

INSTITUTO DE ESTUDIOS
DEL PETRÓLEO



*Invitación
a la
Teoría General
de Sistemas*

→ PETROECUADOR

Melio Sáenz

Invitación a la Teoría General de Sistemas

PETROECUADOR

Melio Sáenz



INSTITUTO DE ESTUDIOS DEL PETRÓLEO

SERVICIO DE PUBLICACIONES

2009

Melio Sáenz

Invitación a la Teoría General de Sistemas | Sáenz, Melio - Quito, Ecuador 2009

122 p.p.

Ingeniero ecuatoriano nacido en Quito en 1947. Realizó sus estudios en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central del Ecuador en donde obtuvo el título de Ingeniero Civil. En la Escuela Nacional Superior de Informática y Matemáticas Aplicadas de Grenoble (Francia) obtuvo el título de Ingeniero en Informática y Matemáticas Aplicadas. En el Instituto de Mecánica de Grenoble alcanzó su diploma de Estudios Avanzados en Mecánica de Fluidos. La Universidad Joseph Fourier de Grenoble y el Instituto Nacional Politécnico le otorgaron el título de Doctor Ingeniero en 1978.

Ha escrito varios artículos y estudios sobre temas de Mecánica de Fluidos, Análisis Numérico, Informática, Teoría de Sistemas, Planificación y Toma de Decisiones y Filosofía de la Ciencia.

En el año 2002, el Gobierno de Francia le otorgó la Orden de las Palmas Académicas en el grado de Caballero.

Actualmente, forma parte del equipo de investigadores del Instituto de Estudios del Petróleo de PETROECUADOR

Los criterios vertidos en esta obra son de exclusiva responsabilidad del Autor.

Edita: Servicio de Publicaciones del Instituto de Estudios del Petróleo - PETROECUADOR

Diseño y Maquetación: García O.

Imprime:

Printed in Ecuador: Impreso en Ecuador

Servicios Gráficos Digitales ALCÍVAR

Desde el

Rectorado

Con el mayor de los agrados, el Instituto de Estudios del Petróleo, presenta esta obra titulada "Investigación a la Teoría General de Sistemas", un trabajo sostenido sólidamente en el aservo investigativo del PHD Melio Sáenz, un hombre dedicado a tiempo completo a la ciencia y quien colabora con PETROECUADOR desde hace muchos años y que en realidad es un orgullo para la Empresa tener un cientista de los quilates de Sáenz.

El I.E.P. en su afán de convertirse en una plataforma de apoyo a la investigación científica y al debate académico, no ha dudado en respaldar al Dr. Sáenz en este acercamiento a la matemática aplicada.

La mecánica seguida por el autor para ir presentándonos el tema es sistemática y nos lleva hacia un enfoque dinámico de la realidad. Nos habla de la incertidumbre y la imposibilidad de eliminarla.

Utilizando la teoría de sistemas... dice Sáenz "podemos construir descripciones más o menos sofisticadas entre las que las relaciones entre las variables incrementan el grado de fidelidad de la descripción con la realidad" y va más allá, al sostener que si la incertidumbre no se puede eliminar, el nivel de riesgo que se genera tampoco puede ser eliminado, y "con el cual tenemos que convivir, buscando eso si los estados de equilibrio que le corresponden a cada subsistema y el sistema total, ya que de no ser administrado sería imposible evitar la crisis".

Estimado lector, el reto está lanzado, uno de nuestros intelectos privilegiados, ha realizado un ejercicio académico que el I.E.P. traslada a Ustedes, como la posta que la academia transmite.

Gracias por su apoyo

Dr. Arturo Romero V.
RECTOR

Índice general

I Reflexiones preliminares	9
1. Aproximación a los sistemas	11
1.1. Según los diccionarios	11
1.2. Sistemas y realidad	13
1.3. El Universo	16
1.4. El Sistema Solar	17
1.4.1. El Sol	18
1.4.2. La Tierra	21
1.4.3. La Luna	22
1.4.4. Las interacciones entre el Sol, la Tierra y la Luna . . .	25
1.5. Vida	27
1.6. Sociedad	29
2. Pensamiento	30
2.1. Dinámica del conocimiento	30
2.2. Realidad	33
2.3. La aprehensión de la realidad	36
2.4. Conocimiento de los sistemas	38
2.4.1. Estructuras	38
2.4.2. Historia	39
2.4.3. Los conceptos	39
2.4.4. Formación de los conceptos	41

3. Principios elementales de la Ciencia	49
3.1. Analítico y Sistémico	49
3.2. Pensamiento científico	51
 II Aproximación formal	 59
4. Herramientas matemáticas	61
4.1. Algebra de Boole	61
4.1.1. Estudio de igualdades	68
4.1.2. Funciones booleanas	70
4.1.3. Formas canónicas de las funciones booleanas	73
4.1.4. Aplicaciones	73
4.2. Conjuntos	75
4.3. Dominios y atributos	76
4.4. Atributos y predicados	77
4.5. Relaciones	77
4.5.1. Relaciones de equivalencia	80
4.5.2. Operaciones entre las relaciones	82
4.6. Sistemas	87
4.7. Complejidad	89
4.8. Clasificación de los sistemas	90
 5. Modelos	 92
5.1. Propiedades de los modelos	94
5.1.1. Temática del modelo	94
5.1.2. Objeto del modelo	95
5.1.3. Sensibilidad, validez y utilidad del modelo	95
5.2. Representación de los modelos	95
5.2.1. Diagramas	96
5.3. Concepción del sistema	97
5.4. Modelo perceptual	98
5.5. Modelo lingüístico	98

5.6. Modelo conceptual	98
5.7. Modelo matemático	98
5.8. Modelo numérico	99
5.9. Modelo digital	100
5.10. Otros tipos de modelo	101
6. Estados de un sistema	102
6.1. Medir: significado e importancia	103
6.2. ¿Con qué precisión medimos?	104
6.2.1. Medir en los sistemas de la Naturaleza	105
6.2.2. ¿Y en los sistemas de la sociedad?	108
6.3. Relaciones	109
7. Casos prácticos	115
7.1. Planificación mediante juego de escenarios	115
7.2. Sistemas de Ingeniería	117

A Hervé Raynaud,
Maestro y amigo

La presente obra es el producto de mis experiencias en contacto con el Mundo y mis congéneres, quienes han aportado con sapiencia, paciencia y solidaridad, invalorable.

Mi cariño y afecto a María del Carmen, mi esposa, a Carlos Eduardo, mi hijo y compañero y Andrea mi inspiración permanente.

Mi reconocimiento especial al Dr. Luis Romo Saltos.

Introducción

Pocas nociones y conceptos han generado cambios tan importantes en el pensamiento como la noción y el concepto de sistema.

Desde la antigüedad, antes de que las herramientas sistémicas se desarrollaran, la generación de conocimientos era, exclusivamente, el resultado de la aplicación del método analítico que consiste en descomponer un todo en sus partes para estudiarlo y comprenderlo mejor. Desde el punto de vista pragmático, esta descomposición significa considerar cada uno de los componentes de un proceso o de un fenómeno de manera aislada del resto, seleccionar el conjunto de variables que permiten describirlo de la mejor manera posible, observarlas, medirlas cuando se puede, registrarlas y procesarlas para incrementar y mejorar el conocimiento y la comprensión de los procesos y de los fenómenos de la naturaleza, de la vida o de la sociedad.

De esta manera suponíamos que las variables no observadas se mantenían constantes durante la observación y circunscribíamos la percepción del fenómeno a un ambiente artificialmente aislado del entorno, facilitándonos la observación y simplificándonos la interpretación de la información adquirida.

Estas aparentes ventajas del método analítico traen consigo una debilidad de coherencia planteada entre el fenómeno observado y la realidad del mismo que se encuentra inmersa en un mundo de interacciones, de relaciones y perturbaciones.

La aplicación del método analítico no es muy fácil ni evidente. Es necesario evaluar el impacto que producirían, en la descripción global del fenómeno, las simplificaciones introducidas cuando suponemos que ciertas variables se mantienen artificialmente constantes y otras las ignoramos completamente por considerarlas poco o nada significativas para nuestro estudio.

Tengamos en cuenta que, durante el desarrollo del fenómeno intervienen todas las variables asociadas a él, sean o no observadas y que todas ellas están relacionadas entre sí de alguna manera.

Esta manera de simplificar la realidad ha dado lugar a un progreso desequilibrado de las diferentes áreas del conocimiento humano pues su profundidad y su alcance han dependido principalmente de las facilidades desarrolladas para observar los fenómenos, interpretar los resultados de la observación y explicarlos con la ayuda de las herramientas formales correspondientes así

como de la magnitud de las perturbaciones producidas por el entorno respecto de la descripción que queremos realizar del fenómeno en mención. No cabe duda de que la posibilidad de cuantificar las observaciones ha permitido empujar las barreras del conocimiento cada vez con más seguridad y avanzar tanto en la descripción como en la generalización y en la construcción de teoremas y teorías.

Una de las disciplinas más beneficiadas de esta forma de observar el comportamiento de los sistemas ha sido la Física, en la cual los niveles macroscópicos de la fenomenología hacen parte del quehacer diario, de la vida cotidiana de la humanidad entera por lo que, unida al desarrollo de instrumentos de observación cada vez más sofisticados y precisos ha permitido construir registros numéricos de los valores que toman las variables observadas mientras que, para estudiar los fenómenos megascópicos y microscópicos, cuando la capacidad natural y artificial de observación ha sido superada por las necesidades de mantener las dimensiones del enfoque, se ha acudido a herramientas conceptuales y desarrollos matemáticos que, en muchos casos, han permitido alcanzar resultados espectaculares. Tales los estudios teóricos de la Física Cuántica, de la Teoría de la Relatividad incluidos los más recientes de la Teoría de las Cuerdas Vibrantes, en los cuales la frontera entre las descripciones Matemáticas y la Física no es fácil establecer.

La Teoría de las Cuerdas Vibrantes parecería habernos conducido a la sustitución de la naturaleza experimental de la Física por un enfoque esencialmente matemático que abriría nuevos horizontes al pensamiento y a la investigación científica.

El enfoque analítico se concentra en el estudio de los elementos del sistema considerando la naturaleza de las interacciones que ocurren entre ellos. Al focalizar su interés en los elementos, busca fundamentar el conocimiento precisando los detalles, considerando que los fenómenos son irreversibles y que no dependen de su duración. Es importante para convalidar los hechos, recurrir a la experimentación diseñada en el marco de una teoría científica. Las simplificaciones conducen a establecer descripciones detalladas y de una precisión extraordinaria. Sin embargo, cuando se trata de utilizar estas descripciones en la práctica, se puede encontrar dificultades enormes, a pesar de lo cual, la existencia de relaciones débiles favorece la aplicación del enfoque analítico y las relaciones lineales entre los elementos del sistema facilitan el análisis.

El pensamiento científico clásico es producto del método analítico y conduce a la socialización del conocimiento a través de procesos de enseñanza-

aprendizaje compartimentado según áreas de conocimiento. Las acciones pueden desarrollarse con la exquisitez de una programación minuciosa en la que, generalmente, el conocimiento de los detalles se contrapone con la pobre calidad de la definición de los objetivos.

Mientras tanto la observación de los fenómenos sociales presenta dificultades, a veces insuperables. Para comenzar, la aprehensión intelectual de los hechos sociales tiene un fuerte componente cultural individual y colectivo que se traduce, muchas veces, en posiciones espirituales, emotivas, ideológicas, sentimentales y otras que exigen la formulación de marcos de referencia de racionalidad distinta a aquella necesaria para la investigación científica y la generación de conocimientos científicos.

Luego, el momento de cuantificar las variables conmensurables se acude a métodos que reducen la descripción por su simplicidad o por la aplicación acrítica de herramientas, sobretodo de la Estadística, y la interpretación, deficientemente argumentada, de los resultados.

Los niveles de incertidumbre en los que ocurren éstos fenómenos son todavía muy altos por lo que no es fácil identificar rasgos comunes en la génesis y el desarrollo de ellos.

En definitiva, el conocimiento social permanece aún, esencialmente, en un nivel de descripción cualitativa incierta, subjetiva e imprecisa y las variables asociadas a los procesos, permanecen como variables probabilísticas, con niveles de incertidumbre que no siempre se pueden superar.

En los últimos años se realizan enormes esfuerzos en las áreas del pensamiento económico buscando cuantificar las variables observadas, lo que ha permitido el desarrollo de la Econometría y buscando aplicar los principios y las leyes de la Física, y aglutinarlo organizadamente en una disciplina que comienza a ser conocida como la Econofísica.

El enfoque sistémico, en cambio, al abordar el estudio fenomenológico concentra el esfuerzo en identificar y caracterizar las relaciones existentes entre los componentes del sistema. El estudio privilegia los efectos de las interacciones entre los elementos del sistema y de éste con la realidad del mundo exterior, sin descuidar el estudio de la naturaleza de las mismas y se detiene en la percepción global de los fenómenos, integrando nociones de perdurabilidad y de irreversibilidad cuando éstos son necesarios, facilitando la búsqueda de verdades a partir de los hechos.

Contrastando los resultados de la descripción así obtenida con la realidad podemos establecer la validez de las conclusiones formuladas. Los textos que se construyen a partir del enfoque sistémico no tienen el rigor de las descrip-

ciones elaboradas mediante el método analítico. Generalmente estos textos sistémicos no sirven para consolidar ni para fundamentar los conocimientos pero sus resultados son de un gran valor pragmático en el proceso de toma de decisiones, en la planificación y en la conducción de acciones para ejecutar los planes. La eficacia del enfoque sistémico ha sido valorada, sobretodo, en circunstancias en las cuales las interacciones entre componentes o variables son fuertes y no lineales. Actualmente, describir el comportamiento de los sistemas mediante su entorno, es decir su complementario, es una práctica que comienza a ser utilizada para estudiarlos.

La visión sistémica de la realidad es dinámica. En el campo de la educación conduce a un inter-aprendizaje de los fenómenos por parte de actores y observadores bajo una concepción multidisciplinaria de la realidad. Las acciones son conducidas una vez que los objetivos se encuentran claramente establecidos aunque los detalles se encuentren aún difusos.

Utilizando la teoría de sistemas podemos construir descripciones más o menos sofisticadas en las que las relaciones entre las variables incrementan el grado de fidelidad de la descripción con la realidad, reduciendo la incertidumbre, pero no eliminándola. Esta ganancia, cuya superación se facilita con el desarrollo del cálculo electrónico, de las computadoras y de las telecomunicaciones, incrementa los volúmenes de información a procesar pues cada vez que reducimos la incertidumbre debemos incorporar nuevas variables en la descripción. Al final, la incertidumbre remanente es la intrínseca al sistema. Ella genera un nivel de riesgo que no lo podemos eliminar y con el cual tenemos que convivir, buscando los estados de equilibrio que le corresponden a cada subsistema y al sistema total. Este riesgo tiene que ser administrado para evitar las crisis.

Parte I

Reflexiones preliminares

Capítulo 1

Aproximación a los sistemas

Comprender el comportamiento del ser humano a través de los tiempos exige conocer el escenario espacio temporal en el cual desarrolló y desarrolla sus actividades vitales. La Tierra, como parte del Sistema Solar y éste, como parte del Universo, conforman el mas grande escenario del cual vamos a ocuparnos, a manera de introducción, para ubicar de manera consistente los conceptos e ideas que sirven de base a nuestra reflexión.

Convengamos en que todos los seres y objetos que existen hacen parte del Universo: planetas, galaxias, partículas elementales, seres vivos y hasta el pensamiento e ideas del ser humano, protagonista especial en este estudio.

Nos queda, sin embargo, una cuestión a resolver: ¿hacen parte del Universo aquellos seres, objetos e ideas que no existen material o intelectualmente?

Comenzamos nuestra reflexión con un recorrido por las páginas de los diccionarios y textos que contienen definiciones elaboradas a partir de enfoques propios y que, de hecho, nos abrirán los caminos para nuestro trabajo.

1.1. Según los diccionarios

En el lenguaje corriente, el término sistema está relacionado con la noción de *conjunto*. Hablamos, así, de un *conjunto de cosas ordenadas, relacionadas, cohesionadas con una unidad de propósito y con una estructura*. También nos referimos como sistema a un *conjunto de reglas que derivan en un método, un procedimiento o un proceso*. Otra noción que asociamos al término sistema es la de un *conjunto de estilo o usanza*. Es también corriente que nos refiramos a sistema *como una técnica*.

En las ciencias de la vida, el sistema es un *conjunto de órganos que "intervienen en alguna de las funciones vegetativas en las que unos actúan como receptores de estímulos, otros los transforman en impulsos nerviosos y otros conducen estos impulsos a los centros y órganos del cuerpo en que han de ejercer su acción"* (cf. RAE9901).

Desde el punto de vista de la técnica, hablamos de sistema como un *método o plan de clasificación y ordenamiento*. Uno de los sistemas más conocidos es la Tabla Periódica de los Elementos construida por Mendeleiev, en la que constan los elementos químicos ordenados según su número atómico y dispuestos de tal modo que resultan agrupados por propiedades químicas análogas.

Otros significados de la palabra sistema nos conducen a nociones que involucran orden, objetivos, normas y procedimientos. Entre éstos es interesante resaltar, porque constituye un eslabón importante entre la aprehensión intuitiva de la noción de sistema y el planteamiento formal, el concepto según el cual el sistema constituye el *"acto mental mediante el cual se selecciona, de entre un número infinito de relaciones entre cosas, un conjunto de elementos cuyas relaciones indican cierta coherencia y unidad de propósito y que permiten la interpretación de hechos que de otra manera parecerían una sucesión de actos arbitrarios"* (cf. RAE9901).

Esta última definición no tiene un nivel satisfactorio de precisión pues en primer lugar inicia refiriéndose al sistema como un acto mental de selección y termina con otro acto mental, de interpretación. Dos actos que dependen absolutamente de las personas: su voluntad, sus preferencias, sus necesidades, lo que constituye un primer obstáculo para aceptarlo como un planteamiento formal. En segundo lugar, propone realizar la selección en el conjunto de relaciones entre elementos, para continuar trabajando con un conjunto que no sabemos a ciencia cierta si es el de cosas o elementos del sistema o es el de relaciones que existen o que pueden establecerse entre ellas.

Finalmente, el criterio que utilizamos para extraer o seleccionar requiere que exista cierto nivel de coherencia y una unidad de propósito. La coherencia es una propiedad intrínseca del conjunto que llamaríamos sistema, mientras que la unidad de propósito puede ser impuesta, también, por el entorno. En estas circunstancias, de ambigüedad e imprecisión, no podemos decir que se trata de una definición clara y precisa de sistema, sin embargo el esfuerzo es válido pues representa un progreso significativo respecto a los enunciados anteriormente presentados.

Resumiendo: la palabra sistema utilizada en el lenguaje diario puede decir

mucho de una manera vaga e imprecisa. Esto le impide convertirse en una herramienta útil de la labor científica, técnica e intelectual. Para potenciar la utilidad del término es necesario formar el concepto aproximándonos a él mediante la observación de la realidad y de la interpretación y análisis de ella. Para hacerlo enfocamos nuestra reflexión con una visión retrospectiva que nos permita aproximarnos a una concepción de sistema de una manera espontánea y con la menor dificultad, como aquella que ha servido al género humano a través de los tiempos.

Tenemos que resaltar, sin embargo, que nuevamente queda pendiente dos cuestiones fundamentales:

1. ¿Cómo ligamos nuestro pensamiento con la realidad?
2. ¿Cuál realidad constituye la referencia válida en nuestro desarrollo?

Convengamos en que, en la actualidad, hablar de la realidad virtual es una realidad que hace parte de nuestra vida diaria y que dicho concepto nos ha permitido proyectar nuestro pensamiento hacia fronteras desconocidas, todavía en exploración y que merecen ser sujeto y objeto de reflexión profunda.

1.2. Sistemas y realidad

¿En qué pensamos cuando hablamos de realidad?. En la etapa anterior del conocimiento humano, la analítica, nuestro esfuerzo intelectual focalizado en lo microscópico o en lo megascópico determinaba la manera de aprehender la realidad a través de imágenes que escapan a nuestra vivencia cotidiana de profanos, preñada, sin embargo, de racionalidad y armonía para los especialistas. Por lo tanto alcanzábamos a construir varias interpretaciones de la realidad, cada una matizada por la calidad de las teorías y de los conocimientos previamente disponibles. Todo este conocimiento fue enmarcado en un referencial espacio tiempo que ha tenido que evolucionar en la medida en que el pensamiento humano ha progresado y que los desarrollo tecnológico impulsados por las ansias, a veces injustificadas de la innovación, han afianzado esquemas de pensamiento que han permitido crear modelos económicos y de modos de vida que tienen que ser severamente analizados a la luz de la situación del género humano, de la naturaleza y de la sociedad.

En efecto, la inmensidad del cosmos condujo al hombre a escudriñar en los misterios del Universo hasta ubicarlo como desafío para el intelecto. Así se desarrolló, sobre la base de las propuestas de Isaac Newton, la astronomía, la cosmografía, la mecánica celeste hasta llegar a la ciencia y a la técnica aeroespaciales que han incorporado los progresos alcanzados y provocados por la tecnología de la información y de la comunicación y que, de forma tan dominante, han influenciado en la cultura y el modo de vida de la Humanidad en los inicios del nuevo milenio.

Preferimos hablar de ellos como un punto de partida para abrir nuestro pensamiento y nuestra vida a un futuro que, esperamos, será mejor que el presente y el pasado en términos de realización personal y de desarrollo colectivo de la sociedad en general, desarrollo que tiene que fundamentarse en el concepto clave de calidad de vida y no sólo de nivel de vida como ha sido la tendencia dominante de los últimos decenios.

Concentrados en las dimensiones microscópicas hemos comprendido de mejor manera los misterios de la vida: células, microorganismos, gérmenes, y otros, y hemos penetrado en la explicación analítica de la esencia de la materia: moléculas, átomos y partículas, para desembocar en la rigurosa y elegante formulación de la teoría de las cuerdas con la cual se pretende mejorar la explicación de la física cuántica.

A pesar de la profundidad y del detalle con que hemos alcanzado a comprender y explicar las mega dimensiones y las micro dimensiones, nuestra realidad cotidiana nos exige ubicarnos en las macrodimensiones en las cuales somos observadores y actores al mismo tiempo; sujetos y objetos, activos y pasivos.

¿Qué necesitamos, entonces, para ubicarnos en dicha realidad?

La respuesta a esta pregunta puede ser tan simple o tan compleja como podamos construirla, por lo que más bien enunciaremos dos situaciones que deberíamos resolver y superar antes de estructurar una o varias maneras de satisfacer nuestras propias necesidades de ubicación, planteando como premisa fundamental que cada persona tiene una posición en los sistemas y que quienes no la han encontrado o han demorado en hacerlo, han tenido que superar conflictos y desadaptaciones significativas que han obstaculizado su desarrollo.

Decíamos que la aplicación del método analítico en la generación de conocimientos ha determinado que el pensamiento se organice en compartimentos aislados los unos de otros. Si conservamos esta organización, nuestra percepción de la realidad será afectada por las limitaciones propias del horizonte que desde ella alcanzamos a divisar. Para explicar la realidad debemos afinar nuestra aprehensión en cada dominio del conocimiento, establecer los vínculos que existen entre las diferentes parcelas y fundamentar nuestro razonamiento en la premisa de que el pensamiento humano es único e indivisible, por lo que en la formación de la cultura científica desempeña un papel preponderante la educación entendida como un proceso de interaprendizaje y no desde una concepción de dominación de métodos y procedimientos que consideraban la existencia de sujetos activos y sujetos pasivos en el proceso. Todo individuo y toda colectividad posee un acervo cultural que contribuye en la conformación de los procesos de adquisición y generación de conocimientos y de uso de los mismos en beneficio de la naturaleza, de la vida y de la sociedad.

El método utilizado para estructurar el conocimiento caracteriza, a su vez, a los procesos educativos con base en los elementos que participan en él. El sistema educativo que corresponde al método analítico funciona en esquemas del proceso de enseñanza-aprendizaje enfatizados en la transmisión de la información más o menos compleja y profunda sobre las arbitrarias parcelas que han sido construidas en torno del conocimiento. El resultado alcanzado consiste, básicamente, en reducir los espacios de reflexión y de creatividad hasta las dimensiones en las cuales aquellos no signifiquen la dinamización de los cambios que podrían alterar o cambiar las relaciones al interior del pensamiento inmovilizando, de paso, a la sociedad en su conjunto.

El enfoque sistémico, en cambio, exige utilizar una visión completa de la realidad para fundamentar los procesos en el interaprendizaje, teniendo en cuenta no sólo los elementos de los procesos sino, también, las relaciones que entre ellos existen o se pueden establecer y que permiten recuperar el valor formativo que tiene la educación como elemento fundamental de desarrollo del hombre y de la sociedad.

El conjunto resulta, entonces, estar constituido por personas y colectividades que están en condiciones de percibir, entender y explicar la complejidad de la realidad y sus sistemas naturales, de la vida y de la sociedad con

una base científica concordante con la vida real conocida, observada y comprendida y, puesto que nadie sabe cómo sería el Universo cuando ocurrió la gran explosión, el big bang, podemos elucubrar diciendo que pocos instantes después de ocurrida, el Universo tendría un tamaño insignificante y habría alcanzado una temperatura del orden de $10^{32} K$. En este contexto iniciamos nuestra aproximación intuitiva al concepto de sistema ubicándonos en la frontera megascópica de nuestro diario vivir, establecida por el Sistema Solar y sometida a las leyes y principios de la mecánica clásica que ha impuesto su hegemonía en el desarrollo del pensamiento de estos últimos siglos, como eje fundamental de los sistemas de la naturaleza.

1.3. El Universo

Desde los primeros tiempos, el Universo constituyó el referente fundamental de la vida de los seres humanos en el Planeta, tanto para satisfacer su necesidad de ubicación espacio temporal como para despertar el principal desafío de su evolución: conocer y explicar el mundo que le rodea.

Al inicio cuando el ser humano, quizás aún *homo sapiens*, apareció en la faz de la Tierra, comenzó a apoyarse en mitos y constataciones para orientarse en el Mundo y progresar en la Vida. Levantar la mirada en una noche clara y encontrar un cielo impregnado de estrellas, quizás, fue el inicio de un desafío que ha durado hasta nuestros días.

Transcurrieron miles de años hasta que en Egipto y en la antigua Grecia se dieran las condiciones para, razonando de manera crítica, sus filósofos buscaran construir un saber acerca del Universo.

En la actualidad, algunas escuelas filosóficas admiten una concepción integral del Universo, sinónimo de realidad total o del conjunto de todo lo que tiene existencia material. Otros extienden el concepto hacia aquello que no tiene existencia material estableciendo de manera razonable la unidad entre la Naturaleza y el Ser Humano, habitante del Planeta Tierra.

El Ser Humano ha tenido, entonces, la oportunidad de construir una imagen del Universo en la cual el mismo va encontrando su lugar y, a medida que mejora y profundiza el conocimiento del conjunto, modifica la imagen de lo que le rodea, buscando leyes y patrones de comportamiento que le permitan aprovechar los atributos y propiedades de lo tangible e intangible, en beneficio propio y de la colectividad.

Dos mil años después, este esfuerzo sostenido permitió que se estructure y se consolide la ciencia contemporánea. Consideremos que el ser humano no sólo es parte del Universo, sino que es un universo dentro de otro con capacidad para describirlo, crear una imagen de él y con la necesidad de conocerlo.

Comencemos, entonces, por aproximarnos desde las escalas mayores hasta llegar al entorno inmediato del Ser Humano.

1.4. El Sistema Solar

Sobre su génesis se nos propone la narración siguiente: la *nebulosa solar*, una nube de gases y polvos interestelares sufre una perturbación que la hace colapsar bajo los efectos de su propia fuerza de gravedad. La temperatura aumenta vertiginosamente hasta alcanzar la capacidad suficiente para producir la vaporización del polvo interestelar. En el centro, la masa incandescente se comprime constituyéndose en una proto estrella. El resto del gas comienza a rotar en trayectorias orbitales alrededor del núcleo o fluye hacia el interior pasando a ser parte de la masa de la estrella en formación. La fuerza centrífuga del gas en rotación impide que éste se una a la masa del núcleo central, formando un verdadero disco dinámico para crecer alrededor de ella. Este disco irradia energía y calienta su derredor. El gas es inestable y se comprime bajo la acción de su propia fuerza de gravedad. Simultáneamente, el gas se calienta y produce en las rocas, los metales y el hielo que se encuentran suficientemente alejados de la estrella, una división en finas partículas que, mediante colisiones se van juntando unas con otras hasta alcanzar dimensiones considerables, del tamaño de pequeños asteroides.

El proceso de acumulación de masa se acelera cuando las dimensiones de estas estructuras le permiten generar una fuerza de atracción suficiente sobre los cuerpos de menor dimensión que se encuentran en las cercanías de su órbita. La cantidad de masa estelar acumulada depende de la distancia a la que se encuentren los cuerpos respecto a la estrella y de la densidad y de la composición de la nube proto planetaria. Este proceso de acumulación de masa y de configuración de los planetas, toma varios centenares de años, y en algunos casos, hasta millones de años.

Luego de que se enfriara la nube, la estrella habría generado un fuerte viento solar que limpió, literalmente, el espacio de los restos de gas. Los

protoplanetas de mayor tamaño se sumergieron en espacios ocupados por grandes cantidades de gas y se convirtieron en gigantes gaseosos. Los otros, los menores, permanecieron como cuerpos rocosos o formados por hielo.

Dentro del primer centenar de millones de años, el Sistema Solar contó con diez planetas girando alrededor del Sol en órbitas estables. Estos planetas sufrieron modificaciones importantes durante la última gran colisión estelar.

Terminamos, así, esta pequeña narración del génesis del Sistema Solar convalidada mientras no se encuentren planetas extra solares. Sin pretender que sea la más completa ni la de mayor credibilidad, sin embargo nos permite ubicarnos en un contexto muy general, de partida, para continuar con una visión geocéntrica del siguiente nivel del sistema, que vamos a considerarlo como conformado por el Sol, la Tierra y la Luna.

1.4.1. El Sol

Nacida hace 4,65 miles de millones de años, esta estrella es el resultado de la unión gravitacional de una nube de hidrógeno y de helio. El Sol es una esfera gaseosa no homogénea e incandescente.

Como estrella, su tamaño es pequeño. Para nosotros, sin embargo, es importante y vital puesto que siendo la estrella más cercana a la Tierra, interactúa con ella de manera determinante como fuente de vida.

En el núcleo o zona central del Sol se crea la energía mediante reacción termonuclear en la cual, cuatro átomos de hidrógeno se combinan para formar un átomo de helio. En esta reacción, una pequeña cantidad de materia se transforma en energía que se difunde en el espacio en forma de ondas electromagnéticas. Si se mantiene el ritmo actual de transformación de materia en energía, se estima que la cantidad de hidrógeno que existe en el Sol le permitirá brillar todavía por más de cuatro millones de años.

Cuando toda la masa de hidrógeno se haya transformado en energía, el núcleo solar se enfriará y será ocupado progresivamente por helio, por lo que

la materia se dilatará nuevamente y alcanzará temperaturas de 100 millones de grados, como consecuencia de lo cual se producirán grandes explosiones que dispararán los átomos de helio al espacio. Luego, lo único que quedará del Sol será un pequeño núcleo de gran densidad que se apagará poco a poco hasta que la estrella se convertirá en una enana blanca.

La agitación de las partículas gaseosas permite que la temperatura del núcleo solar alcance los 16 millones de grados Kelvin, condiciones en las cuales en un choque atómico se fusionan los cuatro átomos de hidrógeno para producir un átomo de helio. Una parte de la masa de los cuatro átomos de hidrógeno se convierte en radiación. Esta conversión representa aproximadamente cuatro millones de toneladas de hidrógeno por segundo, cantidad insignificante respecto a la masa total del Sol y que genera una potencia del orden de 4×10^{26} watios.

La presión en esta zona es de aproximadamente un quinto de atmósfera y la densidad de los fluidos que la constituyen alcanza valores cercanos a una millonésima de la densidad del aire al nivel del mar en la Tierra. El núcleo solar está recubierto por la fotósfera, parte visible, para nosotros, del Sol. La superficie aparente de la fotósfera tiene una textura como de granos de arroz muy brillantes que las denominamos fáculas, las mismas que están unidas por zonas más oscuras conocidas como manchas solares.

Cuando la actividad solar es mínima, las manchas solares son invisibles mientras que cuando esta actividad alcanza sus máximos niveles éstas pueden ser observadas durante períodos de uno a cinco días. Las manchas solares tienen formas muy variadas y variables. Sus dimensiones oscilan entre quinientos y cien mil kilómetros y, así, ocupan menos del uno por ciento de la superficie aparente de la fotósfera.

Debido a que los componentes del Sol se encuentran en estado fluido, cada parte de la esfera incandescente tiene su propia velocidad de rotación que puede ser distinta de la velocidad de las otras partes. Esta diferencia de velocidad unida a la variación de la velocidad angular en función de la latitud, explicaría la formación de las manchas solares y la existencia del campo magnético observado en el interior de ellas.

La superficie aparente del Sol aparece como recubierta por una delgada capa parecida a un campo de trigo azotado por el viento. Esta capa denominada cromósfera, está constituida por vapores incandescentes de colores vivos

casi transparentes. Su espesor es de aproximadamente diez mil kilómetros. La temperatura de la cromósfera profunda, situada en la cercanía de la fotosfera, es de alrededor de $4500^{\circ}K$ y su densidad electrónica es cien veces menor que en la cromósfera alta, en la que la temperatura oscila en los alrededores de los $20000^{\circ}K$.

Observada visualmente en el inicio, en la actualidad para hacerlo se dispone de aparatos sofisticados que permiten la observación indirecta mediante la caracterización del espectro electromagnético emitido y cuyo color más brillante corresponde a una amplitud de 6563.4° del hidrógeno y que tiene, además, emisiones de calcio, helio, oxígeno, magnesio, sodio y titanio.

El interior de la cromósfera es altamente inestable y dinámico y se encuentra en permanente estado de desequilibrio termodinámico. La cromósfera es la sede de una serie de fenómenos espectaculares como erupciones en las que se tiene la impresión de que grandes nubes son expulsadas violentamente. También se producen movimientos parecidos a las corrientes de convección que ocurren en ciertos tipos de nubes. Entre estos fenómenos, el más impresionante es el de las protuberancias, que se manifiestan como el ascenso de grandes nubes de gas incandescente, lenguas de fuego que trepan a más de $100,000km$ de altura y que son asociadas a perturbaciones interplanetarias o de la corona.

La capa más exterior de la atmósfera solar es la corona. Esta es una capa de plasma poco densa que se extiende en el campo interplanetario. No se conocen sus límites y se ha llegado incluso a pensar que abrigaría a los planetas, incluido el nuestro. Inicialmente la corona solar fue observada de manera visual durante los eclipses totales de Sol. Indirectamente se puede observar todo el ámbito de su espectro electromagnético. La corona solar está formada por átomos ionizados. El segmento más brillante corresponde a átomos de hierro multi ionizado, argón, calcio, manganeso, níquel y sílice. Es una capa en permanente evolución cuyo equilibrio se ve afectado por el paso de ondas de choque provenientes de las capas inferiores. Ella transporta el viento solar. La actividad solar cumple ciclos de once años de duración.

1.4.2. La Tierra

El Planeta Azul ocupa la tercera posición, en distancia, respecto al Sol: $149 \times 10^6 \text{ km}$. Siendo el más grande de los planetas sólidos o telúricos, sus características dentro del Sistema Solar: temperatura, movimiento, existencia de atmósfera, presencia de agua, etc. han permitido desarrollar la vida en la forma en la que nosotros conocemos.

La Tierra describe alrededor del Sol una órbita ligeramente elíptica de 0,0167 de excentricidad y $936 \times 10^6 \text{ km}$ de longitud. El período de revolución es de 365,26 días siderales, lo que significa que la Tierra recorre su órbita con una velocidad de $29,7 \text{ km/sec}$.

A principios del mes de enero de cada año, la Tierra se encuentra en la posición más cercana al Sol y a inicios del mes de julio, ella está lo más alejada del astro. El tiempo de acercamiento se llama perihelio y el de alejamiento, afelio. La diferencia de distancia del Sol a la Tierra entre las dos posiciones correspondientes al perihelio y al afelio es de alrededor de $5 \times 10^6 \text{ km}$, es decir un 3,4 % de la distancia promedio entre los dos cuerpos.

A más del movimiento de rotación alrededor del Sol, la Tierra gira alrededor de su propio eje con un movimiento que completa un ciclo en un día sideral cuya duración es de 24 horas.

La Tierra, como todos los planetas, no tiene luz propia. La tenue luz con la que se le divisa desde el espacio es un reflejo de los rayos solares que su superficie recibe.

La formación de la Tierra se remonta a alrededor de 4565 miles de millones de años cuando, como consecuencia de los choques entre las partículas de polvo espacial éstas se habrían unido progresivamente, provocando una aglomeración de masa que, luego de un tiempo, alcanzaría las dimensiones del Planeta.

Al inicio, la Tierra debió soportar un verdadero bombardeo de meteoritos que, atravesando el espacio, venían a chocar contra su superficie. Esta superficie se fue enfriando y solidificando mientras que el centro, en el cual se conservaba el calor, se provocaba la fundición del hierro y de los metales presentes en los meteoritos. El metal fluido habría migrado hacia el centro de la aglomeración y habría constituido el núcleo de la Tierra.

El polvo cósmico, mientras tanto, perdía sus gases y lo mismo sucedía con los meteoritos que chocaban contra la Tierra. Esta desgasificación, dio lugar a la formación de la atmósfera, la misma que se estructuraría en dos partes principales: la más alejada de la superficie de la Tierra, más allá de los 800km, constituida, a partes iguales, por helio(0,03%) y argón(0,03%), y la otra, la más cercana, cuyo componente básico es el nitrógeno (78%), y tiene también oxígeno (21%), argón (0,03%), anhídrido carbónico y otros gases (0,04%).

La vida sobre la Tierra aparece hace ya 3,5 miles de millones de años, bajo la forma de organismos unicelulares. En esa época disminuye notablemente la caída de meteoritos al tiempo que se exacerba el volcanismo alcanzando su apogeo, provocando la expulsión de dióxido de carbono conjuntamente con material ígneo y otros gases propios de una erupción. Este dióxido de carbono contribuye a retener el calor solar en la Tierra mediante el conocido "*efecto Serre*" en la atmósfera.

La gran acumulación de agua en los mares y océanos ocurre hace cuatro mil millones de años. La temperatura de estas masas de agua se encontraba entre los 60°C y los 90°C y su pH era excesivamente ácido. Por esta época se forman, también, los continentes, sobre cuyo origen y crecimiento se han formulado varias hipótesis, entre las cuales las más conocidas son las dos siguientes:

1. *El crecimiento de los continentes se debe a las erupciones volcánicas que, transportando material ígneo del magma, lo depositan en la superficie;*
2. *La actividad volcánica arrastra materiales de los sub estratos oceánicos y continentales.*

1.4.3. La Luna

Es el astro más cercano a nuestro Planeta, jamás perdió para nosotros el encanto, a pesar de haber sido mancillado su misterio. Permanente elemento en todas las culturas, de deidad que fue al inicio ahora, todavía, es objeto de la admiración del hombre quien la puede contemplar desde su nacimiento hasta su muerte.

En los primeros tiempos se pensó que la Luna podía ser un segundo sol para luego convencerse de que su superficie sólo reflejaba los rayos solares.

Galileo Galilei fue el primero en explorar el relieve del satélite mediante rudimentarios telescopios. A los accidentes del relieve les fueron asignados nombres obtenidos directamente de la imaginación humana: el Mar de la Fecundidad, el Mar de la Tranquilidad, el Mar de los Sueños, los Circos de Manilus, de Plutarco, y otros más.

El 21 de julio de 1969, el mundo contemplaba absorto en las pantallas de televisión el paseo lunar, por primera vez realizado por la tripulación de la misión Apolo 11, cuyo miembro, Neil Armstrong, expresaba que éste era *"un pequeño paso para un hombre pero un paso gigantesco para la Humanidad"*.

La observación y la comprensión de la Luna ha sido el objetivo de muchos esfuerzos por parte de investigadores, científicos y observadores a lo largo de la di. Con bases en estos esfuerzos se ha alcanzado notables progresos tecnológicos como el telescopio y también con desarrollos teóricos fundamentales de la mecánica celeste. Animada de dos tipos de movimiento: el de traslación que se realiza alrededor de la Tierra y el de rotación en torno a su propio eje, la Luna describe su órbita elíptica a una velocidad aproximada de un kilómetro por segundo ($3600\text{km}/\text{hora}$). El eje mayor de la órbita elíptica tiene una longitud aproximada de $384,402\text{km}$ y una excentricidad algo mayor a 0,05.

El Sol y el sistema Sol-Tierra-Luna perturban estos movimientos sobre todo mediante una lenta aceleración del movimiento debido a las variaciones de la excentricidad de la órbita terrestre y a la disminución de la velocidad de rotación de la Tierra, lo que da lugar a una mayor duración del día terrestre y hace que la Luna se aleje de la Tierra, aproximadamente, dos metros cada siglo.

La rotación de la Luna alrededor de su propio eje se realiza en igual tiempo y en el mismo sentido que el movimiento alrededor de la Tierra: *27días, 7horas y 43minutos*, por lo que siempre vemos, desde la Tierra, la misma cara del satélite. Luna nueva y luna llena, conjuntamente con las posiciones intermedias: menguante y creciente completan las conocidas cuatro fases de la Luna que corresponden a la variación periódica de la superficie iluminada del astro, visible desde la Tierra. El mes lunar o sinódico, que es

el tiempo que emplea la Luna en completar las cuatro fases enunciadas, es mayor que el tiempo empleado en completar una revolución alrededor de la Tierra: 29 días, 12 horas y 44 minutos, debido a la traslación conjunta de la Tierra y la Luna alrededor del Sol.

A simple vista, el relieve lunar aparece como una superficie brillante con zonas oscuras que inicialmente fueron interpretadas como espacios ocupados por agua, por lo que los primeros observadores las llamaron mares, errada denominación que se conserva hasta nuestros días. La cara oculta de la Luna tiene menos zonas oscuras que la visible, seguramente debido a las diferencias de espesor de la corteza lunar de las dos caras.

Si los primeros observadores encontraron mares, debían también encontrar continentes, denominación que asignaron a las zonas ocupadas por los cráteres y atravesados por cordilleras, algunas de cuyas más altas cumbres se elevan sobre los ocho mil metros de altura, por encima del nivel de los valles aledaños. No existe un nivel de referencia global como aquel que corresponde al nivel medio del mar en nuestro Planeta.

Los accidentes topográficos más comunes de la superficie lunar son los cráteres o circos, sobre cuyo origen se han planteado dos teorías: la una que les atribuye a la acción de fuerzas internas y, la otra, que propone su formación debida a impactos de meteoritos.

El suelo lunar aparece como un conglomerado de rocas y piedras que reposan sobre una capa de fino polvo. Al interior se extiende una capa de hasta veinte metros de espesor de rocas fragmentadas y muy poco cohesionadas.

La actividad sísmica de origen interno es mucho menor que la terrestre. Ha sido posible estudiar la propagación de las ondas sísmicas gracias a los pocos impactos naturales que se han producido por la caída de meteoritos y a los impactos artificiales provocados por la caída de segmentos y partes de los vehículos espaciales.

Estructuralmente compuesta por tres capas: una corteza de aproximadamente sesenta kilómetros de espesor en la cara visible y que llega hasta cien kilómetros en el lado oculto; un manto de alrededor de mil kilómetros de espesor y un núcleo, probablemente en estado pastoso, de alrededor de setecientos kilómetros de radio. Como no tiene atmósfera, la superficie de la Luna soporta cambios de temperatura de hasta $100^{\circ}K$ en el transcurso de un día.

El núcleo, sin embargo, se mantiene en temperaturas cercanas a los $1500^{\circ}K$. Desde el punto de vista magnético, la Luna aparece como un conjunto de imanes distribuidos de manera más o menos aleatoria.

Con todo esto ¿qué conocemos sobre el origen de la Luna?

Más allá de hipótesis y suposiciones formuladas, todavía el asunto continúa siendo un misterio, sin embargo de lo cual podemos transcribir las tres teorías más difundidas en los ambientes científicos internacionales: la primera describe el origen de la Luna como un desprendimiento de la corteza terrestre como consecuencia de algún choque estelar. Esta hipótesis es contradictoria con el hecho de que la composición química de los dos cuerpos celestes, es distinta. La segunda sostiene que la Luna se habría formado lejos de la Tierra, habría viajado por el espacio hasta acercarse lo suficiente para ser captada por la fuerza de atracción gravitacional de la Tierra mediante la cual habría entrado en órbita alrededor de ésta. Finalmente, la tercera, y la más popular en la actualidad, resulta ser aquella que ubica el origen de la Luna en la aglomeración de trozos de la Tierra que habrían sido enviados al espacio por una colisión entre la proto Tierra y un cuerpo estelar de dimensiones comparables a Marte, hace más de 4.5 miles de millones de años.

1.4.4. Las interacciones entre el Sol, la Tierra y la Luna

Más allá de los efectos emotivos, sentimentales y afectivos que puedan causar los astros, las relaciones que se definen entre los componentes del sistema geocéntrico que nos interesa estudiar, se refieren esencialmente a los efectos gravitacionales de atracción y repulsión y a los efectos energéticos que se generan como consecuencia de la irradiación solar.

Tres grandes fuentes de perturbaciones externas al Planeta podemos distinguir: la primera debida la actividad solar, la misma que se manifiesta mediante las tormentas geomagnéticas que afectan el clima y mediante la emisión de energía solar y, también, a través de las fuerzas gravitacionales. Cuando la actividad solar genera mareas atmosféricas, la onda térmica entra en resonancia con la onda de gravitación. El efecto alcanza magnitudes importantes, sobretodo en las regiones intertropicales. La segunda clase de perturbación proviene de los asteroides, cometas y otros objetos espaciales que chocan con la superficie de la Tierra, la tercera, debida a las fuerzas de

atracción y repulsión ejercidas con el Sol y la Luna, y esencialmente con ésta última, cuyas manifestaciones más visibles son las mareas que se producen en los océanos y en los mares litorales y a las cuales no pueden abstraerse los continentes.

Estas interacciones estelares tienen consecuencias sobre nuestra vida diaria y modifican nuestro entorno. Para conocer, estudiar y explicar los mecanismos a través de los cuales la Tierra se integra en el espacio se ha desarrollado la Astronomía, ciencia que se ocupa del estudio de los ciclos solares, de la física de relaciones entre la heliósfera y la ionósfera y, en fin, de la dinámica del Sistema Solar.

El estudio y previsión de las perturbaciones y modificaciones que sufre nuestro entorno terrestre han dado lugar al desarrollo de las ciencias ambientales cuyo propósito fundamental es identificar, discriminar, evaluar y prevenir las consecuencias negativas de la actividad humana así como la de la naturaleza y la vida y tomar las medidas que sean necesarias para mejorar la calidad de vida de los seres humanos.

El conocimiento sobre el origen de la energía solar es relativamente reciente. Los esfuerzos desarrollados por el hombre para explicarlo sólo consiguieron un asidero científico con el descubrimiento de la energía atómica. Así, se pudo adelantar el hecho de que cuatro átomos de hidrógeno se fusionan para formar un átomo de helio. En el proceso desaparece una pequeña cantidad de materia que es transformada en energía la misma que se propaga en el espacio bajo la forma de ondas electromagnéticas a una velocidad de 300000km/sec . El núcleo solar se asemeja a un gigantesco horno atómico. De toda la energía que el Sol libera hacia el espacio, la Tierra alcanza a captar sólo una dos mil millonésima parte. La energía solar se manifiesta bajo forma de luz, a la que le toma sólo ocho minutos y veinte segundos recorrer desde la fuente hasta la Tierra, constituyéndose en factor fundamental para el desarrollo de las actividades vitales en la biósfera del Planeta. La energía solar también se manifiesta bajo la forma de calor, que evita el congelamiento general del aire, del suelo y del agua.

Se ha podido constatar que la periodicidad de once años de la actividad solar tiene relación con las perturbaciones de la ionósfera, con las tormentas magnéticas y con las auroras boreales. Además, estos períodos coinciden con

las variaciones de los anillos de crecimiento de los árboles, con el aumento de casos de difteria, las epidemias de gripe, los sismos y terremotos.

La ausencia de energía solar tendría efectos catastróficos para todas las manifestaciones de vida que existen en la Tierra.

La superficie terrestre sufre deformaciones causadas por las fuerzas de atracción ejercidas por los diferentes astros del Sistema Solar sobre el globo terrestre. Estas son las mareas oceánicas y terrestres.

Las más visibles para nosotros son las mareas oceánicas, movimiento regular de las aguas del mar que ascienden y descienden alternativamente. El resultado observado es la diferencia entre los movimientos de la superficie del océano y el de la superficie del continente.

Si bien el fenómeno fue conocido desde la antigüedad, no es sino a finales del siglo XVII que se formulan explicaciones satisfactorias sobre el mismo. Isaac Newton, físico inglés, desencadena los esfuerzos cuando descubre dos leyes importantes: la que establece la proporcionalidad entre la fuerza aplicada a un cuerpo en movimiento o reposo y la aceleración, y la ley de la atracción universal. Posteriormente, Laplace y Poincaré desarrollan una descripción matemática del fenómeno de las mareas que les permite, luego, formular la teoría armónica para pronosticarlas.

Cuando nos encontramos a orillas del mar, constatamos que el nivel de la agua avanza en las playas durante un cierto tiempo, hasta alcanzar un valor máximo. Luego, empieza a bajar hasta un punto más bajo, y repite el ciclo. En la majestuosidad del fenómeno se encierra una complejidad que comienza con los largos períodos de oscilación y el carácter permanente y universal del mismo. Los valores máximos y mínimos que alcanza su nivel no son constantes, como no lo son, tampoco, las horas a las que ellos se producen.

1.5. Vida

Hemos separado el tratamiento de los sistemas de la vida de aquellos de la naturaleza simplemente por cuestiones de presentación. En efecto, los sistemas de la vida no pueden ser considerados como ajenos a la naturaleza

puesto que se refieren a fenómenos propios de los animales y de las plantas. Entre las características funcionales importantes de los seres vivos encontramos las cuatro siguientes:

1. **Asimilación:** se apropian de sustancias externas y las incorporan a sus propios organismos;
2. **Auto reproducción:** producen copias de si mismos;
3. **Reactividad:** captan estímulos del entorno y reacciona ante ellos;
4. **Homeóstasis:** se resisten a toda intervención que podría cambiarlos.

Es común que los seres humanos conozcamos seres vivos pero que no tengamos nociones claras de la vida.

En la conceptualización del término sistema, la primera referencia explícita la encontramos en las propuestas de William Harvey (1578-1657), quien adoptó la teoría de Galeno sobre el origen hepático de la sangre. La propuesta de Harvey contiene varias ideas consideradas erróneas en la actualidad, entre las cuales señalamos la reactiva al origen al sistema venoso el cual lo ubica, también en el hígado desde donde se ramifica, a pesar de lo cual, debemos tenerlas en cuenta por el valor que tiene el hecho de encontrar la relación de los diversos componentes del sistema entre ellos y su entorno es inmenso pues de allí partió la concepción actual de sistema.

Es, entonces, natural que la imagen mas cercada de sistema que tenemos proviene de una imagen orgánica de estructura, propiedades y relaciones entre elementos. Esta imagen influyó de manera notable en las nociones de sistema utilizadas en los primeros tiempos.

La evolución de la conceptualización fue rápida. En poco tiempo se habló ya de diversas clases de sistemas hasta que a finales del siglo XX propusimos una definición formal y completa de sistema la misma que nos ha permitido avanzar en la conceptualización abriendo oportunidades inéditas en el campo de las aplicaciones que abarcan, prácticamente, todas las esferas de la actividad humana.

Nuestra posición, seres humanos, frente a los sistemas de la vida es doble: como sujetos pasivos que conservamos las relaciones entre nosotros y con nuestro entorno o como activos observadores que escudriñamos el comportamiento de nuestros congéneres, individual y colectivamente y de nuestro entorno.

1.6. Sociedad

La mayoría de especies vivas, cuando pueden vivir en comunidad, establecen ciertas reglas de convivencia que les permiten regular las relaciones entre los miembros de dichas comunidades. En los seres humanos esta actitud y las aptitudes correspondientes nos han permitido construir aquellos sistemas que no se encuentran naturalmente sino que son nuestra creación, dando lugar a aquella clase de sistemas conocidos como artificiales, entre los que se cuentan las instituciones, las empresas, las organizaciones sin fines de lucro y toda aquella manifestación que permite realizar actividades y procesos colectivos en relación con los miembros de la propia colectividad o con miembros de otras colectividades.

Capítulo 2

Pensamiento

2.1. Dinámica del conocimiento

Con el desarrollo de los conceptos de sistema, homogéneo o complejo, tenemos que acercarnos al conocimiento de los sistemas partiendo de su historia y de su estructura.

Si admitimos que el origen primigenio del conocimiento es la percepción sensorial derivada de la observación o de la experimentación, entonces podemos reflexionar sobre los productos que obtenemos de esta percepción sensorial.

La elaboración intelectual de la experiencia o de la observación nos permite registrar los hechos y conservar los más relevantes. Simultáneamente asociamos el conjunto de conceptos que, desde nuestro criterio, mejor se ajuste a la realidad.

Los resultados obtenidos del proceso de aprehensión sensorial y de la elaboración intelectual de la experiencia y de la observación deben ser socializados para que sirvan a la comunidad. Necesitamos, entonces, un código oral o escrito que es el lenguaje natural o especializado. Asociamos, entonces, a cada concepto una definición; aquella que mejor se ajuste a la esencia conceptual del fenómeno involucrado en el proceso del conocimiento. En esta asociación no estamos completamente seguros de que nuestra expresión, natural o especializada, corresponda completa y exactamente al concepto que queremos

transmitir por lo que podría existir, y en la mayor parte de casos existe, un nivel de simplificación de la representación de la realidad.

En el afán de mejorar nuestro conocimiento, el proceso es progresivo: mientras el sustento conceptual es suficiente buscamos mejorar los mecanismos de observación y de experimentación. Pero los conceptos no son estáticos ni eternos. Su movimiento dinamiza el progreso de la ciencia y del pensamiento científico.

Cuando las posibilidades tecnológicas se agotan y las contradicciones conceptuales se agudizan se producen rupturas de conceptos y nuevas generaciones de éstos abren los caminos del progreso.

Es evidente que al inicio pueden los conceptos evolucionar pero se puede llegar a un punto en el cual la flexibilidad de la teoría que enmarca a los conceptos no permita ir más allá. En ese punto es mejor romper con el pasado y buscar los nuevos conceptos y construir las nuevas teorías para avanzar.

El registro de acontecimientos y eventos que han ocurrido en el sistema constituyen la historia de él. Cualquier dato o información adquirido mediante descubrimiento, búsqueda o investigación acerca de un sistema contribuye a enriquecer la di del sistema y forma parte de ella. Para tener la historia total del sistema deberíamos registrar todos los datos y toda la información comprensible. Alcanzar este objetivo es una utopía.

¿En qué pensamos cuando hablamos de realidad?. En la etapa anterior del conocimiento humano, la analítica, nuestro esfuerzo intelectual focalizado en lo microscópico o en lo megascópico determinaba la manera de aprehender la realidad a través de imágenes que escapan a nuestra vivencia cotidiana de profanos, preñada, sin embargo, de racionalidad y armonía para los especialistas. Por lo tanto alcanzábamos a construir varias interpretaciones de la realidad, cada una matizada por la calidad de las teorías y de los conocimientos previamente disponibles.

En efecto, la inmensidad del cosmos condujo al hombre a escudriñar en los misterios del Universo hasta ubicarlo como desafío para el intelecto. Así se desarrolló la astronomía, la cosmografía, la mecánica celeste hasta llegar a la ciencia y a la técnica aeroespaciales que han incorporado los progresos alcanzados y provocados por la tecnología de la información y de la comunicación y que, de forma tan dominante, han influenciado en la cultura y el

modo de vida de la Humanidad de los inicios del nuevo milenio. Preferimos hablar de ellos como un punto de partida para abrir nuestro pensamiento y nuestra vida a un futuro que, esperamos, será mejor que el presente y el pasado en términos de realización personal y de desarrollo colectivo de la sociedad en general.

Concentrados en las dimensiones microscópicas hemos comprendido de mejor manera los misterios de la vida: células, microorganismos, gérmenes, y otros, y hemos penetrado en la explicación analítica de la esencia de la materia: moléculas, átomos y partículas, para desembocar en la rigurosa y elegante formulación de la teoría de las cuerdas vibrantes con la cual se pretende revolucionar la explicación de la física cuántica.

A pesar de la profundidad y del detalle con que hemos alcanzado a comprender y explicar las mega dimensiones y las micro dimensiones, nuestra realidad nos exige ubicarnos en las macrodimensiones en las cuales somos observadores y actores al mismo tiempo; sujetos y objetos, activos y pasivos.

¿Qué necesitamos, entonces, para ubicarnos en nuestra realidad?

La respuesta a esta pregunta puede ser tan simple o tan compleja como podamos construirla, por lo que más bien enunciaremos dos situaciones que deberíamos resolver y superar antes de estructurar una o varias maneras de satisfacer nuestras propias necesidades de ubicación, planteando como premisa fundamental que cada persona tiene una posición en los sistemas y que quienes no la han encontrado o han demorado en hacerlo, han tenido que superar conflictos y desadaptaciones significativas.

Decíamos que la aplicación del método analítico en la generación de conocimientos ha determinado que el pensamiento se organice en compartimentos aislados los unos de otros. Si conservamos esta organización nuestra percepción de la realidad será afectada por las limitaciones propias del horizonte que desde ella alcanzamos a divisar. Para explicar la realidad debemos afinar nuestra aprehensión en cada dominio del conocimiento, establecer los

vínculos que existen entre las diferentes parcelas y fundamentar nuestro razonamiento en la premisa de que el pensamiento humano es único e indivisible, por lo que, en la formación de la cultura científica desempeña un papel preponderante la educación.

El método utilizado para estructurar el conocimiento caracteriza, a su vez, a los procesos educativos. El sistema educativo que corresponde al método analítico funciona en esquemas del proceso de enseñanza-aprendizaje enfatizados en la transmisión de la información más o menos compleja y profunda sobre las arbitrarias parcelas que han sido construidas en torno del conocimiento. El resultado alcanzado consiste, básicamente, en reducir los espacios de reflexión y de creatividad hasta las dimensiones en las cuales aquellos no signifiquen la dinamización de los cambios que podrían alterar o cambiar las relaciones al interior del pensamiento inmovilizando, de paso, a la sociedad en su conjunto.

El enfoque sistémico, en cambio, exige utilizar una visión completa de la realidad para fundamentar los procesos de interaprendizaje, que permiten recuperar el valor formativo que tiene la educación establecida como elemento fundamental de desarrollo del hombre y de la sociedad.

El conjunto resulta, entonces, estar constituido por personas que están en condiciones de percibir, entender y explicar la complejidad de la realidad y sus sistemas naturales, de la vida y de la sociedad con una base científica concordante con la vida real conocida, observada y comprendida y, puesto que nadie sabe cómo sería el Universo cuando ocurrió la gran explosión, el big bang podemos elucubrar diciendo que pocos instantes después de ocurrida, el Universo tendría un tamaño insignificante y habría alcanzado una temperatura del orden de $10^{32} K$. En este contexto iniciamos nuestra aproximación intuitiva al concepto de sistema ubicándonos en la frontera megascópica de nuestro diario vivir, establecida por el Sistema Solar, como eje fundamental de los sistemas de la naturaleza.

2.2. Realidad

En este punto de nuestras reflexiones se hace necesario involucrarnos con lo que entendemos como realidad. Podemos pensar que la realidad es aquella

que encontramos en todas partes, en todas formas, en cada instante. Aquella realidad sobre la cual algo podemos decir, independientemente de que podamos o no conocerla. La tarea de describir la realidad intrínseca, completa, extensa es imposible de cumplir puesto que no la podemos articular de manera completa e integral. Por esta razón siempre nos limitamos a trabajar sobre una parcela bien definida de la realidad caracterizándola, identificándola de alguna manera y con claridad. A cada manera de delimitar corresponde un sistema sobre el cual podemos registrar su di.

De manera general, para definir un sistema S asociado a una parcela de la realidad debemos seleccionar un conjunto de objetos sobre los cuales vamos a hablar. Estos objetos, que los llamaremos *objetos relevantes*, agrupados por los atributos comunes nos permiten encontrar los sub conjuntos $1, 2, \dots, N$, componentes del dominio, universo o dominio del sistema. debemos, entonces, fijar las características discriminantes que nos permitirán admitir o no a los elementos del dominio, es decir, decidir si para un valor i dado, $\omega_i \in$ o si $\omega_i \notin$. Luego, debemos identificar las relaciones entre los objetos relevantes para observarlas, analizarlas y estudiarlas. Estas dos identificaciones, de objetos y de relaciones, pueden enfocarse desde muy diversos puntos de vista, aún cuando se refieran a la misma parcela o porción de la realidad.

Para pensar en el sistema S debemos disponer de conceptos sobre cada una de las entidades distinguidas: objetos, atributos o propiedades, relaciones y funciones. Para transmitir la información y los conocimientos disponibles necesitamos símbolos que permitan describir los conceptos. Normalmente estos símbolos son los alfabetos y con ellos formamos palabras que, a su vez, constituyen los lenguajes. Cuando estas palabras existen en los lenguajes, entonces las utilizamos caso contrario estamos autorizados a crearlas y a enriquecer lo que constituye luego el lenguaje técnico del área respectiva.

En toda disciplina científica trabajamos con sistemas que corresponden a parcelas bien delimitadas de la realidad y muchas veces la historia que logramos construir es una historia parcial e hipotética. La investigación científica, en su primera intención, tiende a reducir la parcialidad de la historia del sistema y a disminuir la incertidumbre de las hipótesis comparadas con la realidad. Un sistema tiene existencia *per-se* desde el momento en que está asociado a una parcela de la realidad enfocada desde un punto de vista bien

definido y, historia bien está limitado por los recursos lingüísticos, esto no significa que dependa de ellos. Mientras tanto, la historia del sistema es un objeto lingüístico. Su existencia se manifiesta en sonidos y gráficos y en las ideas expresadas por dichos sonidos y figuras.

La estrecha relación que existe entre el sistema S y su historia $\mathcal{H}$ se concreta en la caracterización del sistema, el que está definido por los conceptos que utilizamos en la construcción de la historia. La veracidad de las ideas históricas enunciadas o formuladas sobre S no dependen de quienes las hubieran elaborado sino del sistema mismo. La historia $\mathcal{H}$ es ciencia, es verdad objetiva, verificable en la realidad. La construcción de la historia tiene que basarse en los conceptos correspondientes a los universos, a los atributos o propiedades, a las relaciones y a las funciones que nos han servido para construir el sistema.

La realidad aprehendida mediante nuestra percepción sensorial es el producto de la elaboración cerebral de los estímulos provenientes de los colores, las formas, los contornos y las dimensiones. Cuando percibimos por primera vez un objeto o individuo, recibimos los estímulos sensoriales correspondientes a su color, a su forma y a sus dimensiones. Una vez que estas sensaciones son procesadas por nuestro cerebro, entonces las asociamos al objeto o individuo observado. En lo sucesivo, cuando volvamos a recibir estímulos de este objeto o individuo o de sus similares, independientemente de las condiciones de la observación o de la experiencia, los identificaremos como que son el mismo objeto aprehendido previamente. La identificación o reconocimiento de objetos e individuos se prolonga hacia el reconocimiento de ciertas formas, colores y dimensiones genéricas.

A los estímulos perceptuales corresponden preceptos intelectuales, formas, proporciones, colores y dimensiones reconocibles a los cuales asociamos conceptos lingüísticos basados en un vocabulario, una sintaxis y una semántica ya existentes o que las creamos con los fines específicos de asociarlos a los objetos e individuos observados.

La información conceptual adquirida mediante la elaboración intelectual de las sensaciones se va desligando progresivamente de la experiencia sensorial pre-lingüística y se va precisando en el concepto. La percepción de diferentes experiencias sensoriales da lugar a un cúmulo de conceptos que se combinan

generando ideas. Las combinaciones se vuelven cada vez más complejas y en muchos casos se independizan de la realidad.

No hemos avanzado aquí, de nuestro punto de partida: la noción de sistema a la que únicamente hemos asociado la historia del sistema. Tenemos que reconocer que a nivel de la historia del sistema cobran validez las verificaciones con la realidad, las mismas que desembocan en la calificación de verdadero y de falso de los enunciados contruidos con los conceptos asociados al sistema.

La noción de realidad se refleja en la validez del sistema, es decir en la capacidad para representar, imitar, simular la realidad, esa realidad limitada, simplificada e incierta que conocemos y que nos sirvió para definirlos.

2.3. La aprehensión de la realidad

En una primera aproximación al problema del conocimiento de los sistemas, vamos a reflexionar en torno a una idea básica: consideraremos que el origen único de nuestro conocimiento son la sensaciones e iremos incorporando otras ideas al respecto mientras avancemos en el análisis.

La actividad sensorial práctica del hombre va a la par con las interacciones entre los objetos que se encuentran en el entorno y los órganos de los sentidos, lo que determina que exista un contacto permanente de los sujetos conscientes con la naturaleza, la sociedad y la vida. Este contacto tiene como propósito optimizar las relaciones entre los elementos a fin de alcanzar mejores condiciones de vida en el Planeta.

La sensación es el elemento más simple con el que se inicia el contacto sensorial y de la conciencia humana y nos conduce a construir la imagen intelectual del mundo objetivo. La sensación refleja el influjo del objeto a través del prisma de la conciencia humana, subjetiva por la forma y objetiva por el contenido en su aspecto directamente observable. El conocimiento sensorial nos permite formular y alcanzar los objetivos y, en la práctica, desarrollar el

pensamiento y el lenguaje. Mediante la sensación construimos la imagen subjetiva del mundo objetivo, reflejo ideal de lo material, del objeto existente fuera e independiente de la conciencia. Esta es una imagen subjetiva, ideal del objeto y que se encuentra afectada por nuestra capacidad de observación.

¿Cuánto de la realidad podemos observar?. Cada vez que mejoramos nuestra capacidad de observación sea por una mejor comprensión de los fenómenos como por la disponibilidad de aparatos más sofisticados, nos acercamos a la realidad. Es como si ésta se encontrara cubierta por una serie de velos tras de los cuales percibimos el objetivo al que queremos llegar, pero en realidad hasta donde llegamos es solamente hasta donde dichos velos nos lo permiten.

Las emociones no son sino formas combinadas y complicadas de la capacidad sensorial humana estrechamente vinculada con la práctica, la cultura y la educación. Es la expresión activa del hombre frente a los fenómenos. Contiene elementos de evaluación que coexisten en una compleja unidad sintética unidos a los procesos de la actividad pensante.

Al asociar la imagen sensorial a los conceptos, construimos un modelo intelectual que permanece interiorizado en nosotros. La percepción, que no es más que la aptitud sensorial para sintetizar los estímulos que provienen del entorno o de nuestro propio interior tiene una propiedad especial: gracias a ella, el objeto "*se da*" a la conciencia en su forma objetiva entera, bajo la imagen de una entidad objetiva independiente de la conciencia. La percepción como proceso de la creación de la imagen íntegra del objeto material dado mediante la observación es un proceso activo y creativo en el cual la representación posibilita desechar los rasgos casuales, no característicos del objeto y retener los rasgos sustanciales y necesarios del mismo. Para socializarlo necesitamos de las herramientas clásicas de la comunicación: palabras, imágenes y sonidos.

Cuando usamos el lenguaje, la mayor parte de palabras existen y están a nuestra disposición. Sin embargo, sucede que, en determinadas circunstancias, la terminología que necesitamos no existe o no se encuentra disponible entre las palabras con las cuales podemos expresar nuestro modelo intelectual. En este caso tenemos que crearlas y construir con ellas un léxico técnico asociado al sistema observado, enriqueciendo de este modo el lenguaje especializado de la ciencia o de la disciplina científica específica de la que tratamos.

Con este léxico o lenguaje técnico podemos construir enunciados, afirmaciones, proposiciones y suposiciones sobre el sistema, los mismos que constituyen los enunciados históricos del mismo.

La utilización de imágenes y sonido abre nuevos horizontes al proceso de transformación de la información en conocimiento. La descripción parcial e incompleta expresada y construida con el lenguaje puede ampliarse si utilizamos registros gráficos y sonoros para salvaguardar los acontecimientos más importantes ocurridos al sistema, lo que nos obliga a pensar en nuevas formas de articular estos registros para utilizarlos conjuntamente con los registros tradicionales.

2.4. Conocimiento de los sistemas

2.4.1. Estructuras

En todos los sistemas distinguimos rasgos más o menos formales, algunos de los cuales son comunes a varios sistemas. Estos rasgos constituyen una estructura de los sistemas. Las estructuras no necesitan materializarse en el espacio físico y la descripción de una estructura constituye una teoría, la misma que es independiente de los sistemas que la realizan.

Si asimilamos al sistema con una cosa, la estructura será, entonces, la forma de esa cosa, la forma del sistema. Tenemos entonces que aceptar que así como una cosa puede tener varias formas, un sistema puede tener varias estructuras.

Una estructura puede o no realizarse en el espacio físico o en la intuición humana. Esto nos indica que la noción de estructura es más abstracta que la noción de sistema.

También podemos encontrar una estructura realizada en sistemas distintos. Para caracterizar una estructura realizada en distintos sistemas debemos construir un procedimiento y utilizar herramientas que nos permitan describir dicha estructura independientemente de los sistemas que la realizan, de la misma manera como conocíamos los objetos e individuos de un sistema, independientemente de las condiciones de observación.

La descripción de las estructuras se facilita cuando incorporamos y utilizamos herramientas que nos permiten pensar en varios conceptos al mismo tiempo, adquiriendo la posibilidad de contemplar y construir escenarios conceptuales complejos en los que buscamos coherencia y armonía. Al final recurrimos a herramientas matemáticas que son las que mejor sirven para describir las estructuras, combinando los escenarios o dominios conceptuales correspondientes a los varios sistemas que realizan la estructura. Así obtenemos los teoremas cuya combinación nos conduce a la construcción de las teorías.

Las estructuras no constituyen la realidad veraz y completa. Son producto de nuestra elaboración intelectual, residen en nuestro cerebro y en nuestros documentos.

Cuando describimos una estructura, igual que cuando describimos una forma, construimos una teoría. El paso de la descripción de un sistema a la teoría de una estructura constituye el desafío culminante de la investigación científica.

2.4.2. Historia

De la descripción del sistema podemos extraer todas aquellas que sean verdaderas y contruimos con ellas la historia verdadera y completa del sistema. Esta es una operación ideal. Normalmente lo que conseguimos es pensar o formular una parte de ellas, por lo que las únicas dis que podemos construir son las parciales. Por otro lado, tampoco podemos afirmar o negar el valor de verdad absoluta de un enunciado, Muchas veces debemos aceptarlos como que lo fueran, quizás a un nivel de hipótesis con alto grado de probabilidad de que sean verdaderos.

2.4.3. Los conceptos

La coherencia y la armonía entre los conceptos con los que se construye las historias de los sistemas se establece mediante los teoremas. El valor de verdadero o falso de un teorema depende únicamente de su relación lógica con los axiomas de la teoría con lo que se determina de manera única la estructura y la teoría, de manera independiente de la realidad empírica. Si reemplazamos

en los teoremas los elementos globalizantes o escenarios conceptuales por conceptos relativos a un sistema dado, entonces los teoremas se transforman en ideas y la teoría se transforma en la historia del sistema. Cuando esta historia es verdadera podemos afirmar que el sistema es un modelo de la teoría. La teoría constituye una herramienta, un instrumento para aclarar la historia, una historia de la cual todavía quedan dudas sobre los niveles de validez que alcanza mientras que los teoremas y los axiomas de la teoría son completamente seguros, demostrados y verificables pero independientes del mundo perceptual.

Una vez construida la teoría con base en la combinación de teoremas, es fácil reemplazar en los teoremas los elementos globalizantes o escenarios conceptuales por conceptos sobre un sistema dado con lo cual los teoremas se transforman en ideas y la teoría se convierte en la historia del sistema. Si la historia es verdadera, entonces tendremos que el sistema así construido es un modelo de la teoría.

La teoría está conformada en base a combinaciones de los escenarios o dominios conceptuales o teoremas. cuando afirmamos que determinado sistema empírico posee una cierta estructura, esta afirmación constituye una hipótesis histórica que puede ser refutada o ratificada.

No existe opción para pronunciarse sobre el valor verdadero o falso de los teoremas de una teoría. Un teorema es una herramienta útil para describir una estructura y su valor depende únicamente de la relación lógica con los axiomas de la teoría. Estos axiomas constituyen la definición de la estructura lo que es lo mismo que formular su teoría y para hacerlo es necesario especificar los dominios conceptuales, las combinaciones de conceptos que constituyen los axiomas y la lógica que determina la relación de consistencia entre axiomas o teoría. Todo este procedimiento determina unívocamente la estructura y la teoría de manera independiente de la realidad empírica. Parecería ser que la mayoría de estructuras que pueden ser definidas de esta manera no tienen posibilidad de realizarse en sistemas reales. En las ciencias aplicadas y en las ciencias de la naturaleza, lo que más interesa considerar son los sistemas reales. Estos se encuentran en el mundo que nos rodea. Son susceptibles de observación por medios directos e indirectos y se los puede estudiar mediante la di registrada.

La investigación científica se ocupa de desarrollar las teorías de las es-

estructuras que creen encontrar en los sistemas en estudio. Estas teorías tienen que ser validadas mediante procedimientos predeterminados y confrontadas con la realidad para determinar si son verdaderas y si son útiles. De todas maneras queda la duda subyacente: ¿son modelos de las teorías los sistemas estudiados?

Una es la realidad percibida y observada y no sabemos a ciencia cierta si la realidad captada simbólicamente mediante el lenguaje y los conceptos, es decir si la di, le corresponde de manera clara y concluyente.

En síntesis, sólo la historia puede ser comparada con la realidad, evaluada y confrontada con ella. Poseemos un conocimiento perfecto y seguro sobre lo irreal, sobre algo que no tiene mas realización que en nuestro intelecto, mientras que nuestro acercamiento a lo tangible y perceptual está matizado por dudas e impresiones que nos pueden poner frente a situaciones indefinibles, casi irreconocibles, de asombro y estupefacción, y sin embargo, es todo con lo que contamos.

Nuestro mejor conocimiento sobre la naturaleza, sobre la vida y sobre la sociedad es incompleto, parcial, limitado. Para mejorarlo creamos teorías, establecemos axiomas y teoremas exactos, precisos, sofisticados y, cuando vamos a aplicarlos nos surge la duda de cómo conectar este conocimiento perfecto, estructurado y preciso con el imperfecto mundo de la realidad.

En la antigüedad, el conocimiento estaba constituido por una reunión de observaciones y conjeturas más o menos ingenuas en su forma y contenido. Con el desarrollo de las ciencias naturales, proceso que comenzó a partir de la segunda mitad del siglo XV, y la introducción de la hipótesis como herramienta de trabajo se sientan las bases de estructuración del conocimiento científico y de su sistematización.

En el siglo XX la producción científica alcanza niveles insospechados y el método científico basado en la dinámica del conocimiento se convierte en la herramienta fundamental del desarrollo del pensamiento.

2.4.4. Formación de los conceptos

Durante la formación de los conceptos se establece exactamente los rasgos genéricos de los fenómenos, sus características diferenciales particulares y los

cambios genéricos y específicos operados en los fenómenos de la clase de objetos estudiados.

Los conceptos no son idénticos a la totalidad de las impresiones sensoriales relacionadas con ellos sino una libre creación de los seres humanos. El significado de los conceptos, sin embargo, es independiente de las impresiones sensoriales que originalmente permitieron edificar los conceptos, característica que asignamos a la "existencia real" de los objetos concretos.

El valor que asignamos a los conceptos depende de la capacidad que generen los conceptos y sus relaciones mentales para orientarnos en el laberinto de las impresiones sensoriales. Por otro lado, este concepto tiene significado y justificación exclusivamente en la totalidad de impresiones sensoriales asociadas a él.

El mundo real se justifica únicamente cuando los conceptos y relaciones y por lo tanto el postulado de objetivos reales, están conectados con las impresiones sensoriales con las cuales forman una conexión mental.

El pensamiento consiste en operar con los conceptos, formular relaciones funcionales y coordinar con las experiencias sensoriales.

El eterno misterio del mundo es comprenderlo. Se manifiesta como la producción de orden entre las impresiones sensoriales, la creación de conceptos generales, las relaciones entre estos conceptos y la formulación de relaciones definidas entre los conceptos y la experiencia sensorial.

La adquisición de conocimientos se realiza mediante la fijación de reglas que, a pesar de ser arbitrarias, posibilitan el proceso. Los requerimientos son fuertes; es necesario alcanzar los estándares más altos de rigurosa precisión en la descripción de relaciones; rigurosidad y formalismo que sólo el lenguaje matemático puede proporcionar. Mientras más puros, claros y certeros son nuestros conocimientos sacrificamos el que sean completos. Para las leyes universales elementales, no existen caminos lógicos predeterminados; sólo existen intuiciones que permanecen en un nivel de comprensión simpática de experiencias, que pueden permitir el formularlas. El mundo de los fenómenos únicamente determina el sistema teórico, a pesar de que no existan vínculos entre los fenómenos y los principios establecidos. Son los albores de una armonía establecida.

Los conceptos elementales de nuestro pensamiento diario, mejor digamos de nuestros conceptos primarios, se relacionan con las complejas experiencias sensoriales mediante procesos intuitivos que no son adaptables a las adquisiciones lógicas de la Ciencia. La totalidad de estas conexiones es la única cosa que diferencia el gran edificio de la Ciencia del lógico y vacío esquema de los conceptos.

Todas las otras nociones sólo adquieren significado cuando están conectadas con los conceptos primarios mediante proposiciones que son, parcialmente, definiciones de los conceptos y, parcialmente también, proposiciones no derivables de las definiciones. El resultado es que llegamos a establecer relaciones indirectas con los conceptos primarios y por esta vía, con las experiencias sensoriales obteniendo proposiciones sobre la realidad que constituyen las leyes de la naturaleza.

Necesitamos examinar el grado en el cual el sistema completo de conceptos considerado no queda vacío desde el punto de vista físico.

Es así como las leyes de la naturaleza son proposiciones, afirmaciones y formulaciones que tienen que demostrar su validez cuando las aplicamos a las experiencias sensoriales cubiertas por los conceptos primarios. Tenemos, entonces, que saber cuáles proposiciones pueden ser consideradas como definiciones y cuáles como leyes naturales. Todo depende de la representación escogida.

La Ciencia aspira a desarrollar la más completa comprensión posible de las conexiones entre las experiencias sensoriales en su totalidad y utilizar en esta comprensión el mínimo indispensable de conceptos primarios y de relaciones.

La Ciencia utiliza la totalidad de conceptos primarios, es decir, aquellos directamente conectados con las experiencias y con las observaciones y las proposiciones que las relacione; y en el primer nivel de conocimiento no existe nada más.

Nuestras necesidades cotidianas son largamente satisfechas por este primer nivel; pero, evidentemente, el espíritu formado bajo una concepción científica no puede conformarse con esta nivel de satisfacción primaria puesto que la

totalidad de conceptos y relaciones obtenidas de esta manera carece completamente de unidad lógica.

Para paliar estas diferencias creamos un sistema más pobre en conceptos y en relaciones, un sistema que se refiera a los conceptos primarios y sus relaciones a través de conceptos y relaciones derivados y que sacrifica su conexión con las experiencias y las observaciones para alcanzar una mejor formulación lógica.

El proceso se repite: sacrificando la conexión con la realidad para perfeccionar la unidad lógica y estructural. Tenemos que detenernos cuando consideramos que hemos llegado a la mejor unidad en la que juntamos la mayor pobreza de conceptos de la fundamentación lógica y que mantengamos todavía la compatibilidad con nuestras experiencias y nuestras observaciones. Nuestra ambición será satisfecha algún día, cuando alcancemos a formular nuestro sistema definitivo.

Si queremos hacer honor al abstraccionismo tendremos que cuidar el no caer en la dependencia lógica del concepto respecto de la experiencia. Podemos hacer honor al abstraccionismo siempre que cuidemos de no caer en la independencia lógica del concepto respecto de la experiencia pues perderíamos la conexión con la realidad y la posibilidad de contrastar el concepto con la realidad, limitando o eliminando la posibilidad de validar el concepto y la realidad.

Los niveles del conocimiento, sin embargo, no están claramente delimitados. No sabemos exactamente cuáles conceptos pertenecen a cada estrato. De lo que si estamos seguros es de que trabajamos con conceptos libremente contruídos y formados, con niveles de certeza suficientes para aplicarlos en la práctica, conectados intuitivamente con las experiencias y las observaciones de manera que eliminamos cualquier tipo de incertidumbre en su formulación y en su propuesta. Lo único esencial que cuenta para nosotros es el querer representar una multitud de conceptos y de proposiciones, cercanas a la experiencia, como proposiciones lógicamente deducidas desde una base, tan compacta y sintética como sea posible, de conceptos fundamentales y de relaciones fundamentales que pueden ser seleccionadas libremente y que constituyen los axiomas. Sin embargo, la selección de los axiomas no es tan libre o libertina como la de un poeta o de un escritor de ciencia ficción. Es mejor la de armar un bien diseñado rompecabezas en el que podamos proponer

cualquier solución, en la que sabemos que cada pieza resuelve una parte del problema y la totalidad de las partes configura la solución global. El desafío ha estado siempre presente: estructurar el rompecabezas del Universo, con resultados de una concepción unificada, armónica y equilibrada.

La estratificación del conocimiento nos deja la extraña sensación de que las etapas intermedias son sólo temporales y susceptibles de desaparecer en el sostenido proceso de desarrollo. Son éxitos perecibles y perecederos que serán sustituidos por sistemas más liberados de incongruencias y de contradicciones.

Divisamos la luz en lo más recóndito del firmamento mientras avanzamos en la gran aventura de la Humanidad.

Hipótesis 1 *Hipótesis*

Cuando en un fenómeno descubrimos hechos que no concuerdan con nuestros conocimientos necesitamos buscar nuevas explicaciones que inicialmente se basan en un reducido número de hechos y de observaciones verificadas. Las observaciones ayudan a seleccionar y depurar las hipótesis que servirán para establecer algunas leyes fenomenológicas, corregir otras y desechar las restantes.

La hipótesis organiza el conocimiento mediante un sistema de abstracciones estructurado con propósitos bien definidos y basado en demostraciones: cumplir un papel de catalizador del proceso de aprehensión, adquisición y comprensión de la realidad.

Para interpretar la función gnoseológica de la hipótesis debemos tener en cuenta los siguientes factores: (cf. 4)

1. El conocimiento, entendido como reflejo de la conciencia humana de los fenómenos de la naturaleza, de la vida y de la sociedad y de las leyes de movimiento del mismo;
2. La unidad de lo empírico y lo teórico en la dinámica del saber;
3. La verdad como el proceso de aprehensión del objeto por el intelecto;

4. La práctica como fundamento, finalidad y criterio de veracidad del conocimiento.

Se hace necesario, entonces, mantener un concepto de hipótesis que relacione la idea de juicio-suposición con todo el sistema de conocimientos que explica el objeto estudiado.

La hipótesis contiene suposiciones que pueden ser refutadas en el transcurso del estudio así como también suposiciones y juicios verídicos que evolucionan hacia niveles de mejor comprensión y desarrollo del conocimiento argumentado con suficiente probabilidad para asegurar la certeza de su realización. La creación del conocimiento obtiene del análisis algunas abstracciones que lo conforman y constituyen las premisas para la formación de la hipótesis. La síntesis es el resultado del análisis y conduce a la creación de las nuevas teorías, inicialmente hipotéticas.

La hipótesis como forma de desarrollo del conocimiento científico constituye un sistema compuesto por distintos juicios y su principio unificador o idea es la suposición. Admite, además, la existencia de elementos causales en el mundo físico. En nuestro mundo de las matemáticas en donde estudiamos las estructuras, los elementos causales no tienen el mismo significado ni la importancia que tienen en el mundo de las ciencias físicas y naturales, sociales y de la vida. En realidad, nuestro concepto de causalidad es más afín con el de una herramienta de batalla de la cual echamos mano en la vida diaria. Su imprecisión nos agobia y su ambigüedad nos parece perniciosa cuando queremos llevarla a los dominios de la ciencia.

Aclaremos que el propósito del trabajo científico no es obtener imágenes estáticas de una realidad cambiante sino construir un sistema de conocimientos que pueda evolucionar y perfeccionarse acerca de esa realidad. Sólo así mantenemos el desafío de seguir ampliando las fronteras del conocimiento con el mismo interés y dedicación del principiante.

Muy al contrario de lo que podríamos estar tentados a pensar, los resultados que esperamos obtener no son los del conocimiento perfecto, la panacea o la piedra filosofal. Sólo aspiramos a recorrer un trecho en aquel camino jalonado de desafíos y en el cual sólo alcanzamos a señalar una dirección que, incluso ella, puede cambiar y modificarse.

Nuestros primeros pasos los estructuramos bajo la forma de una hipótesis inicial, respuesta primera al problema planteado que no la hemos argumentado de manera suficiente como para que pueda ser categorizada entre las hipótesis científicas. Estas hipótesis iniciales se refieren a un conjunto, a una clase de hechos y fenómenos.

No podemos, entonces, caer en la tentación de emitir juicios de valor absoluto sobre la validez de las hipótesis formuladas. Tenemos que aceptar que la verdad es parte de un proceso en el que interactúa estrechamente con la demostración. Tenemos que hablar de verdad y de conocimiento o aceptar la realidad como una revelación sobrenatural. La verdad, insistamos, no es una acumulación de resultados sino un proceso cuyos elementos son los resultados y su relación con el mundo objetivo, y en este proceso, la dinámica del pensamiento cambia permanentemente su contenido objetivo. Cabe preocuparnos respecto a la aprehensión de las cosas a través de los procesos de interacción con la realidad que existe al margen de nuestra conciencia individual o colectiva.

Admitiendo la naturaleza dinámica del conocimiento aceptaremos la hipótesis como un proceso activo y creador de reflejos del mundo y no como la acción de un fotógrafo especialista o cineasta que registra, almacena y reproduce los hechos, por lo que debemos reflexionar sobre la fidelidad con que la hipótesis refleja el mundo real y las perspectivas que ofrece el desarrollo posterior del conocimiento científico. Lo que nos interesa es la calidad del proceso del conocimiento y su capacidad para proyectar hacia su progreso y mejoramiento.

Nosotros debemos ocuparnos de adquirir conciencia sobre la validez del conocimiento científico en cuyo desarrollo los resultados contradictorios posibilitan su evolución. El valor absoluto sólo tiene cabida en dominios restringidos y particulares. Su comportamiento es incierto y contrasta con la diaphanidad de los procesos de la investigación científica.

La validez de la hipótesis no es un acto volutivo ni puede ser resultado de una expresión democrática. La hipótesis evoluciona y su valor sólo se define en el transcurso del estudio y del trabajo. La realidad total no es una acumulación lógica de resultados o realidades parciales, sino la interconexión inteligente de ellos.

Tenemos también que considerar que no todo en la formulación de la hipótesis científica puede provenir del conocimiento anterior, abstracto o empírico. Un papel importante desempeña en el desarrollo del conocimiento la imaginación científica, diferente de la desbocada y poética con la que prolongamos nuestros sentimientos y sensaciones para expresar nuestras emociones. La imaginación científica, si bien puede reaccionar sensitivamente a una situación, se proyecta como única finalidad hacia la creación de instrumentos para la comprensión de la realidad percibida, que permitan llegar al conocimiento fidedigno del objeto estudiado creando imágenes lógicamente demostrables y objetivamente verificables al contrastarlas con la realidad, ampliando efectivamente el papel social de la Ciencia como parte de la Cultura, ahondándose en la esencia de los fenómenos y reflejando de manera integral la ley descriptiva de ellos.

Capítulo 3

Principios elementales de la Ciencia

3.1. Analítico y Sistémico

La Revolución Industrial constituyó uno de los preámbulos que facilitaron la formulación de propuestas renovadoras de las sociedades de principios del S. XX. Algunas de ellas se materializaron exitosamente para llegar hasta nuestros días como el sustento básico de la organización de diversos ámbitos de las sociedades humanas; otras dinamizaron los procesos de cambio y muy pocas hicieron evolucionar el pensamiento sentando las bases del acelerado progreso científico y tecnológico ocurrido durante todo el siglo pasado.

Luego de la Primera Guerra Mundial, y cuando la Revolución Bolchevique se había iniciado, en Inglaterra se daba paso a una escuela de pensamiento que se sustentaba en los avances científicos de la época y que proponía realizar el análisis lingüístico del pensamiento aplicando un método sustentado en la premisa de que los problemas filosóficos eran expresados y comunicados a través del lenguaje.

La Filosofía Analítica, basada en la aplicación del lenguaje corriente como producto de la interacción entre el ser humano y su entorno tuvo como exponente principal a George Edward Moore.

La segunda corriente apeló al positivismo lógico que consideraba que el lenguaje lógico permitía crear la imagen correcta de la realidad puesto que,

tratándose de una herramienta perfecta, el lenguaje se consituía en un medio idóneo para reflejar la estructura del mundo.

Entre éstas dos corrientes surgió una tercera liderada por Ludwig Wittgenstein que proponía la existencia de una relación unívoca entre el pensamiento y la realidad y que al estudiar el lenguaje podíamos conocer la realidad.

Las dificultades se originaron en la imperfección del lenguaje natural, lo que obligó a buscar soluciones en el lenguaje lógico.

En los años treinta, el Círculo de Viena, creado por Rudolf Carnap proponía construir una sintaxis lógica para concebir científicamente la realidad. Esta propuesta dio lugar al surgimiento de un neopositivismo lógico que encontró terreno fértil en el Grupo de Oxford liderado por Gilbert Ryle. Este grupo se propuso trabajar en el análisis del lenguaje corriente.

El método analítico, basado en los principios filosóficos reseñados, disocia el sujeto observador del objeto observado. Ciertamente que desde el S. XVII este método ha permitido la generación y adquisición de conocimiento, sobretodo en los dominios de la Física, de la Biología, de la Psicología, de la Sociología y otros. Sin embargo, su aplicación ha entorpecido la comunicación entre el conocimiento científico y el pensamiento filosófico y ha dificultado la reflexión de la Ciencia sobre sí misma.

Además, este principio de disociación, de separación del todo en sus partes, aisló radicalmente tres grandes campos del quehacer científico: la Física, la Biología, las Ciencias del Hombre, por lo que no permite comprender la complejidad del mundo actual desembocando, muchas veces, en obstáculos operativos. Para superarlos debemos recurrir a otros paradigmas que faciliten esta labor. Estos paradigmas proceden, generalmente, de la Teoría General de Sistemas y tienen como característica común la transdisciplinariedad estrechamente relacionada con la complejidad y el constructivismo.

El pensamiento sistémico, en cambio, reconoce:

1. La interdisciplinaridad que consiste en la transferencia de los métodos de una disciplina a otra. Esta transferencia se realiza desde el punto de vista de la aplicación, de la epistemología y del generador de nuevas disciplinas y el propósito permanece en el campo de la disciplina.
2. La multidisciplinaridad que consiste en estudiar un objeto de una disciplina con herramientas provenientes de varias de ellas que aportan al conocimiento de dicho objeto referido a la disciplina de origen.
3. La transdisciplinaridad en un marco paradigmático novedoso que tiene como propósito integrar el análisis científico con el cultural, el espiritual, el social, el económico, el político, el tecnológico con una orientación constructivista que comienza con la comprensión de la realidad actual y la modelización de su evolución.

El enfoque transdisciplinario complementa al disciplinario, al pluridisciplinario y al interdisciplinario guardando como finalidad la comprensión del mundo presente frente al interés disciplinario de la investigación de los otros enfoques.

3.2. Pensamiento científico

En nuestro estudio de la historia de un sistema insistimos en la intemporalidad de la misma, no por restarle importancia sino más bien con el propósito de ampliar el alcance del concepto hacia la estructuración de un registro de conocimientos y eventos que ha experimentado el sistema.

Sin embargo tenemos que reconocer una importante propiedad de todas nuestras experiencias que nos permite manejar la concepción intelectual y subjetiva del tiempo para introducir un esquema ordenador de nuestra experiencia. El tiempo subjetivo, unido a la noción del objeto corpóreo u objeto físico y la noción de sensaciones nos conducen al concepto de tiempo objetivo.

Fundamentalmente al objeto corpóreo le asignamos una propiedad de existencia, independientemente del tiempo subjetivo e independiente de ser percibido o no por nuestros sentidos. Casi llegando a la visión histórica del

sistema del que hace parte. Todo esto lo fabricamos a pesar de nuestra percepción de los cambios que en el cuerpo ocurren en el transcurso del tiempo.

Henry Poincaré distinguió dos tipos de cambio que podrían ocurrir en un cuerpo: el primero, un cambio de estado, y el segundo, un cambio de posición. Los cambios de posición pueden revertirse mediante movimientos voluntarios de nuestros cuerpos.

La existencia de cuerpos que se encuentran en cierta esfera de percepción, no cambian su estado y sólo sufren cambios de posición, a los que llamaremos objetos prácticamente rígidos, es fundamental en la formación del concepto de espacio y en cierto grado, en la justificación del objeto corpóreo, cuerpo u objeto físico.

Consideremos una unidad formada por dos cuerpos rígidos. Existen alteraciones y cambios de los cuerpos rígidos que no pueden ser considerados como cambios de posición del conjunto sino de cada uno de los componentes. Entonces podemos considerar los cambios de posición relativa de los dos cuerpos rígidos y llegar a la noción de posición relativa de dos cuerpos en la cual existe un tipo de posición interesante que la vamos a llamar la posición de contacto.

Tenemos que pensar en el manejo que estamos haciendo de los objetos a través de los conceptos de nuestra propia creación, los mismos que no son susceptibles de definición y que los usamos sólo para coordinar nuestra experiencia acerca de la cual no dudamos.

El contacto permanente de dos cuerpos rígidos en tres o más puntos significa que están formando un cuerpo compuesto cuasi-rígido y podemos pensar que el segundo cuerpo forma una continuación cuasi-rígida del primero.

El hecho de que todos los objetos ubicados de cualquier manera pueden ser colocados en contacto con la continuación cuasi-rígida de un cuerpo de referencia B_0 nos provee de la base empírica para la concepción del espacio. Si generalizamos esta continuación a la totalidad de continuaciones del cuerpo B_0 , entonces construimos el espacio determinado por él. En el pensamiento pre-científico, descubrimos una conexión psicológica entre el concepto de espacio y la Tierra como cuerpo de referencia.

La simplificación formal más importante es la noción de espacio que precede nuestro concepto intelectual de las relaciones de posición de los cuerpos en el espacio. Cualquier descripción de posición es, implícitamente, una descripción de contacto. Esta noción física del espacio está ligada a la existencia de cuerpos rígidos.

La geometría euclidea se fundamenta en leyes independientes de la naturaleza específica de los cuerpos cuyas posiciones relativas las analiza. La representación axiomática de ella es simple y clara. Para conseguir lo cual sacrifica la representación de las conexiones entre la construcción conceptual y las experiencias sensoriales. Históricamente el error fundamental de la geometría euclidea consiste en que la necesidad lógica que precede toda experiencia, fue la base de su desarrollo y el concepto de espacio que le pertenece, sobre el cual se construye, cayó en el olvido. La geometría euclidea en su esencia es una ciencia física que tiene que ser confirmada por la experiencia sensorial y su simplicidad formal se apoya en las propiedades de homogeneidad e isotropía y en la existencia de entidades afines o similares.

En la Mecánica Clásica, el concepto de espacio es útil pero no indispensable. En contraste con el concepto de tiempo objetivo que está ligado al de espacio continuo. Sin el, la formulación de la Mecánica Clásica es imposible.

Para introducir el concepto de tiempo objetivo necesitamos dos postulados:

1. *La introducción del tiempo objetivo local que relaciona la secuencia temporal de las experiencias con la medición del tiempo, como ocurre periódicamente en un sistema cerrado;*
2. *La introducción de la noción del tiempo objetivo en los eventos que ocurren en todo el espacio, por los cuales la sola idea del tiempo local se prolonga a la idea del tiempo físico en la que normalmente somos tentados a confundir el tiempo de ocurrencia de un hecho y el tiempo en el cual es observado.*

Conviene, sin embargo, mantener las nociones de tiempo objetivo con las que se desarrolló la Mecánica Clásica y estructurar el esquema de fundamentación de la manera siguiente:

Definición 2 CONCEPTO DE PUNTO MATERIAL: *un cuerpo u objeto corpóreo que, desde el punto de vista de su posición y movimiento puede ser descrito con la suficiente precisión como un punto de coordenadas (x, y, z) . Su movimiento respecto del espacio B_0 lo describimos mediante expresiones del tipo*

$$\begin{aligned}x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t)\end{aligned}$$

Definición 3 LEY DE INERCIA: *la desaparición de los componentes de la aceleración para un punto material suficientemente alejado de los otros puntos;*

Definición 4 LEY DEL MOVIMIENTO DE UN PUNTO MATERIAL

$$\text{Fuerza} = \text{masa} \times \text{aceleración} \quad (3.1)$$

Definición 5 LEY DE FUERZA O INTERACCIONES *entre puntos materiales y cuya existencia posibilita la estructuración de una teoría.*

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \quad (3.2)$$

siendo G la constante de gravitación universal, m_1, m_2 las masas de los cuerpos y d la distancia que los separa.

Es importante que las fuerzas, en un primer momento, cumplan con el principio de que, en el estado de equilibrio, la acción es igual a la reacción para que el sistema de puntos pueda considerarse como un punto material.

La Mecánica Clásica constituye solo un esquema general que adquiere calidad de teoría cuando especificamos la ley de fuerza, tal como Newton la especificó en el caso de la gravitación universal y cuya obtención es metodológicamente deficiente desde el punto de vista de la lógica formal y es destacable únicamente por su éxito.

Estos son modos fenomenológicos de la Física que utilizan en su mayor potencialidad los conceptos más cercanos a la experiencia por lo que necesitan afinar la unidad de sus fundamentos y se sirven de métodos inductivos para pasar de la sensación al pensamiento.

Explicar el mundo de la física a través de un solo cuerpo de conocimientos ha sido la aspiración de muchos científicos. Esfuerzos importantes se han realizado en este sentido y lo que se ha conseguido hasta hoy no es sino un conjunto de teorías parciales que explican fracciones del comportamiento. Así, a principios del siglo pasado se pensaba que dicho comportamiento podría describirse a partir del continuo. La física cuántica mostró que había dificultades insuperables para hacerlo: no se podía argumentar sobre las fuerzas nucleares y cuando se tenía por seguro la existencia de una supergravedad, el interés de los físicos se tornó hacia la teoría de las cuerdas cuyos objetos no tienen más que una dimensión y en la que cada partícula ocupa un punto en el espacio en un instante dado. Un aspecto interesante de esta teoría consiste en que nos está permitiendo convencernos que nuestro pensamiento como género humano ha girado alrededor de un espacio tridimensional con una variable adicional, el tiempo, y en el cual hemos sido confinados desde hace siglos. En adelante tendremos que pensar en espacios multidimensionales en los cuales tendremos mejores oportunidades de explicar los fenómenos, incrementar nuestros conocimientos sobre ellos y aprovecharlos de mejor manera para incrementar la calidad de vida en la Planeta. Las puertas están entreabiertas y los esfuerzos darán sus frutos más temprano que tarde.

La interpretación factual no es formal. En ella establecemos una regla que asigna a un símbolo un objeto físico que se encuentra bajo observación o en una relación de referencia que satisface actualmente la cupla (*símbolo, objeto*).

El símbolo se encuentra dotado de una interpretación operativa si estimulamos su correspondencia con los resultados de operaciones actuales o factibles de diseñarse para observar o medir la misma propiedad el mismo objeto.

Existen diferencias físicas y epistemológicas entre un sistema natural y un sistema experimental así como también entre la interpretación objetiva y la interpretación operativa de un símbolo físico. Puede surgir un problema: dar un giro ilegítimo al significado objetivo de un símbolo que lo interprete de modo operativo.

Toda teoría pretende poseer a la vez unidad formal mediante la conexión lógica del sistema y la unidad semántica a través de la unidad conceptual que le proporciona una referencia común de sus fórmulas a alguna clase no vacía, caracterizada por ciertas propiedades mutuamente relacionadas. Algunas teorías físicas, a pesar de guardar la unidad lógica y la unidad matemática-

ca, fallan desde el punto de vista semántico al no tener unidad de referencia, homogeneidad y cierre semántico.

Las teorías físicas se refieren a una clase natural, no arbitraria, de objetos físicos. Por ejemplo, en el caso de la Mecánica de los Fluidos, la clase de objetos físicos son los fluidos. No importa si la referencia es indirecta y aún falsa. Los predicados de la teoría deben pertenecer a una familia singular y no pueden existir predicados ajenos al campo cubierto por la teoría. Deben concordar, además, cuando se distribuyan entre las suposiciones iniciales de la teoría.

Para reconstruir el realismo en la Mecánica de los Fluidos, es necesario reinterpretar los formalismos presentes en la teoría, respetando las reglas de consistencia semántica con el objeto de producir una teoría física antes que psicológica, del mundo real.

Nuestra referencia tiene dos niveles: el primero respecto al modelo conceptual y el segundo al nivel del sistema real. Como evidencia concordamos en apoyarnos en el conjunto de hechos observados y de los potencialmente observables. Hipotetizamos, entonces, los hechos no observados y las hipótesis y los sistemas de hipótesis se contrastan a través de las huellas observables registradas por el sistema. Las huellas llegan a ser evidenciadas a través de hipótesis instrumentales o auxiliares así como también de las teorías relativas a los mecanismos que las habrán producido.

Esto nos conduce a pensar que la existencia de los fenómenos está ligada a la presencia humana a través de los mecanismos del conocimiento que nos permiten explicar o buscar explicaciones a lo acontecido.

La interpretación fenomenológica es susceptible de realizar mediante el establecimiento de correspondencias entre símbolos formales y sus referenciales, contribuyendo de esta manera a incrementar o mejorar el significado central de la teoría, llegando a establecer la correspondencia entre conceptos no formales y rasgos del modelo teórico así como también estableciendo correspondencia entre rasgos del modelo teórico y aspectos del referencial real hipotetizado.

La interpretación evidencial relaciona un término de bajo nivel teórico con un rasgo o entidad observable. Las reglas de interpretación referencial son necesarias, aunque insuficientes, para formular el significado de una teoría. A

ellas tenemos que agregar un conjunto de reglas de interpretación evidencial que, generalmente, no se encuentran entre las fórmulas puesto que cualquier evidencia depende no sólo de la teoría formulada sino también de otras teorías y de la utilidad disponible.

La comparación de la teoría y de la realidad presume la existencia real y objetiva de, al menos, los instrumentos manejados por el observador. Para hacerlo suponemos que existe al menos un modelo que es descrito por la teoría. Si no existe, la comparación se transforma en un experimento intelectual, a lo más conectado en una simulación en computadora.

De hecho, la experiencia es un subconjunto del conjunto total de hechos, algunos de ellos conducidos y controlados por la Física; otros son imaginarios.

A nivel empírico, las consecuencias de las suposiciones iniciales tienen que compararse mediante un control indirecto del referente propuesto de la teoría. Las hipótesis de existencia relativas a uno o más vínculos en el proceso lleva a los referentes hipotéticos reales de la teoría.

Los resultados de las diversas comparaciones: empíricas, teóricas y meta-científicas, proporcionan evidencias que nos permiten argumentar en torno a la veracidad de una teoría. Así, el método transdisciplinario es el resultado de las investigaciones realizadas por Max Planck y de la física cuántica sobre la naturaleza corpuscular y ondulatoria de la energía, cuestionando así los conceptos claves de la física clásica: causalidad local y determinismo. El desarrollo de estas teorías ha significado un cuestionamiento al dogma filosófico contemporáneo de la existencia de un solo nivel de realidad, entendiendo por tal al conjunto de sistemas invariantes a la acción de leyes generales. Dos niveles de realidad son diferentes si al pasar de uno al otro se produce una ruptura de las leyes y de los conceptos fundamentales, tal como sucede al pasar de las estructuras macroscópicas a las estructuras cuánticas en la Física. También resulta que estos descubrimientos dan lugar a la aparición de una lógica diferente de la lógica clásica que se basa en tres axiomas:

Axioma 6 *de identidad: A es A;*

Axioma 7 *de no contradicción A no es no-A;*

Axioma 8 *tercero excluido: no existe un tercer término tal que sea A y no-A al mismo tiempo.*

La lógica transdisciplinaria reconoce un axioma del tercero incluido que depende únicamente de los diferentes niveles de realidad. Esto no significa la desaparición del tercero excluido sino solamente una limitación del dominio de validez de éste al de situaciones simples.

La tercera consecuencia de los descubrimientos que nos ocupan es el conocimiento de la complejidad.

Es sobre estos tres pilares que se construye la transdisciplinariedad: los niveles de realidad, la lógica del tercero incluido y la complejidad y sobre ella se construye el método científico que no es sino la aplicación estricta de un proceso de razonamiento inductivo en el que todas las suposiciones son cuestionadas y comienza admitiendo que los efectos materiales son imposibles sin causas materiales. Las teorías científicas sólo se formulan bajo la forma de hipótesis que no son admitidas como ciertas pero que soportan el proceso constituyéndose en referentes para la experimentación y son revisadas o desechadas de acuerdo con la calidad de los pronósticos que de ellas se obtienen. Si bien esta descripción es muy cercana al empirismo de Locke y Hume, tenemos que admitir las experiencias anteriores cuando éstas son consistentes y coherentes, como lo describe Popper en sus trabajos.

Parte II

Aproximación formal

Capítulo 4

Herramientas matemáticas

Los sistemas que existen en la naturaleza, en la vida y en la sociedad parecen tan distintos los unos de los otros que resulta muy difícil agruparlos en clases coherentes. Para hacerlo necesitamos herramientas formales de trabajo que son las que vamos a desarrollar a continuación.

4.1. Álgebra de Boole

Sea B un conjunto que contiene al menos dos elementos: 0 y 1, dotado de tres operaciones:

1. Una operación binaria llamada suma y que la representaremos mediante el símbolo $+$
2. Un producto binario, que lo representamos mediante $\cdot$;
3. Una operación unaria llamada complementario y que la representaremos mediante $\complement$

Para simplificar la escritura, tenemos $(B, +, \cdot, \complement)$.

Si a, b, c son elementos de B , diremos que $(B, +, \cdot, \complement)$ es un álgebra de Boole si verifica los axiomas siguientes:

Axioma 9 Conmutatividad: válida para la suma y el producto binarios:

$$\begin{aligned}b + a &= a + b \\b \cdot a &= a \cdot b\end{aligned}$$

Axioma 10 Asociatividad: que para la suma se escribe de la siguiente manera

$$\begin{aligned}(a + b) + c &= a + (b + c) \\ &= a + b + c\end{aligned}$$

y para el producto,

$$(a \cdot b) \cdot c =$$

Axioma 11 Elemento neutro:

0 es el elemento neutro para la suma +

$$a + 0 = a$$

1 es el elemento neutro para el producto ·

$$a \cdot 1 = a$$

Axioma 12 Distributividad:

$$\begin{aligned}a \cdot (b + c) &= (a \cdot b) + (a \cdot c) \\ a + (b \cdot c) &= (a + b) \cdot (a + c)\end{aligned}$$

Axioma 13 Complementaridad: $\complement a$ se lee *complementario de a*

$$\begin{aligned}a + \complement a &= 1 \\ a \cdot \complement a &= 0\end{aligned}$$

Definición 14 Sea R un resultado. Su dual R^* se obtiene permutando sistemáticamente los símbolos de suma y de producto o los símbolos 0 y 1.

Observación 15 Si un resultado R es verdadero en un álgebra de Boole, también lo es para su dual R^* . Así, si el resultado R es

$$\forall a \in B, a + a = a$$

entonces

$$\forall a \in B, a \cdot a = a$$

Teorema 16 $\complement a$ es el único elemento de B que verifica que

$$\begin{aligned}a + \complement a &= 1 \\a \cdot \complement a &= 0\end{aligned}$$

Demostración. Del axioma de complementaridad, tenemos que

$$\complement (a + \complement a) = 0$$

Tenemos que probar, ahora, que $\complement a$ es el único elemento de B que verifica las dos relaciones del teorema. Supongamos que existe otro elemento $a' \in B$ tal que

$$\begin{aligned}a + a' &= 1 \\a \cdot a' &= 0\end{aligned}$$

como

$$a + a' = 1$$

entonces

$$\complement a \cdot (a + a') = \complement a \cdot 1$$

Aplicando de manera combinada los axiomas 3 y 4 tenemos

$$\complement a \cdot a + \complement a \cdot a' = \complement a$$

de donde, aplicando el axioma 5,

$$0 + \complement a \cdot a' = \complement a$$

y, aplicando el axioma 3

$$\complement a \cdot a' = \complement a$$

Por otra parte tenemos

$$a + \complement a = 1$$

de donde

$$(a + \complement a) \cdot a' = 1 \cdot a'$$

Aplicando los axiomas 3 y 4 tenemos

$$a \cdot a' + \complement a \cdot a' = a'$$

de donde

$$0 \cdot \mathbb{C}a \cdot a' = a'$$

y del axioma 3

$$\mathbb{C}a \cdot a' = a'$$

Tenemos, finalmente, que

$$\begin{aligned}\mathbb{C}a &= \mathbb{C}a \\ a' &= a'\end{aligned}$$

de donde concluimos que $\mathbb{C}a$ es único.

Teorema 17 (*idempotencia*)

$$\begin{aligned}a + a &= a \\ a \cdot a &= a\end{aligned}$$

■

Demostración. Tenemos que mostrar que

$$\forall a \in B, a + a = a$$

De los axiomas 3 y 5, obtenemos

$$\begin{aligned}a &= 0 + a \\ &= (a + \mathbb{C}a) + a\end{aligned}$$

Del axioma 4 :

$$a = (a + a) \cdot \mathbb{C}a + a'$$

y del axioma 5,

$$a = (a + a) \cdot 1$$

con lo que, aplicando el axioma 3, llegamos a

$$a = a + a$$

Finalmente podemos escribir

$$a = a + a$$

y ,

$$a = a \cdot a$$

■

Teorema 18

$$\begin{aligned}\mathbb{C}0 &= 1 \\ \mathbb{C}1 &= 0\end{aligned}$$

Proof. A partir del axioma 3, tenemos

$$\begin{aligned}0 + 1 &= 1 \\ 0 \cdot 1 &= 0\end{aligned}$$

Del teorema 1 obtenemos que 1 es el único complementario de 0, esto es

$$1 = \mathbb{C}0$$

■

Teorema 19

$$\begin{aligned}a + 1 &= 1 \\ a \cdot 0 &= 0\end{aligned}$$

Demostración. Demostremos que para todo elemento a que pertenece al conjunto B ,

$$a + 1 = 1$$

Entonces, partiendo del axioma 5 tenemos

$$a + 1 = a + (a + \mathbb{C}a)$$

Del axioma 2

$$a + 1 = (a + a) + \mathbb{C}a$$

y del teorema 2,

$$a + 1 = a + \mathbb{C}a$$

■

Teorema 20

$$\mathbb{C}\mathbb{C}a = a$$

Demostración. Mostremos que para todo elemento a que pertenece al conjunto B ,

$$\mathbb{C}\mathbb{C}a = a$$

Sea $a \in B$. Su complementario verifica

$$a + \mathbb{C}a = 1$$

$$a \cdot \mathbb{C}a = 0$$

Por la propiedad de conmutatividad que poseen los signos $+$ y $\cdot$, obtenemos

$$\mathbb{C}a + a = 1$$

$$\mathbb{C}a \cdot a = 0$$

Entonces a es el complementario de $\mathbb{C}a$. Por otro lado, a admite como complementario $\mathbb{C}\mathbb{C}a$, y dado que el complementario es único, entonces tenemos

$$\mathbb{C}\mathbb{C}a = a$$

■

Teorema 21 (*Absorción*)

$$a + (a \cdot b) = a$$

$$a \cdot (a + b) = a$$

Demostración. Tenemos que demostrar que para todo elemento $a, x \in B$,

$$a + a \cdot x = a$$

del axioma 3 tenemos

$$a + ax = a \cdot 1 + a \cdot x$$

y del axioma 4,

$$a + a \cdot x = a(1 + x)$$

mientras que del teorema 4, tenemos

$$a + a \cdot x = 1$$

Finalmente, del axioma 3,

$$a + a \cdot x = a$$

■

Teorema 22 (*Redundancia*)

$$ax + (\complement a) y = ax + (\complement a) y + xy$$

Demostración. Mostremos que $\forall a, x \in B$

$$ax + (\complement a) y = ax + (\complement a) y + xy$$

Del teorema 6 tenemos

$$ax + (\complement a) y = a \cdot x + (\complement a) \cdot y + a \cdot x \cdot y + (\complement a) \cdot x \cdot y$$

Con el axioma 4 llegamos a

$$a \cdot x + (\complement a) \cdot y = a \cdot x + (\complement a) \cdot y + x \cdot y \cdot (a + \complement a)$$

y con el axioma 5,

$$a \cdot x + (\complement a) \cdot y = a \cdot x + (\complement a) \cdot y + x \cdot y \cdot 1$$

Finalmente aplicando el axioma 3, tenemos

$$a \cdot x + (\complement a) \cdot y = a \cdot x + (\complement a) \cdot y + x \cdot y$$

■

Teorema 23 (*Leyes de de Morgan*)

$$\begin{aligned} \complement(a + b) &= \complement a \cdot \complement b \cdot \complement(a \cdot b) \\ &= \complement a + \complement b \end{aligned}$$

Demostración. Mostremos que $\forall a, b \in B$

$$\complement(a + b) = \complement a \cdot \complement b$$

para lo cual, por una parte tenemos

$$\begin{aligned} (\complement a \cdot \complement b)(a + b) &= [\complement(ab)] a + [\complement(ab)] b \\ &= [\complement a] \complement b + \complement a \{ [\complement b] b \} \\ &= 0 \cdot \complement b + \complement a \cdot 0 \\ &= 0 + 0 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Por otro lado, para $\complement a$ tenemos

$$\complement(ab) + a + b = [\complement a] \complement b + a + \complement b + b$$

que es la expresión de la redundancia en a .

$$\complement(ab) + a + b = \complement(ab) + a + 1$$

de donde deducimos que $[\complement a] \complement b$ es el complementario de $a+b$, esto es

$$\complement(a + b) = [\complement a] \cdot \complement b$$

y utilizando la propiedad de dualidad,

$$\complement(ab) = \complement a + \complement b$$

■

4.1.1. Estudio de igualdades

1. Sea

$$a = b$$

Entonces

$$a + c = b + c$$

$$ac = bc$$

No existe recíproca para estas reglas.

2. Sea

$$a + c = b + c$$

y

$$ac = ab$$

Entonces

$$a = b$$

3. Sea

$$a = b$$

y

$$c = d$$

, entonces

$$a + c = b + d$$

y

$$ac = bd$$

4. Si

$$a = b$$

, entonces

$$\mathbb{C}a = \mathbb{C}b$$

5. Si

$$a \cdot b = 1$$

, entonces

$$a = 1$$

y

$$b = 1$$

6. Si

$$a + b = 0$$

entonces

$$a = o$$

y

$$b = 0$$

7.

$$a \cdot b$$

no es equivalente a

$$a = 0$$

y

$$b = 0$$

8. Si

$$a + b = 1$$

no equivale a

$$a = 1$$

o

$$b = 1$$

4.1.2. Funciones booleanas

- Definición 24** Sea B un álgebra de Boole. Una función booleana de n variables booleanas es una combinación de estas variables mediante las operaciones suma (+), producto ($\cdot$) y complemento ($\bar{}$).

Definición 25 Un minterm de n variables es un producto de estas n variables o de sus complementarios.

Definición 26 Un maxterm de n variables es una suma de estas n variables o de sus complementarios

Teorema 27 Toda función booleana de n variables se escribe de manera única como una suma de minterms. Esta es la forma canónica disyuntiva.

Teorema 28 Toda función booleana de n variables se escribe de manera única como un producto de maxterms. Esta es la forma canónica conjuntiva.

Numeración de los minterms y de los maxterms.

Sea a, b, c tres variables booleanas. Tenemos en el cuadro siguiente ocho

Minterms	Maxterms	Binario	Decimal
$\bar{a}\bar{b}\bar{c}$	$\bar{a} + \bar{b} + \bar{c}$	000	0
$\bar{a}\bar{b}c$	$\bar{a} + \bar{b} + c$	001	1
$\bar{a}b\bar{c}$	$\bar{a} + b + \bar{c}$	010	2
$\bar{a}bc$	$\bar{a} + b + c$	011	3
$a\bar{b}\bar{c}$	$a + \bar{b} + \bar{c}$	100	4
$a\bar{b}c$	$a + \bar{b} + c$	101	5
$ab\bar{c}$	$a + b + \bar{c}$	110	6
abc	$a + b + c$	111	7

Propiedades de los minterms y de los maxterms

- Sea n variables booleanas $a_1, a_2, \dots, a_n$. Entonces
- $\zeta a_1 \zeta a_2 \dots \zeta a_n$ es un minterm., Existe 2^n minterms llamados $m_0, m_1, \dots, m_{2^n-1}$
- La suma de todos los minterms vale 1
- El producto de todos los maxterms es igual a 0
- El producto de dos minterms distintos es nulo
- La suma de dos maxterms distintos es igual a uno
- Dos sumas de minterms son iguales si y solamente si los minterms que no son comunes a las dos sumas son nulos.
- Los productos de maxterms son iguales si y solamente si los maxterms que no son comunes a los dos productos valen uno.
- Toda función booleana se escribe de manera única como la suma de minterms todos distintos. La función cero es la suma de cero minterms. Se trata de la forma canónica disyuntiva.

4.1.3. Formas canónicas de las funciones booleanas

Sea f una función booleana escrita bajo su forma canónica disyuntiva. Entonces $\bar{f}$ es la suma de los minterms que no aparecen en la expresión de f . En efecto, $\bar{f}$ es caracterizada por la suma

$$f + \bar{f} = 1$$

y

$$f \cdot \bar{f} = 0$$

De igual manera, el complementario $\bar{f}$ de una función f es el producto de maxterms que no aparecen en la expresión de f .

Definición 29 *Un término es un producto de variables booleanas o de sus complementarios.*

Definición 30 *Un polinomio es la suma de términos*

Toda función admite una forma polinomial.

Definición 31 *Una forma polinomial es más simple que otra forma polinomial de la misma función si cada uno de sus términos aparece al menos en uno de los términos del otro.*

Definición 32 *Una función polinomial es minimal si es la más simple de todas las formas polinomiales de la misma función.*

Tablas de Karnaugh

Se puede utilizar diversos procedimientos para obtener una forma polinomial minimal para una función dada. Entre estos mencionamos los métodos algébricos los cuales consisten en escribir todos los polinomios correspondientes a una función y verificar la aparición de los términos en los mismos para encontrar la forma minimal.

Otro procedimiento, que podemos calificarlo como método gráfico utiliza las tablas de Karnaugh. Estas consisten en organizar los minterms en tablas de doble entrada, como las que mostramos a continuación:

Sean 3 variables a,b,c. Existen ocho minterms que podemos escribirlos de la siguiente manera:

Analicemos el caso de la función

$$f(a, b, c) = \mathbb{C}b$$

en el cual tenemos

Definición 33 *En un diagrama de Karnaugh que tiene 2^n cuadrados, una célula es un conjunto de 2^k cuadrados $0 \leq k \leq n$ correspondiente a un término.*

Definición 34 *Una célula maximal es una célula que no está incluida en ninguna otra.*

Definición 35 *Una célula maximal es esencial si es la única célula maximal que contiene un minterm.*

4.1.4. Aplicaciones

Todos estos conceptos presentados hasta ahora tienen aplicaciones importantes, sobretodo en el estudio de la electricidad y de la electrónica

Circuitos lógicos

Consideremos las variables $a \in \{0, 1\}$, $b \in \{0, 1\}$. Entonces tenemos:

$$\begin{aligned} \text{NON}(a) &= \mathbb{C}a \\ a\text{AND}b &= a \cdot b \\ a\text{OR}b &= a + b \\ a\text{NAND}b &= \mathbb{C}(a \cdot b) \\ a\text{NOR}b &= \mathbb{C}(a + b) \end{aligned}$$

Teorema 36 *Toda función booleana puede escribirse utilizando sólo el operador NAND*

Teorema 37 *Toda función booleana puede escribirse utilizando sólo el operador NOR*

Dibujemos una ilustración de estos operadores aplicados a los circuitos lógicos, muy útiles en el diseño de circuitos eléctricos y electrónicos.

Lógica de Boole

Definición 38 *Una proposición matemática es un enunciado que, sin ambigüedad, puede ser declarado verdadero o falso en el marco de una teoría dada, es decir en referencia a un sistema de axiomas aceptados de partida.*

Podemos identificar la lógica booleana con el cálculo en el álgebra de Boole $\{\{0, 1\}, +, \cdot, \mathbb{C}\}$.

Convención: Sea $\mathbf{p}$ una proposición. Diremos que $\mathbf{p}$ es verdadera si $\mathbf{p} = 1$ y falsa si $\mathbf{p} = 0$.

Definición 39 *Si $\mathbf{p}$ es una proposición, su **negación** es la proposición llamada $\mathbb{C}\mathbf{p}$, que es verdadera, si y sólo si, $\mathbf{p}$ es falsa*

Definición 40 Sean p y q dos proposiciones. Su **conjunción** es la proposición llamada p y q que es verdadera si, y solamente si, las proposiciones p y q son simultáneamente verdaderas.

Definición 41 Sean p y q dos proposiciones. Su **disyunción** es la proposición llamada p o q que es verdadera si, y solamente si, al menos una de las proposiciones p y q es verdadera.

Definición 42 Sean p y q dos proposiciones. Su **disyunción exclusiva** es la proposición llamada $p \oplus q$ que es verdadera si, y solamente si, al menos una de las proposiciones p y q es verdadera.

Definición 43 Sean p y q dos proposiciones. Su **implicación** es la proposición $p \Rightarrow q$ que es verdadera si, y solamente si, p es falsa o q es verdadera

La implicación es muy utilizada en el sentido **si p entonces q** . Señalemos que si la primera proposición p es falsa, la implicación es verdadera cualquiera que sea el valor de q . También una proposición imposible implica toda proposición verdadera o falsa.

Definición 44 La **equivalencia** de las proposiciones p y q es la proposición $p \Leftrightarrow q$ que significa

$$\begin{aligned} p &\Rightarrow q \\ p &\Leftarrow q \end{aligned}$$

Las circunstancias creadas por el desarrollo independiente del álgebra de Boole y de la lógica matemática han dado lugar a la existencia de varias notaciones equivalente, las mismas que las resumimos en la tabla siguiente:

Álgebra de Boole		Lógica Matemática	
Notación	Pronunciación	Notación	Pronunciación
$p = 0$	p es igual a cero	$p = 0$	p es falsa
$p = 1$	p es igual a uno	$p = 1$	p es verdadera
$\bar{p}$	complementario de p	$\neg p$	no p
$p \cdot q$	p y q	$p \wedge q$	p y q
$p + q$	p más q	$p \vee q$	p o q

Tablas de verdad

p	q	$\neg p = \complement p$	$p \vee q =$ $p \vee q =$ $p + q$	$p \wedge q =$ $p \wedge q =$ $p \cdot q$	$p \rightarrow q =$ $\complement p + q$	$p \longleftrightarrow q =$ $pq + \complement pq$	$q \rightarrow p =$ $\complement q + p$
0	0	1	0	0	1	1	1
0	1	1	1	0	1	0	0
1	0	0	1	0	0	0	1
1	1	0	1	1	1	1	1

Propiedades de las proposiciones

$$\begin{aligned}
 p \vee (q \wedge r) &\Leftrightarrow (p \vee q) \wedge r \\
 p \wedge (q \vee r) &\Leftrightarrow (p \wedge q) \vee r \\
 p \vee (q \vee r) &\Leftrightarrow (p \vee q) \vee r \\
 p \wedge (q \wedge r) &\Leftrightarrow (p \wedge q) \wedge r \\
 \complement (p \vee q) &\Leftrightarrow \complement p \wedge \complement q \\
 \complement (p \wedge q) &\Leftrightarrow \complement p \vee \complement q \\
 \complement (p \Rightarrow q) &\Leftrightarrow p \wedge \complement q \\
 (p \Rightarrow q) &\Leftrightarrow (\complement q \Rightarrow \complement p) \text{ (contraposición)}
 \end{aligned}$$

La última proposición es la base del razonamiento de reducción al absurdo: para demostrar que, bajo ciertas hipótesis p aceptadas, una proposición q es verdadera, suponemos que q es falsa y buscamos una contradicción con p .

4.2. Conjuntos

La noción de conjunto es una noción primitiva de las Matemáticas que no puede definirse con precisión que corresponde a la idea intuitiva de colección o agrupación de objetos llamados elementos. De manera general, digamos

Un conjunto es un objeto al cual puede o no pertenecer otro objeto, para lo cual escribiremos

$x \in E$ para decir que el elemento x pertenece al conjunto E

$x \notin E$ para decir que el elemento x no pertenece al conjunto E

Definición 45 Llamamos elemento del conjunto E a un objeto que pertenece a E

Sin embargo, no podemos considerar que un conjunto sea cualquier colección de objetos.

Definición 46 Sean E y F dos conjuntos. F está incluido en E , si todo elemento de F es elemento de E .

4.3. Dominios y atributos

Consideremos un conjunto Ω no vacío tal que para expresar que el elemento ω_i pertenece a Ω escribimos $\omega_i \in \Omega$. diremos, entonces, que ω_i es el i – ésimo elemento de Ω . Llamaremos a nuestro conjunto Ω el dominio o universo y a los $\omega_i \in \Omega$ sus valores u objetos.

Si Ω consta de un solo conjunto, entonces diremos que Ω es homogéneo. Sin embargo, la mayoría de veces el conjunto Ω está constituido por los subconjuntos $\Omega_1, \Omega_2 \dots \Omega_j \dots \Omega_J$. tales que

$$\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2 \dots \cup \Omega_j \dots \cup \Omega_J \quad (4.1)$$

y que dados dos subconjuntos cualesquiera, $(\Omega_\eta, \Omega_\psi)$ su intersección es vacía, esto es

$$\Omega_\eta \cap \Omega_\psi = \phi \quad (4.2)$$

En este caso, diremos que $\Omega_1, \Omega_2 \dots \Omega_j \dots \Omega_J$ son las partes de Ω y Ω es heterogéneo.

Los subconjuntos $\Omega_1, \Omega_2 \dots \Omega_j \dots \Omega_J$. son nuestros subdominios. El conjunto heterogéneo Ω está definido mediante el producto cartesiano de los subconjuntos que lo constituyen.

Definición 47 Sean Ω_1, Ω_2 dos conjuntos . El producto cartesiano de $\Omega_1 \times \Omega_2$ es el conjunto

$$\Omega_1 \times \Omega_2 = \{(w_1, w_2); w_1 \in \Omega_1, w_2 \in \Omega_2\}$$

cuyos elementos son las cuplas formadas de un elemento de Ω_1 y de un elemento de Ω_2

Tenemos, entonces, que

$$(w_1, w_2) \in \Omega_1 \times \Omega_2 \Leftrightarrow w_1 \in \Omega_1, w_2 \in \Omega_2$$

Del conjunto Ω o de cada uno de los subconjuntos $\Omega_1, \Omega_2 \dots \Omega_J$ podemos retirar, eventualmente, ciertos elementos ω_{ie} que cumplan al menos una condición precisa, especificada previamente, que los excluya de nuestro dominio. Una vez que hemos retirado los elementos $\omega_{ie} \in \Omega$ nos quedan los $\omega_i \in \Omega$, elementos que tienen atributos y propiedades comunes a todos ellos que nos permiten agruparlos en los diversos subconjuntos de nuestro dominio. Cada propiedad o atributo establece una clase de datos que tiene un comportamiento homogéneo en el conjunto Ω o al menos en cada subconjunto Ω_j en el que se encuentra definido.

Dentro de Ω , cada $\omega_i \in \Omega$ tiene una posición propia que, de preferencia, no es compartida con ningún otro elemento del conjunto.

4.4. Atributos y predicados

Un predicado $a \in A$ es una afirmación que depende de n variables independientes y que se convierte en una proposición el momento en que sustituimos todas las variables por constantes. Un predicado de orden cero es una proposición.

4.5. Relaciones

Acudiendo a la etimología y extrayendo de la Gran Enciclopedia Larousse algunas acepciones comenzaremos por decir que una relación es algo que hace referencia. Es una situación que se da entre dos cosas, ideas o hechos cuando por alguna circunstancia están unidos de manera real o imaginaria: Hay una relación orgánica, una natural y estrecha simpatía que vincula a las subversiones del sentimiento y de la voluntad con las falsedades y las violencias del mal gusto. En la aritmética, la relación de a con b , es el cociente de a por b , pertenenciendo a y b al mismo conjunto. En el caso de un producto externo definido en un conjunto Ω con operadores en un conjunto D , si tiene como imagen el elemento de Ω , puede ser llamada relación de y respecto de x , en tanto que x será llamada cociente de y por x . En el caso de un producto interno, la utilización del término relación presupone que dicha operación es conmutativa y excluye las soluciones aproximadas. En teoría de conjuntos, para n conjuntos $\Omega_1, \Omega_2, \dots \Omega_n$, una relación es la propiedad de las n -uplas $(x_1, x_2, \dots x_n)$ definidas en el producto cartesiano $\Omega_1 \times \Omega_2, \dots \times \Omega_n$ donde

$x_1 \in \Omega_1; x_2 \in \Omega_2 \cdots x_n \in \Omega_n$. Podemos, también, decir que una relación es un conjunto de pares ordenados.

Definición 48 Una relación $\mathfrak{R}$ de un conjunto Ω_1 en un conjunto Ω_2 es un subconjunto del producto cartesiano $\Omega_1 \times \Omega_2$

Sean $x \in \Omega_1$ y $y \in \Omega_2$. Si $(x, y) \in \mathfrak{R}$ se dice que x está relacionado con y y se escribe $x\mathfrak{R}y$.

Definición 49 Si $\Omega_1 = \Omega_2$, entonces $\mathfrak{R}$ es una relación binaria sobre Ω_1 .

Las principales relaciones binarias son las de orden y las de equivalencia.

Definición 50 Si para algún valor $y \in \Omega_2$, existe un $x \in \Omega_1$, entonces el conjunto $x \in \Omega_1$ tal que la dupla $(x, y) \in \mathfrak{R}$ es el dominio de $\mathfrak{R}$

Definición 51 Si para algún valor $x \in \Omega_1$ existe $y \in \Omega_2$ entonces el conjunto de los $y \in \Omega_2$ tal que la dupla $(x, y) \in \mathfrak{R}$ es el rango de $\mathfrak{R}$

Cuando tipificamos un dominio Ω o los subdominios $\Omega_1, \Omega_2 \dots \Omega_j \dots \Omega_J$, construimos las relaciones que pueden existir entre los elementos $\omega_i \in \Omega$ o entre los elementos $\omega_i \in \Omega_j$ y de éstos, en el caso de conjuntos complejos, con los elementos $\omega_k \in \Omega_k, k \neq j$.

Definición 52 una relación n -aria $\mathfrak{R}$ es el producto cartesiano Π de los dominios de los $n, A_i; i = 1, 2, \dots, n$ atributos que forman el conjunto $\mathfrak{R}_{\otimes}$ de atributos o propiedades de $\mathfrak{R}$.

Para fijar $\mathfrak{R}$ utilizamos el predicado $\|\mathfrak{R}\|$ en el cual las variables libres, es decir, aquellas que no son cuantificadas ni por el cuantificador de existencia $\exists$ ni por el cuantificador universal $\forall$, corresponden a los atributos de $\mathfrak{R}_{\otimes}$ y toman sus valores en los dominios de sus atributos.

Una n -upla de $\mathfrak{R}$ es un elemento del producto cartesiano Π de los dominios de los n atributos de $\mathfrak{R}$ y la n -upla de $\mathfrak{R}$ que verifica que el predicado $\|\mathfrak{R}\|(r)$ sea verdadero, es una entidad r de la relación $\mathfrak{R}$. Si r es una n -upla de Π , entonces r es una entidad de $\mathfrak{R}$ y $r(A_i)$ designa el valor que toma r para el atributo A_i .

Designemos como X_{Ω} un conjunto de atributos de $\mathfrak{R}_{\otimes}$. La expresión $r \mapsto X$ designa, entonces, los valores que r toma para los diversos atributos de $\mathfrak{R}_{\otimes}$.

Para describir una relación de orden entre las relaciones de $\mathfrak{R}$ nos serviremos de la siguiente definición:

Definición 53 Sean T y S dos relaciones. T está contenida en S si y solamente si la clausura de T está incluida en la clausura de S . Escribiremos, entonces que $T \prec S$.

Esta es una relación de orden parcial en la que la igualdad puede ocurrir sólo cuando los predicados de las dos relaciones sean iguales y, por lo tanto, las clausuras respectivas también lo sean.

Definición 54 Una relación $\mathfrak{R}$ sobre un conjunto Ω_1 es reflexiva si $(x, x) \in \mathfrak{R}$.

Definición 55 Una relación $\mathfrak{R}$ sobre un conjunto Ω_1 es simétrica si para todo $x, y \in \Omega_1$, si $(x, y) \in \mathfrak{R}$ entonces $(y, x) \in \mathfrak{R}$.

Definición 56 Una relación $\mathfrak{R}$ sobre un conjunto Ω_1 es anti simétrica si para todo $x, y \in \Omega_1$, si $(x, y) \in \mathfrak{R}$ y x es diferente de y entonces $(y, x) \notin \mathfrak{R}$.

Definición 57 Una relación $\mathfrak{R}$ sobre un conjunto Ω_1 es transitiva si para todo $x, y, z \in \Omega_1$, si $(x, y) \in \mathfrak{R}$ y $(y, z) \in \mathfrak{R}$ entonces $(x, z) \in \mathfrak{R}$.

Definición 58 Una relación $\mathfrak{R}$ sobre un conjunto Ω_1 es un orden parcial si $\mathfrak{R}$ es reflexiva, antisimétrica y transitiva.

Definición 59 Sea $\mathfrak{R}$ una relación de Ω_1 en Ω_2 . La inversa de $\mathfrak{R}$, que se denota $\mathfrak{R}^{-1}$ es la relación de Ω_2 a Ω_1 definida como

$$\mathfrak{R}^{-1} = \{(y, x) | (x, y) \in \mathfrak{R}\}$$

4.5.1. Relaciones de equivalencia

Introduzcamos el concepto de clase de equivalencia a partir del cual se puede explicar una de las formas canónicas de construir objetos matemáticos y que consiste en definir la partición de un conjunto, es decir el conjunto $\mathcal{P}(\mathcal{S})$ de partes de $\mathcal{S}$. Los subconjuntos $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_j, \dots, \Omega_J$ son contruidos de la siguiente manera

Sean $(w_\kappa, w_\zeta) \in \Omega$ dos elementos del conjunto Ω . Una relación de equivalencia r es una relación binaria que permite decir que:

- w_κ "es igual de alguna manera a w_ζ ", es decir que w_κ y w_ζ tienen el mismo valor o son equivalentes en algún sentido que condiciona la pertenencia de los elementos de Ω a Ω_η . Entonces diremos que w_κ y $w_\zeta \in \Omega_\eta$.
- w_κ "es no igual de alguna manera a w_ζ " en el sentido que interesa a Ω_η . Entonces,

$$w_\kappa \in \Omega_\eta \quad (4.3)$$

$$w_\zeta \in \Omega_\psi \quad (4.4)$$

siendo $\eta \neq \psi$.

Es así como la relación de equivalencia nos permite agrupar los elementos del conjunto original en subconjuntos tales que los elementos de un mismo subconjunto son equivalentes entre sí, desde algún punto de vista. Podemos decir, entonces que

$$\text{si } w_\kappa \text{ y } w_\zeta \in \Omega_\eta \Rightarrow w_\kappa r w_\zeta \quad (4.5)$$

y que

$$\text{si } w_\kappa \in \Omega_\eta, w_\kappa r w_\zeta \Rightarrow w_\zeta \in \Omega_\eta \quad (4.6)$$

La relación r de equivalencia tiene las siguientes propiedades:

1. Reflexiva: $w_\kappa r w_\kappa$;
2. Simétrica: $w_\kappa r w_\zeta \Rightarrow w_\zeta r w_\kappa$
3. Transitiva: $w_\kappa r w_\zeta$ y $w_\zeta r w_\tau \Rightarrow w_\kappa r w_\tau$

Teorema 60 Sea $\mathcal{P}(\mathcal{S})$ una partición del conjunto $\mathcal{S}$. Entonces $w_\kappa r w_\zeta$ si para algún conjunto $\Omega_\eta \in \mathcal{P}(\mathcal{S})$, $w_\kappa, w_\zeta \in \Omega_\eta$. Entonces, r es reflexiva, simétrica y transitiva.

Proof. Sea $w_\zeta \in \mathcal{S}$. Por la definición de partición, w_ζ pertenece a un conjunto de $\mathcal{P}(\mathcal{S})$. Entonces $w_\kappa r w_\kappa$, lo que significa que r es reflexiva.

Supongamos que $w_\kappa r w_\zeta$. Entonces, w_κ y w_ζ pertenecen a un conjunto $\Omega_\eta \in \mathcal{P}(\mathcal{S})$. Como w_κ y w_ζ pertenecen a Ω_η , $w_\zeta r w_\kappa$. Luego, r es simétrica.

Finalmente, supongamos que $w_\kappa r w_\zeta$ y $w_\zeta r w_\tau$. Entonces, w_κ y w_ζ pertenecen a un conjunto $\Omega_\eta \in \mathcal{P}(\mathcal{S})$; w_ζ y w_τ pertenecen a un conjunto $\Omega_\psi \in \mathcal{P}(\mathcal{S})$. Como w_ζ pertenece a un solo conjunto de la partición $\mathcal{P}(\mathcal{S})$, entonces, necesariamente, $\Omega_\eta = \Omega_\psi$. Por lo tanto, $w_\kappa, w_\tau \in \Omega_\eta$ y $w_\zeta r w_\tau$. Por lo que la relación r es transitiva.

Teorema 61 Sea r una relación de equivalencia sobre un conjunto $\mathcal{S}$. Para cada $a \in \mathcal{S}$

$$[a] = \{w \in \mathcal{S} \mid wra\}$$

Entonces

$$\mathcal{P} = [a] \mid a \in \mathcal{S}$$

es una partición de $\mathcal{S}$

■

Demostración. Vamos a demostrar que cada elemento de $\mathcal{S}$ pertenece a un miembro de $\mathcal{P}$.

Sea $a \in \mathcal{S}$. Como ara , entonces $a \in [a]$, lo que significa que cada elemento de $\mathcal{S}$ pertenece al menos a un elemento de la partición $\mathcal{P}$.

Ahora tenemos que demostrar que cada elemento de $\mathcal{S}$ pertenece a un miembro de la partición $\mathcal{P}$.

Primera parte: demostramos que si arb , entonces $[a] = [b]$.

Supongamos que arb y sea $w \in [a]$. Entonces wra . Como arb y r es transitiva, tenemos que wrb , por lo que $w \in [b]$ y $[a] \subseteq [b]$.

Supongamos, ahora que bra y sea $w \in [b]$. Entonces wrb . Como bra y r es transitiva, tenemos que wra , por lo que $w \in [a]$ y $[b] \subseteq [a]$.

De donde tenemos que

$$[a] = [b]$$

Supongamos que $w \in \mathcal{S}$ y que $w \in [a] \cap [b]$. Entonces wra y wrb .

Como hemos demostrado anteriormente que

$$wra$$

$$wrb$$

entonces tenemos que

$$[a] = [b]$$

Definición 62 Sea r una relación de equivalencia definida sobre el conjunto S . Las clases de equivalencia de S dadas por la relación r son los conjuntos $[a]$.

■

Teorema 63 Sea r una relación de equivalencia sobre un conjunto finito S . Si cada clase de equivalencia tiene n elementos, entonces existen $\frac{|S|}{n}$ clases de equivalencia.

Demostración. Sean $S_1, S_2, \dots, S_k$, las distintas clases de equivalencia. Como estos conjuntos separan a S en sus partes, entonces tenemos

$$\begin{aligned} |S| &= |S_1| + |S_2| + \dots + |S_k| \\ &= n + n + \dots + n \\ &= kn \end{aligned}$$

de donde el número de clases de equivalencia es

$$\frac{|S|}{n}$$

■

4.5.2. Operaciones entre las relaciones

En el conjunto de relaciones podemos definir varias operaciones, de las cuales las más usuales son las que enunciamos a continuación:

Operaciones de conjuntos

Estas son dos: la unión y la intersección. Sean $\mathfrak{R}$ y $\mathfrak{F}$ dos relaciones definidas sobre el mismo conjunto Ω para todos los valores de x, y que pertenecen a Ω . Entonces, la unión $\cup$ de las dos relaciones es definida mediante

$$x (\mathfrak{R} \cup \mathfrak{F}) y \Leftrightarrow x\mathfrak{R}y \text{ o } x\mathfrak{F}y$$

y la intersección,

$$x (\mathfrak{R} \cap \mathfrak{F}) y \Leftrightarrow x\mathfrak{R}y \text{ y } x\mathfrak{F}y$$

Para establecer relaciones en un dominio, homogéneo o complejo, necesitamos por lo menos dos elementos $\omega_i, \omega_k \in \Omega$ y en el caso de que sea complejo, o si no $\omega_i \in \Omega_j; \omega_l \in \Omega_k; i \neq j \neq k \neq l$. Es interesante, también, definir nuevas relaciones obtenidas como combinaciones mediante la aplicación de operaciones entre ellas. De estas operaciones, las más importantes son las siguientes:

Producto de dos relaciones:

Sean las relaciones T y S . El producto de estas dos relaciones es una nueva relación F tal que su predicado $\|F\|$ es igual a la intersección de los predicados de T y de S . Esto es,

$$\|F\| = \|T\| \cap \|S\|$$

y tendremos también que

$$F = T \otimes S$$

Todos los atributos de T y de S son marcados en F mediante el nombre de su relación de origen. Así, si A es un atributo de T y es, a la vez, atributo de S , entonces esta situación da origen a dos atributos de F : A de T y A de S . El producto de las dos relaciones lo escribimos de la manera siguiente:

$$F = T \times S$$

Composición de dos relaciones

La composición de dos relaciones T y S es una nueva relación F_Ω tal que el conjunto de atributos de F_Ω es igual al conjunto de atributos de $T_\otimes$ y de S_Ω y los predicados de F son iguales a la intersección de los predicados de T y de S , esto es:

$$\begin{aligned} F_\Omega &= T_\otimes \cup S_\Omega \\ \|F\| &= \|T\| \cap \|S\| \end{aligned}$$

Designamos la composición de dos relaciones mediante el símbolo $\otimes$, por lo que podemos escribir la relación de composición de T y de S de la manera siguiente:

$$F = T \otimes S$$

Cualquiera que sea la vía por la cual obtenemos F , sea por el producto $\times$ o por la composición $\otimes$ de las dos relaciones T y S , toda entidad que cumple con la condición $\varphi \in F_\Omega$ es una entidad de T y si cumple con la condición $\varphi \in S_\Omega$, entonces es una entidad de S .

La articulación de T y S es el conjunto de propiedades o atributos comunes a los dos conjuntos, es decir

$$S_\otimes S = T_\otimes \otimes S = T_\otimes \cup S$$

En el caso en el cual $T_\otimes \otimes S$ sea vacío, entonces, no habrá diferencia entre el producto y la composición. En el caso contrario, es decir cuando $\|T\|$, toda entidad obtenida mediante la composición, cumple con las igualdades de la forma:

$$\varphi T S_\Omega = t T S_\Omega = s T S_\Omega$$

Suma de dos relaciones

La suma de dos relaciones T y S da una nueva relación F tal que

$$F_{\Omega} = T_{\Omega} \cup S_{\Omega}$$

El predicado de la suma F es igual a la unión de los predicados de T y S , así:

$$\|F\| = \|T\| \cup \|S\|$$

Designamos la suma de la manera siguiente:

$$F = T + S$$

La suma tiene dos propiedades: es asociativa y conmutativa. Toda entidad cumple con la condición de ser una entidad de $T \circ S$. S es una entidad de S , esto significa lo siguiente:

$$\varphi \in F \iff \varphi \in T \text{ ó } \varphi \in S$$

Complemento de una relación

El complemento de la relación T es una relación S tal que $S_{\Omega} = T_{\Omega}$ y cualquier entidad $s \in S$ cumple con la propiedad siguiente:

$$s \in S \iff s.T_{\Omega} \notin T$$

Proyección de una relación

La proyección de una relación T sobre un conjunto de atributos o propiedades Γ puede definirse únicamente cuando el conjunto de atributos está contenido en T_{Ω} . En ese caso, la proyección de T_{Ω} es una nueva relación F definida sobre el conjunto de atributos $F_{\Omega} = \Gamma$. El predicado de $F : \|F\|$ verifica la condición de que para cada elemento $f \in F$, existe una entidad $t \in T$ tal que $t.\Gamma = f$. Decimos entonces que t es la proyección de f sobre Γ_{Ω} y le designamos como

$$F = T(\Gamma)$$

Selección de una relación

La selección de una relación T mediante un predicado P sólo puede realizarse si las variables de P son atributos de $T(P_\Omega \subset T_\Omega)$ y si son libres. Esta operación construye una nueva relación F tal que su conjunto de atributos es el mismo de $T : F_\Omega = T_\Omega$ y su predicado verifica la relación siguiente:

$$\|F\| = \|T\| \cap P$$

Designamos como F a la relación

$$F = (*P)T$$

Si podemos asociar al predicado P una relación PT tal que

$$\begin{aligned} PT &= P \\ \|PT\| &= P \end{aligned}$$

Entonces podemos escribir que

$$\begin{aligned} F &= (*P)T \\ &= PT * T \end{aligned}$$

Esta propiedad nos permite no incluir la operación de selección en el estudio de las operaciones entre las relaciones.

***P*–producto de dos relaciones**

El *P*–producto de dos relaciones se define mediante un predicado *P* en el que las variables P_Ω son componentes de *T* o de *S* y son libres. Este producto es una nueva relación *F* que cumple las dos condiciones siguientes:

$$\begin{aligned} F_\Omega &= T_\Omega \| S_\Omega \\ \|F\| &= \|T\| \cap \|S\| P \end{aligned}$$

En notación simplificada escribiremos

$$F = T (* * P) S$$

Podemos escribir la forma desarrollada de la propiedad enunciada, de la manera siguiente:

$$T (* * P) S = (*P) (T * * P)$$

En efecto, estos dos relaciones se definen sobre los mismos atributos y tienen el mismo predicado. Además, esta propiedad nos permite no considerar el *P*–producto en el estudio de las operaciones relacionales y definir una *P*–composición de dos relaciones.

Las herramientas que hemos desarrollado en los párrafos anteriores nos servirán para formular los conceptos sobre los sistemas de manera formal, así:

4.6. Sistemas

La definición más general de sistema es la siguiente:

Definición 64 Sea Ω un conjunto bien delimitado de objetos $\omega_i \in \Omega$. Cada elemento ω_i tiene una posición y tiene propiedades o atributos $a_{ij} \in A$. Entre los diferentes elementos de Ω es posible establecer relaciones y funciones $f_k \in F$. La tripleta $S = \langle \Omega, A, F \rangle$ es un sistema.

Definición 65 *El sistema es homogéneo si y sólo si es ordenado por una sola clase de equivalencia*

Definición 66 *El sistema S es complejo si y sólo si es ordenado por varias clases de equivalencia $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_N$. Esto es, Ω es no homogéneo.*

Al dominio Ω lo llamamos, también, universo del sistema.

El sistema homogéneo más simple es aquel cuyo universo tiene un elemento $\omega_1 \in \Omega$. El conjunto de atributos tiene un sólo elemento $a_{11} \in A$ y en el conjunto de relaciones existe, también, un solo elemento $f_1 \in F$, reflexivo. Podemos expandir el sistema homogéneo incrementando el número de elemento de Ω , haciendo que

$$\Omega = \{\omega_i \mid \omega_i \in \Omega; i = 1, 2, \dots, I\}$$

Esta expansión podemos llevarla hasta el punto en el cual hayamos construido todas las clases de equivalencia que nos interese considerar.

También podemos expandirlo aumentando los atributos o propiedades

$$A = \{a_{ij} \mid a_{ij} \in A_j; i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J\}$$

Si incrementamos el número de funciones o relaciones, entonces conseguiremos un conjunto expandido tal que podamos describirlo como

$$F = \{f_k \mid f_k \in F; k = 1, 2, \dots, K\}$$

Finalmente, el sistema homogéneo de mayor cobertura será aquel en el que la clase de equivalencia Ω que lo ordena tenga el máximo número de elementos $\omega_i \in \Omega$, los atributos $a_{ij} \in A_j$ de dichos elementos sean en el mayor número posible y que las relaciones $f_k \in F$ entre los elementos $\omega_i \in \Omega$ también sean las de la misma expansión. Entonces podemos escribir que, S_M sistema homogéneo de máxima cobertura es

$$S_M = \langle \Omega; A_1, A_2, \dots, A_J, F_1, F_2, \dots, F_K \rangle$$

De la misma manera podemos expandir los sistemas complejos, es decir que podemos tener un sistema de máxima expansión tal que

$$S_M = \langle \Omega_1, \Omega_2, \Omega_3 \dots; A_1, A_2, \dots A_J, F_1, F_2, \dots F_K \rangle$$

obtenido mediante combinación del sistema expandido en los subconjuntos del conjunto Ω , que determinan las clases de equivalencia que ordenan al sistema, esto es

$$S_M = \langle \Omega_1, \Omega_2, \Omega_3 \dots; A_1, F_1 \rangle$$

o expandido en sus atributos o propiedades de los elementos de cada una de las clases de equivalencia, así:

$$S_M = \langle \Omega_1, \Omega_2, \Omega_3 \dots; A_1, A_2, \dots A_J, F_1 \rangle$$

o, también, de una expansión de las relaciones y funciones

$$S_M = \langle \Omega_1, \Omega_2, \Omega_3 \dots; A_1, F_1, F_2, \dots F_K \rangle$$

En el caso de un sistema complejo, el dominio o universo es el producto cartesiano de los subconjuntos que lo conforman, $\Omega_1 \times \Omega_2 \times \dots \Omega_I$.

Como los elementos del universo del sistema complejo son ordenados por diversas clases de equivalencia, entonces podemos establecer jerarquías entre ellos. Las relaciones que ocurren no son sólo de carácter lineal sino también pueden existir relaciones no lineales. Los sistemas complejos presentan gran resistencia al cambio y en ellos emergen nuevas propiedades.

La expansión de los atributos y propiedades así como de las relaciones y funciones está determinada por el nivel de detalle que querramos alcanzar en la descripción. En esta definición de alcance tiene mucho que ver el criterio y la necesidad de nuestro trabajo.

4.7. Complejidad

De acuerdo con Edgar Morin, un sistema complejo no puede resumirse en una palabra ni puede condensarse en una ley o en una simple idea. Sin embargo, esta complejidad no significa eliminar la simplicidad.

La complejidad aparece en donde el pensamiento simplificador colapsa, pero ella integra todo lo que es necesario para poner en orden, claridad, distinción, precisión en el conocimiento y mientras el pensamiento sintetizador desintegra la complejidad de la realidad, el pensamiento complejo integra de la manera mas amplia las maneras simplificadoras de pensar, rechazando las mutilaciones, reducciones y de visión unidimensional que ocurren cuando se confundela percepción del reflejo con la percepción de la realidad.

Edgar Morin propone que no debe confundirse la complejidad con la competitividad. El pensamiento complejo tiene un enfoque multidimensional, sabiendo que el conocimiento completo es imposible al mismo tiempo que reconoce las relaciones que existen entre los elementos que nuestro pensamiento debe distinguir, pero no aislar unos de otros. Aquí se produce situaciones de conflicto entre la aspiración para desarrollar un conocimiento no aislado ni reduccionista y la situación de no poder contar con un conocimiento completo, lo que condujo, en el siglo XIX, a que el constructivismo filosófico gane terreno frente al reduccionismo cartesiano de la época basando la construcción del conocimiento científico sobre el ingenio más que sobre el análisis. No es sino a la mitad del siglo veinte que las teorías de Jean Piaget, Herbert Simon Paul Watzlawic, Ernst von Glaserfeld, Edgar Morin y Jean Louis Lemoigne vuelvan sobre el papel del constructivismo en el pensamiento humano y abran vías para abordar temas como la complejidad de los sistemas.

4.8. Clasificación de los sistemas

En la tabla siguiente sintetizamos las clases de sistemas que vamos a considerar. Para cada una de ellas señalamos la característica más importante que constituye factor diferencial de la clasificación.

Tabla N. Clases de sistemas agrupados según los criterios y el rasgo característico principal de cada clase.

Criterio	Clases	Caracterización
Número de clases de equivalencia	Homogéneos	Una sola clase de equivalencia
	Complejos	Al menos dos clases de equivalencia
Relaciones cuantificables	Físicos	Las variables se pueden medir
	Abstractos	Las variables no se pueden medir
Origen	Naturales	Acto no consciente del hombre
	Artificiales	Acto consciente del hombre
Influencia de variables externas	Cerrados	Variables endógenas Leyes absolutas de comportamiento Ninguna influencia de variables externas
	Abiertos	Ningún aspecto de su comportamiento es determinado estrictamente desde dentro

De las clases de sistemas que constan en la Tabla N., nos hemos referido con un detalle suficiente a la clasificación que corresponde al número de clases de equivalencias que orden el universo del sistema. Ahora vamos a referirnos a las otras clases establecidas según los otros criterios señalados.

Capítulo 5

Modelos

Asociemos la noción de realidad al dominio $\Omega = \Omega_1 \times \Omega_2 \times \dots$ que cubra todos los aspectos naturales, de la vida y de la sociedad. El sistema complejo que describe la realidad tiene el conjunto de propiedades y el conjunto de relaciones. Sólo tratar de imaginar la cantidad de información que se genera en este sistema al tratar de construir su historia puede conducirnos a una situación de angustia y desesperación, imposible de controlar. Para evitarla debemos introducir en este mundo real, confuso, amorfo, complejo e incierto, un cierto orden conceptual, una fórmula que nos permita evolucionar con la realidad, seguir el proceso o acompañarlo. Finalmente tratamos de poner a disposición de la historia, herramientas de pronóstico y explicación que nos permitan prever el comportamiento del sistema con la mayor objetividad que seamos capaces y en condiciones hipotéticas formuladas de manera consistente y global. Necesitamos para ello, conocer la historia del sistema realidad". Cómo hacerlo?

El procedimiento parece simple: partir de una teoría que nos permita sintetizar la información. Con el conocimiento previo y la teoría de base introducimos hipótesis coherentes y justificadas en los diversos elementos distinguidos del sistema, consiguiendo así representar los aspectos que, a nuestro parecer, resultan lo más relevante. Obtenemos una representación simplificada de la realidad que la llamamos modelo.

Para formalizar nuestro proceso, recurramos a la descripción formal del sistema complejo de máxima expansión, que lo admitimos como la representación de la realidad completa:

$$\mathbb{S} = \langle \Omega; A_1, A_2, A_3 \dots, F_1, F_2, F_3 \dots \rangle$$

Anteriormente habíamos concluido en la imposibilidad física e intelectual de manejar la información completa de un sistema, por lo que se hace necesario representar este sistema real mediante un sistema cuyas dimensiones se ajusten mejor a nuestra capacidad de manejar su información.

Para restringir el dominio Ω al Ω_M de una ciencia o disciplina científica, a una parcela de la realidad o del conocimiento, necesitamos justificar las simplificaciones que debemos introducir a nivel de los componentes de Ω , de los A y de las F . Construimos, entonces, el sistema S_M que explica ciertos aspectos del comportamiento del sistema $\mathbb{S}$, aquellos que a juicio del analista o del experto haya identificado como importantes para el propósito preciso. Para facilitar la comprensión del comportamiento del sistema $\mathbb{S}$ nos servimos de la historia de mientras que para comprender la estructura nos es útil al teoría.

El proceso de construcción del modelo requiere de la introducción de una relación de modelaje $\mathfrak{R}_M$ de manera que podamos escribir que el modelo es un resultado del prototipo, esto es,

$$S_M = \mathfrak{R}_M S$$

o también,

$$S_M = \mathfrak{R}_M S (1 + \mathfrak{R}_M) \quad (5.1)$$

Formular esta relación de modelaje exige varias condiciones que las vamos a analizar. En primer lugar, el modelo S_M es construido sobre una temática específica $T_M \subset T$ de S , la misma que corresponde a un dominio $\Omega_M \subset \Omega$. El modelo es construido con un propósito específico O_M , el mismo que puede estar orientado a estudiar la teoría o la historia del sistema prototipo S . La teoría Υ del sistema S tiene que servir de respaldo fundamental del trabajo. A esta teoría tenemos que añadir las hipótesis de modelaje H_M y las hipótesis de coherencia H_C entre el sistema prototipo y el sistema modelo,

con lo que podemos escribir que la relación de modelaje $\mathfrak{R}_M$ es la tripleta $\langle S, T_M, O_M \rangle$.

Generalmente asociamos la noción de modelo con el esquema teórico de un sistema que se construye con la finalidad de facilitar la comprensión del sistema y el estudio de su comportamiento. En su acepción original, el concepto de modelo se deriva de la posibilidad de medir, sólo que en su evolución, la evaluación de un sistema no siempre es cuantificable debiendo contentarnos, en dichos casos, con una descripción cualitativa del comportamiento del modelo y su validación mediante contraste con la realidad.

En la continuación de nuestro trabajo, cuando hablemos de modelo estaremos haciendo referencia al esquema conceptual, susceptible de formularse matemáticamente, que interpreta o pronostica el comportamiento del sistema en el cual se desarrolla el fenómeno que nos interesa estudiar.

Para identificar las características que debe cumplir esta relación de modelaje, partiendo de la última igualdad escrita, debemos aproximarnos a ellas, de la manera siguiente:

5.1. Propiedades de los modelos

En tanto representación de una realidad producto del comportamiento de un sistema, los modelos deben reunir características que ilustren la confiabilidad de los resultados que podemos obtener de ellos. Entre estas características encontramos la temática del modelo, el objeto de las simplificaciones y del estudio mismo que vamos a realizar sobre él, la sensibilidad a las variaciones de las variables relevantes utilizadas para construir la descripción, la validez de los resultados alcanzados y la utilidad misma del modelo. Comencemos por señalar con un poco más de detalle estas características.

5.1.1. Temática del modelo

Corresponde al tema $T_M \subset T$ de la parcela del conocimiento Ω que estamos considerando. Para conseguir la simplificación correspondiente al sistema necesitamos incorporar las parcelas $\Omega_1, \Omega_2, \dots$ que contienen la teoría de modelaje relativa a Ω . Básicamente debe permitirnos formular el conjunto de hipótesis que facilitan salvaguardar la información, en cantidad y calidad, que nos interesa en el estudio.

5.1.2. Objeto del modelo

Clasificaremos nuestro interés por construir el modelo S_M en dos grandes temas:

1. Estudio del comportamiento del sistema S a través de las propiedades y relaciones consideradas importantes para el objeto del estudio, para lo cual es muy importante la historia del sistema. El modelo sirve esencialmente con propósitos de pronóstico y predicción;
2. Estudio de la estructura: lo importante será la teoría y servirá el modelo para profundizar el conocimiento del sistema.

5.1.3. Sensibilidad, validez y utilidad del modelo

La relación de modelaje debe permitirnos fijar los parámetros cualitativos y cuantitativos para decidir sobre la validez del sistema construido. Esencialmente podremos fijar los mecanismos de evaluación de la fidelidad con la que el modelo reproduce al prototipo. En algunos casos será conveniente incluir en estas entidades relevantes aquellas con las cuales caracterizaremos el esfuerzo necesario para utilizar y explotar el modelo.

5.2. Representación de los modelos

Hemos estudiado, hasta aquí, la descripción de los modelos, tanto desde el punto de vista de su estructura como de su historia y su comportamiento en general. En la época actual, tenemos que buscar representar los modelos de manera óptima para facilitar su procesamiento en ordenadores, máquinas calculadoras de alta velocidad y la transmisión de sus resultados por las diversas vías que las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación ponen a nuestra disposición. En esta sección, entonces, vamos a ocuparnos de las diversas maneras que tenemos de representar a los sistemas y sus modelos, comenzando por la representación bajo la forma de diagramas.

5.2.1. Diagramas

Hablemos, ya de una actividad de diseño de sistemas dado que la construcción de un diagrama nace de todo el estudio descriptivo bajo las diversas modalidades que han sido consideradas en los capítulos anteriores.

El diseño de un sistema tiene un fuerte componente de ingeniería que se basa en una representación de un sistema de naturaleza, de la vida o de la sociedad y de los objetivos que persigamos para elaborar esta representación: sea de conocimiento, de observación, de control, de intervención. Es importante, entonces, introducir un concepto de representación que, en esta ocasión la realizaremos a través de un diagrama en el cual deben, obligatoriamente, aparecer los elementos del sistema relativo a la tarea para la cual realizamos la representación. En este caso, el concepto subyacente de representación es de idea o imagen de una cosa que se tiene en la mente, para lo cual tenemos una pregunta previa: ¿Cómo nos hacemos de una idea?

Es necesario la aplicación de concepciones teóricas existentes en la representación del conocimiento así como la verificación experimental, para lo cual recurrimos a la hipótesis fundamental expresada por B.C.Smith y que dice:

Hipótesis 67 *cualquier proceso inteligente mecánicamente materializado será enmarcado por ingredientes estructurales tales que:*

1. a) *Nosotros, como observadores externos reaccionamos naturalmente para representar un registro proposicional del conocimiento que exhibe todo el proceso;*
- b) *Independientemente de esta atribución semántica externa, los ingredientes estructurales desempeñan un papel formal causal y esencial en la generación de la descripción del comportamiento de dicho conocimiento.*

Descompongamos esta hipótesis en tres componentes, para analizarla en relación con un sistema artificial e inteligente:

1. a) **Mecanicista**, *que postula la posibilidad de un proceso inteligente mecanizado;*
- b) **Transferencia de contenidos** *de conocimientos entre el hombre y el sistema;*

c) **Eficacia** *autónoma del sistema diseñado.*

En el caso de los sistemas basados en conocimientos, comúnmente conocidos como sistemas inteligentes y de los cuales se ocupa la inteligencia artificial, el concepto estricto de sistema simbólico, inteligente y autónomo como esquema regulador, no puede ser aplicado, quedando para tal propósito la segunda hipótesis que propone la transferencia de conocimientos entre el hombre y el sistema, por lo que se hace necesario proponer una repartición de tareas.

5.3. Concepción del sistema

La concepción del sistema tiene mucho en común con el proceso de la investigación científica. Así, iniciamos preguntándonos *¿cuál es el problema?* o, de manera más general, *¿de qué se trata?*. En el proceso de análisis deberá emprenderse acciones tendientes a construir respuestas a la segunda pregunta que resulta ser la clave

Esta actividad hace intervenir dos operadores: uno de partición, que lo llamaremos P y otro de visión, que lo identificaremos como V . El operador P selecciona una entidad bajo una visión que debemos precisar.

Ninguno de los tres elementos que participan en el proceso puede ser caracterizado aisladamente de los otros dos y todos lo son en la relación.

Según Peirce, "la moderna lógica exacta muestra que cada operación de razonamiento deductivo consiste en las cuatro etapas siguientes: primero, un diagrama o imagen visual, que puede estar conformada por líneas, como una figura geométrica, o un arreglo de signos, como una fórmula algébrica, o de naturaleza mixta, como un grafo se construye, de manera de ser materializado mediante una forma de ícono, el estado de las cosas enunciado en la premisa.

Llamaremos E al escenario en el cual opera la cupla (P, V) . M es la entidad producida.

E pertenece a la categoría de lo que Peirce llama *un posible* y el solo hecho de referirse a él le transforma en una entidad, esto es, de posible en existente.

5.4. Modelo perceptual

Construido al unir la imagen sensorial percibida a través de los sentidos, con los conceptos de que dispone la persona o la colectividad que recibe los estímulos, este modelo permanece interiorizado en el ser humano y es necesario socializarlo como parte del proceso de difusión, de convalidación y utilización.

5.5. Modelo lingüístico

Corresponde al primer nivel de socialización del conocimiento la difusión del modelo interiorizado mediante una herramienta de comunicación, la que se construye con símbolos gráficos o sonoros entre los que señalamos los alfabetos y el lenguaje oral corriente, poco formal que utilizamos en nuestras actividades diarias. Generalmente este tipo de modelo es descriptivo y tiene un alto componente cualitativo.

5.6. Modelo conceptual

Cuando disponemos de conceptos aceptados, claros y precisos, estamos en condiciones de construir los modelos conceptuales. Son típicos de esta clase de modelos los modelos físicos y los analógicos contruidos con base en similitudes identificadas entre los conocimientos disponibles sobre el sistema en cuestión y de sistemas de diversa naturaleza en los cuales ocurren procesos que presentan características que pueden ser consideradas semejantes, con un cierto nivel de tolerancia.

5.7. Modelo matemático

Un modelo matemático es una descripción de la realidad para poder aplicar herramientas matemáticas, sus técnicas y sus teorías y poder traducir los resultados obtenidos en pronósticos u operaciones, en el mundo real.

No existe un modelo único para un sistema. El modelo está siempre encadenado a lo que se quiere hacer con él, a lo que se quiere observar, a lo que

se quiere resaltar. E inclusive, una vez que el objetivo ha sido fijado se puede construir diversos modelos, todos ellos válidos.

En todo modelo matemático es necesario seleccionar el espacio matemático respecto al cual vamos a describir el fenómeno, su conjunto de procesos. El espacio matemático no puede ser nunca identificado con el mundo real. Así, por ejemplo, podemos sentirnos cómodos de utilizar un espacio tridimensional euclideo, o un espacio curvo, o un espacio de Hilbert. Y todas las descripciones que consigamos construir son perfectamente compatibles y válidas, más o menos adaptadas a los diversos casos en estudio. Pero siempre tendremos en cuenta que los objetos que estamos manejando no dejan de ser modelos, por más sofisticadas que sean las descripciones matemáticas que consigamos.

La versatilidad de los modelos matemáticos es tan grande que podemos construir modelos que se comporten desde el modelo hacia la realidad. Su característica fundamental consiste en su capacidad para pronosticar, por lo que hablamos de modelos predictivos, en los cuales las variables conocidas, aquellas que explican el fenómeno van a ser utilizadas para calcular las incógnitas, conocidas también como variables explicadas.

En el otro sentido, los modelos matemáticos pueden servir para representar datos históricos. Hablamos, entonces, de modelos descriptivos cuyo objetivo es hacer interpretables los datos de que disponemos sobre el comportamiento del sistema.

Debemos señalar que los dos tipos de modelos, los predictivos y los descriptivos, se encuentran idisolublemente ligados puesto que un buen pronóstico supone al menos una buena caracterización de la situación pasada y de la actual del sistema, es decir una buena descripción. Debemos siempre poner atención en que una buena descripción no serviría para nada si al menos no se elabora una buena evaluación de la situación, determinando una línea base y determinando un estado que resulte bien conocido.

5.8. Modelo numérico

Generalmente es muy difícil o imposible calcular una solución exacta al problema planteado como resultado de la formulación del modelo matemático. En este caso recurrimos a buscar calcular una solución aproximada, para lo cual existen diversas maneras de abordar el problema. Así, si el modelo matemático disponible consiste en un sistema de ecuaciones diferenciales en

derivadas parciales, hecho muy común en el caso de construir la descripción de los fenómenos que ocurren en los sistemas de la naturaleza, entonces procedemos a discretizar el dominio de definición del problema, operación que consiste en transformar el espacio continuo en el cual está definido el problema en un espacio discreto en el cual podemos construir funciones aproximadas en un cierto rango de tolerancia. Los métodos clásicos que se aplican pueden partir de un desarrollo de las funciones en series de Taylor o de una formulación conocida como de los residuos ponderados en la cual buscamos, mediante la formulación de un producto escalar entre una función residuo y una función de ponderación seleccionada de manera particular, construir métodos como los de colocación, mínimos cuadrados, de elementos finitos, o llegar, aún, a métodos sofisticados como son los conocidos como elementos de frontera. De todas maneras llegamos a construir modelos que involucran operaciones aritméticas más simples de manejar que los complicados métodos de cálculo de soluciones de problemas con valores iniciales y con valores en los límites.

Cuando la descripción del fenómeno se realiza mediante tablas numéricas, incluidas series temporales, es común recurrir a herramientas estadísticas que han demostrado su valor en aplicaciones precedentes. Los resultados así obtenidos, sin embargo, tienen que ser interpretados con criterios que se los adquiere a través de la práctica y de la aplicación consecutiva de los mismos, además de un conocimiento profundo del sistema y de su comportamiento.

Técnicas recientes basadas en herramientas informáticas van difundándose cada vez más. Entre ellas se distinguen las construidas mediante modelos de inteligencia artificial, particularmente las redes neuronales artificiales y los algoritmos genéticos, así como técnicas de data mining y data warehouse.

5.9. Modelo digital

Sin embargo de las simplificaciones aportadas por los modelos numéricos, la dificultad que encontramos en el procesamiento de la información a este nivel consiste en la carga de operaciones numéricas a realizar. Felizmente el desarrollo de las computadoras, de los lenguajes de programación y diseño de algoritmos nos permiten trasladar este trabajo pesado a las máquinas.

5.10. Otros tipos de modelo

Esencialmente tenemos que distinguir en este rubro a los modelos reducidos, los cuales buscan reproducir rasgos típicos del comportamiento de los sistemas mediante el establecimiento de semejanzas geométricas sobretodo que ayudan a levantar construcciones aptas para la observación de los fenómenos. Casos frecuentes, sobretodo para el estudio de problemas complicados, los encontramos en el dominio de las obras hidráulicas, las estructuras y otras.

En los últimos tiempos se han desarrollado modelos orientados a la Economía, con los cuales vamos logrando darle un carácter experimental a la disciplina. Estas herramientas que las hemos agrupado bajo la denominación de Laboratorio de Economía Experimental, nos han permitido realizar verdaderas experiencias del comportamiento de ciertos fenómenos económicos utilizando herramientas de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación (nTICs).

Aceptemos como válido el principio general de la Ciencia que establece que los modelos de las leyes naturales deben ser consistentes con la realidad. Bajo este principio, la convalidación de los modelos exigen contrastarlos con datos experimentales o datos observados.

Capítulo 6

Estados de un sistema

Hemos señalado anteriormente que resulta imposible describir de manera completa y permanente los estados por los que atraviesa un sistema. Simplifiquemos nuestra presentación diciendo que a cada rasgo característico del comportamiento de un sistema podemos asociarle una variable que podamos observar. Algunas podremos medirlas y otras no. Entonces, si queremos registrar el valor que cada una de las variables toma en cada instante, la cantidad de información que podemos acumular es significativa, imposible diría de organizar. Entonces nosotros tenemos que seleccionar de todas las variables un número finito de ellas, la que verdaderamente nos interese observarlas y que correspondan a lo que queremos conocer o pronosticar del comportamiento del sistema. A estas les llamaremos las variables relevantes. De tal manera que, en un instante dado podremos escribir que

$$E^t = [e_1^t, e_2^t, \dots, e_n^t]; n < \infty$$

Entonces, podemos construir el registro de estados del sistema, de manera que

$$E = \begin{bmatrix} e_{1,1} & e_{1,2} & \cdot & \cdot & \cdot & e_{1,n} \\ e_{2,1} & e_{2,2} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ e_{3,1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ e_{m,1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & e_{m,n} \end{bmatrix}$$

Resulta interesante, para nosotros, conservar como variables relevantes

aquellas que susceptibles de medición, porque podemos cuantificar su valor para crear la descripción del estado del sistema.

6.1. Medir: significado e importancia

La necesidad de medir ha sido, desde siempre, factor imponderable del desarrollo del pensamiento humano y, también, de la creación de herramientas de uso diario que han facilitado las relaciones entre individuos y entre grupos humanos.

Dos nociones son fundamentales para entender lo que significa medir: magnitud y medida. La magnitud se caracteriza porque puede ser medida. En los cuerpos, la longitud, la superficie, el volumen, la energía interna, la energía cinética y la energía potencial son magnitudes, entre otras que podemos enumerar.

La medida, como acción y efecto de medir, consiste en comparar una magnitud con otra del mismo orden y que constituye la unidad de medida.

Determinamos, así, la cantidad de la magnitud comparada respecto a la unidad de medida, la misma que puede ser expresada como un número, que nos indica cuántas veces la unidad de medida está contenida en la magnitud estudiada. Entonces, a cada magnitud le corresponde un número que le mide y que depende de la unidad de medida.

Cuando describimos el comportamiento de un sistema, de la naturaleza, de la vida o de la sociedad, buscamos las magnitudes que nos permitirán hacerlo de la manera mas fidedigna. Aquellas propiedades o atributos que no pueden ser medidas complementan la descripción de manera cualitativa. Generalmente las magnitudes están asociadas a leyes y principios establecidos a partir de la observación y de la verificación de los fenómenos observados.

Estas leyes y principios establecen relaciones entre los números que describen las magnitudes. Las diferentes disciplinas científicas se ocupan de aspectos específicos del comportamiento de los sistemas. El análisis integral de ellos es el objeto y sujeto de la teoría de sistemas mientras que las cifras, los números y las relaciones entre ellos constituye el campo de acción de las Matemáticas. Se construye, entonces, un esquema complementario entre la Teoría de Sistemas y las Matemáticas, con base en el cual avanza y progresa nuestro conocimiento sobre la realidad.

6.2. ¿Con qué precisión medimos?

La respuesta a esta pregunta depende de nuestro propósitos : si lo que pretendemos es profundizar nuestro conocimiento sobre el fenómeno que ocurre en el sistema en estudio, entonces buscaremos minimizar el error dentro de los límites de nuestras capacidades, esto es, dependiendo de la sofisticación de los medios y herramientas de observación y de adquisición de los datos, de la calidad y de la capacidad de análisis e interpretación y de elementos específicos y particulares que pueden surgir en cada caso.

En cambio, cuando queremos proyectar la descripción obtenida, con el fin de pronosticar el comportamiento del sistema hacia escenarios distintos a los empleados en la generación de conocimientos, las medidas y la adquisición de datos deberá encontrarse en los intervalos de tolerancia que permitan evitar consecuencias no deseadas.

En la práctica, cuando de medir se trata, necesitamos construir una escala referida a la unidad de medida y que dependa de la magnitud estudiada. No es lo mismo medir distancias cuando se trabaja en la microelectrónica que cuando se lo hace en astronomía.

De todas maneras, es esencial tener una idea del error, no tanto su magnitud absoluta sino más bien su importancia respecto al cálculo que realizamos.

Sea A el valor exacto de la medida de una magnitud y a el valor aproximado. Entonces

Definición 68 *El error absoluto ε es la diferencia entre el valor exacto A y el valor aproximado a ,*

$$\varepsilon = a - A$$

Este valor puede ser referencial. Lo importante es conocer números superiores al error absoluto que los llamamos cotas del error. Así, entonces, sea E la cota superior. El valor absoluto está encuadrado en el intervalo $a + E, a - E$, con lo que podemos escribir

$$a - E < A < a + E$$

Llamamos error relativo de un número aproximado el cociente entre el error absoluto dividido para el valor verdadero

$$\varepsilon_r = \frac{a - A}{A}$$

A pesar de todas las reglas prácticas que pueden ser enunciadas, la mejor manera y la mas segura de evaluar una aproximación y determinar si ella es la mejor posible es aplicando las leyes de la monotonía.

Sean A y B dos valores exactos con los cuales queremos operar. Sean, también, a, a', b, b' sus valores aproximados. Entonces tenemos

$$\begin{aligned} a &\leq A \leq a' \\ b &\leq B \leq b' \end{aligned}$$

con los cuales y suponiendo que operamos con números positivos, el resultado entre A y B se enmarcará de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} a + b &\leq A + B \leq a' + b' \\ a - b &\leq A - B \leq a' - b' \\ ab &\leq AB \leq a'b' \\ \frac{a}{b} &\leq \frac{A}{B} \leq \frac{a'}{b'} \end{aligned}$$

con lo cual podemos asegurar que los decimales comunes a los dos términos extremos son cifras verdaderas del resultado exacto.

6.2.1. Medir en los sistemas de la Naturaleza

En el desarrollo del pensamiento científico, la Física es la disciplina científica que mayores beneficios ha obtenido de las Matemáticas. La Física estudia los fenómenos y las interacciones que se observan en la naturaleza. Su objetivo es representar y construir una clasificación natural del conjunto de leyes experimentales, para lo cual es necesario manejar un gran número de proposiciones que deben encadenarse en un orden lógico perfecto. La Aritmética y su prolongación, el Álgebra, cuyos conocimientos tienen tal grado de perfección que usándolas se hace fácil evitar los errores y detectar aquellos que se hubiesen cometido, proporcionan las herramientas que permiten pasar del conocimiento teórico de la Física a la descripción matemática de los fenómenos, proceso que consiste en identificar la manera cómo un atributo de la materia puede expresarse como un número; es decir, conseguir que el atributo que pertenece a la categoría cualitativa deje de pertenecer a ella y pase a hacer parte de la categoría cuantitativa. El atributo tiene que ser una magnitud.

Pensemos en varios segmentos de recta que tienen diferentes longitudes. Las primeras nociones que encontramos son dos: la de longitudes iguales y la de longitudes desiguales. Podremos, entonces afirmar que:

1. Dos longitudes iguales a una tercera, son iguales entre sí;
2. Si una longitud sobrepasa a una segunda y si ésta es mayor que una tercera, entonces la primera longitud es mayor que la tercera.

Podemos introducir, entonces, los símbolos correspondientes a la igualdad: " $=$ ", a la desigualdad: mayor que " $>$ " y menor que " $<$ ", de la siguiente manera:

Caso 69 *Sea dos segmentos de longitudes a y b respectivamente. Si las longitudes de los dos segmentos son iguales, entonces podremos escribir que $a = b$.*

Caso 70 *Supongamos, ahora, que la longitud a es mayor que la longitud b . Entonces escribiremos $a > b$. Este caso puede expresarse, también, como que la longitud b es menor que a y escribiremos, entonces, $b < a$*

Esos símbolos tienen las propiedades siguientes:

1. **Las igualdades:** si $a = b$ y $b = c$, entonces $a = c$.
2. **Las desigualdades:** si $a > b$ y $b > c$, entonces $a > c$.

Supongamos, ahora, que tenemos varios segmentos de recta cuyas longitudes son $a, b, c, \dots$. Coloquemos estos segmentos unos a continuación de otros. Entonces, constataremos que:

Si s es la longitud del segmento obtenido colocando uno a continuación de otro, entonces:

1. la longitud s es mayor que cualquiera de las longitudes $a, b, c, \dots$ de los segmentos de partida;
2. la longitud s del segmento total no varía si cambiamos el orden de ubicación de los segmentos originales;
3. la longitud s del segmento total no varía si agrupamos varios segmentos de partida y reemplazamos la longitud de todos ellos por la longitud del segmento obtenido de la agrupación.

Representemos la acción de colocar los segmentos de partida, uno a continuación del otro y obtener la longitud s del segmento total mediante el símbolo "+". Podemos, entonces escribir que

$$s = a + b + c + \dots \quad (6.1)$$

Supongamos que tenemos sólo tres segmentos cuyas longitudes son a, b, c . Para decir que la longitud total s es mayor que cualquiera de los segmentos, diremos que

$$a + b > b \quad (6.2)$$

$$a + b > a \quad (6.3)$$

$$a + c > c \quad (6.4)$$

$$a + c > a \quad (6.5)$$

El hecho de que al variar el orden en que coloquemos los segmentos de partida no cambia la longitud total del segmento obtenido lo describimos mediante la igualdad

$$a + b = b + a \quad (6.6)$$

Finalmente, la agrupación de segmentos de partida para reemplazar las longitudes de éstos por la longitud del segmento agrupado la describimos así:

$$a + b + c = (a + b) + c = a + (b + c) = (a + c) + b \quad (6.7)$$

Esto es todo lo que podemos hacer en Aritmética. Las reglas para combinar números se pueden traducir en operaciones sobre longitudes. Así, si ponemos uno a continuación del otro, dos segmentos de igual longitud a , entonces podremos escribir

$$s = a + a = 2a \quad (6.8)$$

y si tenemos n segmentos en igual circunstancia, entonces diremos que

$$s = na \quad (6.9)$$

Esta última extensión de las propiedades de las operaciones aritméticas es el punto de partida para medir longitudes puesto que nos permite medir la longitud de un cierto segmento en función de una longitud estándar establecida como unidad. Las longitudes de algunos segmentos coincidirán con un

número entero de veces de longitudes unitarias, mientras que en otros casos quedará una fracción, la cual podemos expresarla como una fracción de la longitud unidad.

Es así, entonces, como la adición simbólica $a + b + c + \dots$, con la cual hemos representado la operación de colocar uno tras de otro los segmentos de partida será representada mediante una verdadera suma aritmética referida la unidad de longitud establecida.

6.2.2. ¿Y en los sistemas de la sociedad?

La complejidad de los sistemas de la sociedad ha permitido abrir vertientes de progreso tanto desde el punto de vista conceptual como desde el punto de vista cuantitativo, puesto que si bien la posibilidad de cambiar de categoría, de la cualitativa a la cuantitativa, de algunos atributos de los sistemas permite mejorar el conocimiento de los fenómenos y de los sistemas en los cuales ocurren, no es menos cierto que la conceptualización constituye un recurso fundamental en la generación de conocimientos.

Anotemos que el progreso científico y tecnológico ha permitido desarrollar mecanismos y herramientas de observación de alta sofisticación para los sistemas de la naturaleza y para los sistemas de la vida, mientras que su desarrollo es todavía incipiente para observar los fenómenos que ocurren en la sociedad, sobre todo en la sociedad humana.

6.3. Relaciones

Las magnitudes identificadas en un proceso de observación pueden permanecer constantes o puede variar de alguna manera. Aquellas magnitudes que varían pueden tomar valores de manera independiente en un conjunto de valores bien definido. Las otras magnitudes tomarán valores que dependerán de los valores que tomen las variables independientes. Queda, así, establecidas las nociones de constantes, de variables dependientes y de variables independientes, las mismas que dependen de las condiciones y circunstancias en las que se realice la observación.

De todas maneras tenemos que resaltar que la clasificación en constantes y variables no es definitiva.

En algunos casos unas magnitudes permanecerán constantes y otras tendrán un comportamiento variable; en otros casos otras magnitudes per-

manecerán constantes y las otras serán variables. En todo caso tendremos en cuenta que las magnitudes variables pueden tomar valores en un intervalo definido que depende de la naturaleza del fenómeno.

Insistamos en que la característica diferencial mas importante de las variables independientes es que, para cada una de ellas, existe un conjunto de valores dentro del cual pueden tomar sus valores y que podemos asignar a ella cualquiera de los valores que pertenecen a este conjunto. En general, en todos los fenómenos observados, cada variable dependiente depende de más de una variable independiente.

Llamemos X al conjunto de variables independientes, que pueden incluir el tiempo, Y es una variable que depende de x . Si existe una relación funcional f entre las variables x e y podemos escribir que:

$$y = f(x)$$

de manera que diremos que una magnitud Y es una función de las variables independientes X si para cualquier subconjunto $X_0 \subset X$ corresponde en valor determinado de Y .

Para construir la relaciones funcionales entre Y y X existen tres procedimientos:

1) Analítico cuando las magnitudes están, relacionadas entre si mediante ecuaciones en las cuales ellas figuran aplicando las diversas operaciones matemáticas. Este procedimiento es común cuando estudiamos el fenómeno desde el punto de vista teórico partiendo de las hipótesis principales y obteniendo los resultados bajo una forma de fórmula matemática.

2) Tablas : En la práctica, la adquisición de datos no se realiza de manera continua. Obtenemos valores de las variables dependientes un número considerable para finito de valores de las variables independientes. Con estos valores continuamos tablas que forman parte de la descripción del fenómeno. Muchas veces sucede que necesitamos conocer los valores de las variables dependientes en un subconjunto de valores de las variables independientes que no coinciden con alguno de los subconjuntos empleados en la adquisición de datos ; entonces recurrimos a una herramienta numérica que consiste en interpolar entre los valores que si constan en la tabla. Toda investigación experimental que quiere encontrar las relaciones funcionales entre las magnitudes utilizada para descubrir el fenómeno, se expresa como tabla de valores.

El mercado petrolero presenta componentes distintos en la comercialización de crudo a nivel internacional y en la comercialización de derivados

en el mercado interno. Así, podemos describir el comportamiento del mercado internacional en relación al crudo Oriente, que es el que exporta el Ecuador, mediante los precios promedio anuales. Para la década del 90, que cubre desde el año 1990 hasta el 2000, estos precios son los que constan en la tabla 1.

Año	Precio	Año	Precio
1990	20,32	1996	18,04
1991	16,016	1997	15,51
1992	16,089	1998	9,15
1993	14,42	1999	15,12
1994	13,68	2000	24,92
1995	14,83	2001	18,85

Tabla 1.- Precios del crudo Oriente en el mercado internacional entre los años 1990 y 2000

3) Gráficos: Siempre que el número de variables a representar no pase de tres, es posible describir el comportamiento del sistema o del fenómeno mediante un gráfico. Comencemos, para describir el procedimiento, construyendo la presentación gráfica de una variable, el procedimiento es el siguiente:

- Escoger la longitud del segmento que representará la unidad de valores de la magnitud que queremos representar. Esto significa que cualquier magnitud puede ser representado por un número o por un segmento. Para el caso del ejemplo uno podemos decir que cada dólar será representado por un segmento de $2mm$ de longitud.
- Dibujar un segmento de recta en el cual señalamos un origen O y un sentido de variación positiva de los valores que vamos a representar.
- Señalar sobre el eje dibujado, el punto que corresponde al valor que queremos representar. El segmento que representa el valor en mención tendrá una longitud proporcional a la longitud del segmento unidad y proporcional al valor de la magnitud. Por convención, señalamos esta longitud en el sentido del eje si el número es positivo y en sentido contrario el número es negativo.

Supongamos que queremos representar la variable X en el intervalo cerrado $[a, b]$. Entonces, cada uno de los valores de X : $X_i \in (a, b)$ puede ser representado por un segmento de recta ubicado a partir del origen O y orientado según el signo del mismo. Así, si $x > 0$, el gráfico corresponde a la figura 1.

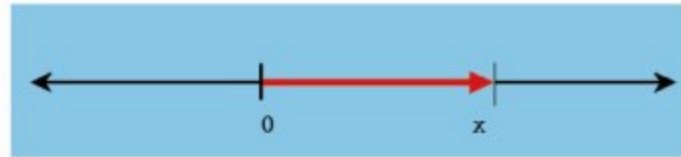


Fig. 1.- Representación gráfica del segmento de recta cuando $x > 0$

Si, por el contrario, $x < 0$, entonces la representación gráfica coincide con la fig 2.



Fig. 2.- Representación gráfica del segmento de recta cuando $x < 0$

Ahora bien, podemos representar dos magnitudes en un mismo gráfico. Para hacerlo construimos un referencial con dos ejes, que van a representar las magnitudes, ortogonales. Llamemos a una magnitud X y a otra Y . Colocaremos, entonces, los valores de X y de Y en los ejes respectivos, con lo cual obtendremos una representación gráfica conocida como representación cartesiana, tal como lo muestra la fig 3.

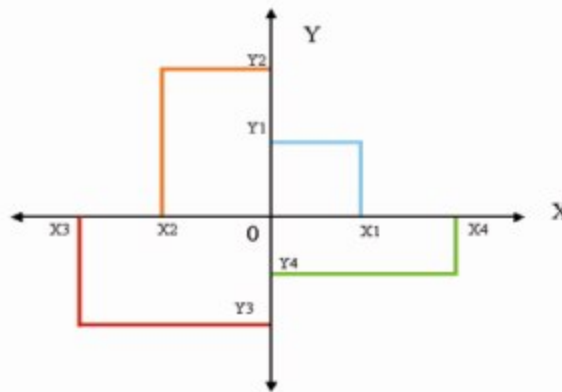


Fig. 3 Representación gráfica de pares de puntos en el plano cartesiano.

El origen se encuentra ubicado en la intersección de los dos ejes. Los valores vendrán contruidos con los pares $(x_i, y_i), i = 1, 2, 3, \dots$

La representación gráfica es fácil de construir con ejes ortogonales hasta cuando tenemos tres magnitudes a representar. En este caso, los datos vienen arreglados en tripletas $(x_i, y_i, z_i), i = 1, 2, 3, \dots$ y el gráfico que obtenemos se parece al de la fig 3.

Volvamos al caso de la representación gráficas de dos magnitudes entre las cuales existe una relación funcional de la forma analítica $Y = f(x)$

Supongamos que en el plano Oxy las magnitudes (x, y) son representadas por el punto $M = M(x, y)$. Como existe una relación funcional entre las magnitudes (x, y) entonces, si hacemos variar X , para cada valor $X \in [a, b]$ existe un valor correspondiente de Y . Lo que significa que, en la representación gráfica, a cada par de valores (x, y) corresponde una posición del punto M en el plano Oxy . Si hacemos variar estos valores el punto M se desplazará describiendo, en su movimiento, una curva que corresponde a la representación gráfica de la relación funcional en cuestión. Esta representación la llamaremos, simplemente, gráfico de la función.

La forma analítica $Y = f(X)$ es la ecuación de la curva. También podemos escribir la relación funcional como una forma analítica implícita. $F(x, y) = 0$

De tal manera que todos los puntos cuyas coordenadas verifican las ecuaciones $y = f(x)$ o $F(x, y) = 0$ se encuentran en la curva de la ecuación. Cuando el caso lo requiera, podemos definir uno o varios ejes ortogonales en valores logarítmicos, exponenciales u otras escalas, según nuestras propias necesidades.

Así, los valores del precio promedio del crudo Oriente en el mercado internacional entre los años 1990 y 2000 es el que se encuentra en la Tabla 1. En el gráfico de la fig. 4 presentamos el gráfico correspondiente a estos datos:

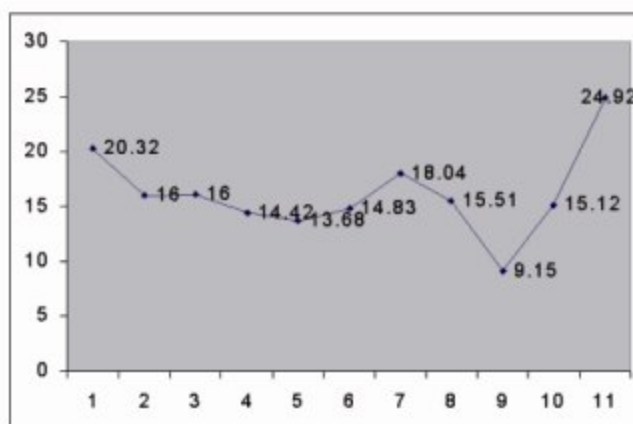


Fig. 4.- Representación gráfica de la evolución del crudo Oriente en el mercado internacional entre los años 1990 y 2000.

Resumiendo, cuando observamos un fenómeno o el comportamiento de un sistema, identificamos un conjunto de magnitudes que nos servirán para explicar nuestra observación.

Si la observación la realizamos con una variable independiente, digamos que $X = \{x_i \mid i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ es el conjunto de n puntos definidos en el intervalo $[a, b] \in \mathbb{R}$ a cada uno de los cuáles podemos asociar un valor $y_i \in \mathbb{R}$ medido en una experiencia o en una observación. Llamamos G al conjunto de los pares (x_i, y_i) , esto es:

$$G = \{(x_i, y_i) \mid x_i \in \mathbb{R}\} \quad (6.10)$$

Supondremos, además que esta medición no puede realizarse fuera del intervalo $[a, b]$.

Entonces, la descripción la podemos elaborar mediante la elaboración de tablas y gráficos, buscando la relación funcional entre las variables. Es de este último procedimiento que vamos a ocuparnos en adelante, buscando

una función $p \in P$, fácilmente calculable y que describa el fenómeno o el comportamiento con suficiente fidelidad.

Tendremos, así, que:

$$P = (x_i, p_i) x_i \in X \quad (6.11)$$

Podemos abordar el problema desde dos puntos de vistas diferentes:

- Si escogemos el tipo de función $p \in P$ que queremos encontrar e imponemos la condición $G = P$ es decir

$$(x_i, y_i) = (x_i, p_i) \quad (6.12)$$

El problema así formulado es el de **interpolación**.

- Si una vez que escogemos el tipo de función $p \in P$ y definimos una distancia d entre G y P , entonces buscamos la función p tal que la distancia entre G y P sea mínimo, entonces el problema que se obtiene con este segundo enfoque es un problema de **aproximación**.

Capítulo 7

Casos prácticos

Convengamos en que la utilidad de una teoría sólo se puede constatar cuando la llevamos a la práctica. En este sentido, el capítulo que desarrollamos en las páginas siguientes tiene especial interés y vamos a tratar de desarrollarlo de manera ilustrativa.

7.1. Planificación mediante juego de escenarios

Este caso es motivo de un estudio detallado que se encuentra actualmente en elaboración bajo el título *Planificación estratégica utilizando escenarios* y cuyo propósito es describir el juego de escenarios aplicando la teoría general de sistemas. El proceso se basa en considerar que se trata de un sistema de la sociedad en el que las fuerzas a las que se encuentra sometido el sistema actúan a través de actores individuales y colectivos. Su comportamiento es descrito mediante un conjunto de variables relevantes las mismas que se las puede observar a través de sus cualidades o se las puede medir, cuantificándolas lo que permite realizar un procesamiento numérico probabilístico o determinístico.

En el caso de la descripción cualitativa, las preferencias individuales y colectivas de quienes describen el comportamiento de las variables observadas puede incrementar la incertidumbre de la información.

El segundo elemento importante del sistema es la información que se genera y se usa al interior del proceso o proviene de su entorno y nos sirve para identificar los diferentes estados del sistema a través del conjunto de

variables relevantes identificadas como tales.

Completan el conjunto de elementos del sistema, tres animadores: el técnico, especialista en análisis y manejo de información, el animador de metodología y el animador técnico que es quien establece los procesos de tratamiento de la información a aplicarse.

Los flujos de información, de decisiones y de acciones generan necesidades de planificación, organización y operación de los procesos.

Las relaciones que se pueden establecer en un juego de escenarios se sintetizan en la tabla siguiente:

ACTORES	1 Individuo	2 Colectividad	3 Secretaria técnica	4 Moderador técnico	5 Moderador Prospectiva	6 Moderador Método	7 Información
1 Individuo	i	i	i	i	i	i	ai
2 Colectividad	i	i - ai	i	i	i	i	ai
3 Secretaria técnica	i	i	ai	i	i	i	ai
4 Moderador técnico	i	i - ai	i - ai - id	i - ai	i	i	ai - fa
5 Moderador Prospectiva	i	i	i	i - ai - id - fa	i - ai - id - fa	i - ai - id - fa	ai - fa
6 Moderador Método	i	i	i	i - ai - id - fa	i - ai - id - fa	i - ai - id - fa	ai - fa
7 Información	i	i	i	i	i	i	i

Tabla 1: Relaciones y funciones que existen o se pueden establecer entre los elementos del sistema S_e juego de escenarios.

en la que hemos utilizado el siguiente código:

Código	Descripción
i	Intercambio de información
ai	Análisis de información
id	Intercambio de decisiones
fa	Flujo de acciones

El juego de escenarios comienza con una descripción de la situación actual y la identificación de elementos que no están, todavía, bien conocidos, y sobre los cuales se busca explicaciones satisfactorias. En una segunda etapa, se llega a establecer consensos acerca de la situación futura, deseada. El juego se desarrolla mediante la expresión de preferencias que cada actor tiene por cada uno de los cursos de acción propuestos.

7.2. Sistemas de Ingeniería

Una de las áreas más beneficiadas con el desarrollo de los modelos de sistemas ha sido la Ingeniería. En efecto, la construcción de modelos, su concepción, definición, realización y operación responden a las necesidades de la sociedad y a la capacidad de la misma para generar respuestas a los problemas planteados.

Los modelos, desde el punto de vista conceptual, pueden ser considerados como una rama de la Lógica Matemática. Los esfuerzos para desarrollarlos se han visto alimentados por contribuciones importantes de investigadores como Ax, Rudin, Zariski y toda una pléyade de algebristas quienes han trabajado en el establecimiento de las bases formales de la Teoría de Modelos. Vale la pena resaltar los esfuerzos de René Thom quien reflexiona desde el antropomorfismo con referencias recurrentes sobre la obra de Platón y Aristóteles. Thom afirma que la Filosofía es el camino de quien busca comprender para vivir y no sólo para aumentar su conocimiento.

La concepción y la sofisticación de los modelos depende, en mucho, de la realidad del entorno y podemos afirmar, sin temor a equivocarnos, que en los países desarrollados los modelos hacen parte de las herramientas que permiten argumentar los procesos de toma de decisiones en casi todas las áreas del pensamiento humano. Así, a la hora actual se cuenta con modelos altamente confiables para entender los procesos ligados al comportamiento del océano mundial. Las nuevas teorías de la física se apoyan, también, en modelos sobretodo matemáticos para consolidar el conocimiento sobre las mismas. Modelos de ordenamiento urbano, de uso del suelo, de aprovechamiento de recursos naturales y otros constituyen herramientas idóneas para profundizar el conocimiento sobre los procesos y los sistemas que los alojan.

Particularmente en América Latina, la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Chile reseña una serie de trabajos de gran interés y aplicabilidad en nuestro medio.

Así, en las diversas especialidades se han desarrollado herramientas tanto conceptuales como digitales que contribuyen a un mejor análisis de las situaciones y una argumentación razonable en los procesos de toma de decisiones. Así, en ingeniería de transporte se han desarrollado recientemente modelos para explicar el proceso de incorporación de tecnologías en la estructura de la industria, mostrando las razones técnicas por las cuales conviene expandir la red en economías de alcance y no en economías de escala.

También se han desarrollado modelos orientados a explicar el comportamiento del usuario del transporte durante el viaje y los tiempos asignados a las actividades. Este constituye la base inicial para la construcción de modelos de unión, mas conocidos como *joint models*, a partir de los cuales se ha construido métodos para evaluar el costo subjetivo de los tiempos de duración de los viajes.

Con un enfoque econométrico se han explorado estructuras acopladas del Logit Mixto con un acercamiento continuo-discreto para confrontar los desafíos propuestos por el modelo de unión para el área de demanda de transporte.

Varios modelos de equilibrio urbano se cuentan entre las herramientas desarrolladas para estudiar los problemas de uso del suelo, asumiendo que todos los agentes, asociados a la demanda y a la producción, se comportan de manera estocástica, como un sistema de Logit Multinomial.

Los problemas de optimización.equilibrio, también han sido tratados desde el punto de vista de los modelos. Este tipo de modelos se han orientado hacia las interrogantes planteadas por el bienestar tales como la descentralización de los puntos óptimos de Pareto en los casos de economías no convexas. Otros modelos se relacionan con la estabilidad de los equilibrios de Nash y de Walras.

En el dominio de la ingeniería forestal, los modelos creados se refieren a cosecha con restricciones espaciales.

Otro dominio de fructífero desarrollo constituye el de las organizaciones. Nuevos métodos de evaluación institucional comienzan a aparecer, todos ellos basados en métodos y procedimientos argumentados desde el concepto hasta la realización digital. Los modelos matemáticos ganan terreno cada vez más como herramientas útiles en el quehacer diario, incluyendo el de las comunicaciones, los multimedia, la diversión y muchas otras áreas de interés.

Cerremos esta reflexión invitando a pensar sobre las tendencias del desarrollo de los sistemas. Indudablemente que seguirá alcanzándose logros cada vez mayores en el quehacer humano.

Bibliografía

- [1] Bachelard, G.- *Essai sur la connaissance approchée*, Vrin 1928.
- [2] Bachelard,G; *Le nouvel esprit scientifique*, PUF 1971
- [3] Bachelard,G; *Le rationalisme appliqué*, PUF 1970
- [4] Bachelard,G; *Le matérialisme rationnel*, PUF, 1972
- [5] Bachelard,G; *La psychanalyse du feu*, Gallimard, 1949
- [6] Bachelard,G; *La valeur inductive de la relativité*, Vrin 1929
- [7] Bush,M; *Psycho-analysis and Scientific Creativity* in Bernice T. Eidusson et Linda Beckmann (éd), *Science as a Career Choice*, N. Y., Russel Sage Fond. 1973, pp. 243-257
- [8] Bunge, M. *La investigación científica*.-Colección Convivium. Ariel, España, 1981
- [9] Bunge, M; *Sistemas sociales y filosofía*;Editorial sudamericana; Buenos Aires, 1995
- [10] Bunge, M. *El enfoque sistémico*.- Primer congreso Internacional en Ciencias de Sistemas y Tecnología.- PUCE.- Quito.- 2005
- [11] Chaplais,F.- *Théorie algébrique des systèmes linéaires st ationnaires multivariables*.- Centre d'Automatique de l'École des Mines de Paris.- 2005
- [12] Courtney, A.; Courtney,M: *Comments regarding .on the Nature of Science"*; Physics in Canad; Vol. 64, N. 3; 2008

- [13] Einstein,A; *Lettres à Maurice Solovine*, Gauthier-Villars 1956.
- [14] Einstein,A;Infeld,L; *L'évolution des idées en physique*, Flammarion 1938
- [15] Frank.P; *Einstein, sa vie et son temps*, Albin Michel 1950.
- [16] French,A.P; (éd.) *Einstein : le livre du centenaire*, Hier et Demain 1979.
- [17] Galbach, J.M.- (Director General); *Enciclopédie du monde moderne*; Weber, S.A. d'Edition.- Paris, France; 1979
- [18] GEL.- *Gran enciclopedia Larousse* .- Barcelona.- España.- 1990
- [19] Guerrero,M; Murgueytio, J.- *La verdadera historia del tiempo*; Abya-Yala; Quito, 1997
- [20] Hoffmann,B;Dukas,H; *Albert Einstein, créateur et rebelle*, Seuil 1975.
- [21] Holton,G; *L'imagination scientifique*, Gallimard 1981
- [22] Leonard, M.- *Conception d'une structure de données dans les environnements de bases de données*.- Laboratoire de Génie Informatique.- Université Joseph Fourier.- Grenoble, 1988
- [23] Johnsonbaugh, R.- *Matemáticas discretas*.-4a.ed.- Prentice Hall.- México, 1999
- [24] Kopnin. P.V.- *Hipótesis y realidad*.- Colección 70.- Editorial Grijalbo.- México D.F. 1969
- [25] Kopnin, P.V.- *Lógica dialéctica*.- Editorial Grijalbo.- Méxio, D.F.- 1966
- [26] Maldonado,A.M.-*Peirce y los modelos matemáticos del continuo*.- Actas del II Congreso de la Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía dela Ciencia en España.- San Sebastián.- España.- Abril 2000
- [27] Morand, B.- *Le processus de représentation par diagrammes*.- GREYC, Université de Caen, France.- 1999
- [28] Oudot, X;Delye.-Chevalier,M. *Algèbre et géométrie*.- Hachette Livre ,Paris, 1998
- [29] Popper,K; *La logique de la découverte scientifique*, Payot 1978.

- [30] Popper; K; *The Open Society and Its Enemies* (1945) (Princeton University Press, 1971).
- [31] RAE.- *Diccionario*.- XX edición.- Real Academia de la Lengua Española, Madrid 1989
- [32] Romo Saltos, L.A.- *Hombre, ciencia y sociedad*.-Universidad Central del Ecuador, 1978
- [33] Romo Saltos, L.A.- *El tiempo: reflexiones físicas y filosóficas*.- Escuela Superior Politécnica del Ejército.- Quito-Ecuador.- 1999
- [34] Romo Saltos, L.A.-*Filosofía de la Ciencia*.- Editorial Casa de la Cultura Ecuatoriana, Benjamín Carrión.- Quito-Ecuador, 2007
- [35] Sáenz, M.- *Validación de los modelos matemáticos de la Mecánica de los Fluidos*.- IV Congreso Franco- Latinoamericano de Matemáticas Aplicadas, Concepción- Chile, 1995
- [36] Sáenz, M. *Sistemas de la naturaleza*.- I+D Innovación.- N.11 PETROECUADOR.- 2003
- [37] Sáenz, M.- *Confiabilidad de los modelos matemáticos en ingeniería*.- Inédito.
- [38] Sáenz,M.- *Curso de Análisis Numérico*.- Universidad Jean Monnet.- Sede Quito, 2006
- [39] Sáenz, C. *Contribución al estudio formal y al desarrollo de herramientas informáticas para la construcción de escenarios*.- Tesis presentada en la USFQ previa a la obtención del título de Ingeniero de Sistemas.- Quito.- 2009
- [40] Sáenz, C; Sáenz MdC;Sáenz M.- *Planificación estratégica utilizando escenarios*.- en preparación.
- [41] Severino, E.- *La filosofía antica*.- Biblioteca Universali Rizzoli.- Milano.- Italia.- 1981
- [42] Smith, B.C.- *Prologue to reflection and semantics in a preceudural language in Readings in knowledge representation*.- Morgan Kaufmann, 1985

- [43] UNESCO.- *Historia de la Humanidad*.- Barcelona,España, 1981
- [44] WOLF, M; *Le consentement : pour une approche transdisciplinaire*.-
<http://infodoc.inserm.fr/ethique>.- 1999

En la época actual, abstraerse del pensamiento sistémico sólo puede conducir a la limitación del conocimiento. Para el Ingeniero del siglo XXI, incorporar a sus herramientas de análisis y solución de los problemas los principios de la Teoría General de Sistemas le proporciona ventajas competitivas invalorables, puesto que sus argumentos no niegan la realidad del mundo exterior, ni la posibilidad de obtener verdades de los hechos, facilitando así el desarrollo del conocimiento científico y empírico, su aplicación con miras a obtener resultados tangibles y la incorporación final al aparato productivo a fin de generar resultados económicos.

Esta es la razón, que justifica la elaboración del presente libro, en el cual se ha realizado una aproximación intuitiva a la noción de sistema a partir de la descripción de situaciones de la vida real, así como la presentación, desde un enfoque formal de la clásica metodología de construir objetos matemáticos mediante la utilización de clases de equivalencia.

Un primer intento de aproximarnos a los modelos a través de la descripción matemática de sistemas nos permite abrir horizontes aún inexplorados. El estudio de casos en los cuales la aplicación de las bases y principios de la Teoría General de Sistemas se revelan como elemento que contribuye positivamente a la comprensión formal tanto de los procesos y de los fenómenos, que ocurren en el seno de los sistemas como de la estructura de los mismos, de las propiedades emergentes como resultado de la pertenencia de los elementos al sistemas.



I.E.P.