, Prentice Hall, 1970.
- Quintanilla, Miguel Ángel. *Tecnología: Un enfoque filosófico*, ed. EUDEBA, Buenos Aires, 1991.
- Rapp, Friederich. *Filosofía Analítica de la Ciencia*, ed. Alfa, España, 1981.
- Rasiowa, H. *An Algebraic Approach to Non-classical Logics*, North Holland, Amsterdam, 1974.
- Rescher, N. *Many-valued Logic*, McGraw-Hill, Nueva York, 1969.

*Bibliografía*

---

- Rosser, J.B & Turquette, A.R. Many-Valued Logics, North-Holland, Amsterdam, 1952.
- Rusell Bertrand. La perspectiva científica, ed. Ariel, España, 1983.
- Trajtenbrot, B. Los Algoritmos y la Resolución Automática de Problemas, ed.MIR, Moscú, 1967.
- Turabian, Kate. A Manual for Writers of Term Papers, Theses and Dissertations, ed. The University Chicago Press, Estados Unidos, 1996.
- Volti, Rudi. Society and Technological Change, ed. St.Martin's Press, New York, 1995.
- Zadeh, L. Fuzzy Sets and their Application to Cognitive and Decision Processes, ed.Academic Press, Estados Unidos, 1975.