



CONCEPTOS
Y FENÓMENOS
FUNDAMENTALES
DE NUESTRO
TIEMPO

UNAM

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES

CIBERNÉTICA Y SISTEMAS COGNITIVOS

FELIPE LARA ROSANO

2002

CIBERNETICA Y SISTEMAS COGNITIVOS

Por Felipe Lara Rosano

Introducción

El término **CIBERNETICA** se deriva del griego *Kybernetes*, que significa: el que controla, el piloto.

Antecedentes de la Cibernética se encuentran en 1943, cuando se publican tres artículos que influyeron notablemente en el desarrollo de ella. En el primero de ellos, Rosenblueth, Wiener y Bigelow (1943) sugirieron distintas formas de conferirles a las máquinas fines y propósitos; es decir, de volverlas teleológicas. El segundo, que fue escrito por McCulloch y Pitts (1943), manifestaba el modo en el que las máquinas podían emplear los conceptos de la lógica y demostró que cualquier ley de entrada-salida puede modelarse a través de una red neural. Finalmente, en el tercer artículo, Craik (1943) propuso el empleo de modelos y analogías en la resolución automática de problemas.

Sin embargo, no fue sino hasta después de la Segunda Guerra Mundial cuando resurge el pensamiento cibernético-sistémico con el nacimiento de la **Cibernética**, que fue fundada por el matemático norteamericano Norbert Wiener y por el fisiólogo mexicano Arturo Rosenblueth, quienes acordaron llamar Cibernética al estudio de los mecanismos de información y de regulación automática en los seres vivos y en las máquinas (Wiener y Rosenblueth 1948). De este modo, se puede hablar de Cibernética siempre que se encuentre un fenómeno que esté regulado automáticamente. Ejemplos los encontramos a millares en la naturaleza: la regulación de la temperatura en los vertebrados superiores, la regulación del movimiento de los planetas alrededor del sol, la regulación del nivel de precios en la economía, la regulación de la alimentación del combustible en un automóvil, la regulación de los latidos cardiacos en el hombre, la regulación de la potencia producida por una planta termoeléctrica, la regulación de la supervivencia y reproducción de un ecosistema, etc. La Cibernética se coloca en esta forma como una ciencia transdisciplinaria y sintética por excelencia.

En este enfoque se homologan los procesos de información y control que tienen lugar en el animal y en el hombre con los que tienen lugar en las máquinas más complejas, como los sistemas de control automático, las computadoras y las redes neuronales artificiales. En

efecto, a pesar de que existen indicios de esta homologación antes del siglo XX relacionados con los deseos de Babbage de construir una máquina que pudiera participar en juegos como el ajedrez, podemos considerar dicha homologación como un producto de la Cibernética en este siglo. Sin embargo, a pesar de los trabajos mencionados, estas ideas siguieron siendo especulaciones teóricas hasta mediados de los años cincuenta, en los que el nivel del poder de cómputo de las máquinas existentes ya fue adecuado para poder programar algunos de estos procesos de información y control.

Una consecuencia de esta homologación cibernética es el nacimiento de la **Inteligencia Artificial (IA)** como la disciplina que tiene por objeto la solución de problemas complejos, mediante la computarización de los procesos requeridos por la mente humana para captar y clasificar información, identificar estructuras y patrones en lo percibido, captar significados, definir sistemas, plantear problemas, buscar soluciones, planear su implantación y hacer el control, seguimiento y adaptación de dichas soluciones a través del tiempo.

El nacimiento de la IA surge en el verano de 1956, en el Dartmouth College en Hanover, New Hampshire, cuando un grupo de diez jóvenes especialistas en lógica y matemática entre los que estaban Samuel, McCarty, Minsky y Selfridge junto con Newell, Shaw y Simon se reúnen para debatir la posibilidad de producir programas de computadora capaces de "comportarse" o de "pensar" inteligentemente. Mucho del trabajo temprano en este campo se enfocó en el estudio de tareas formales como el probar teoremas matemáticos y jugar ajedrez y otros juegos bien estructurados. Uno de los primeros logros fue un programa llamado el Teórico Lógico (TL) creado por Allen Newell y Herbert Simon que era capaz de probar por sí mismo teoremas de la lógica simbólica del tipo expuesto en los Principia Mathematica de Whitehead y Russell.

Asimismo, en este año, Von Neumann (1956) y Culbertson (1956) elaboraron modelos matemáticos de neuronas y redes neuronales y Rochester, Holland, Haibt y Duda (1956), combinaron los resultados obtenidos por matemáticos, biólogos y psicólogos y desarrollaron modelos de simulación en computadora de neuronas y redes neuronales, dando lugar a la forma actualmente más generalizada de trabajar con estos sistemas: su simulación mediante software, en una computadora digital común.

A partir de éste momento se crean los dos enfoques de la IA: el estructural y el funcional. El primero pretende emular el cerebro humano, incluyendo su estructura física. Este enfoque supone que el comportamiento animal y por lo tanto el humano, se rige por medio de estructuras neuronales similares, por lo que trata de conocerlas para poder simular cada actividad. El segundo enfoque busca crear sistemas que tengan un comportamiento similar al de una persona considerada inteligente. Este no trata de reproducir la estructura física del cerebro sino sus funciones.

Pronto se obtuvieron éxitos muy promisorios. En 1958 Frank Rosenblatt desarrolló el *Perceptrón* (Rosenblatt 1958), que fue la primera red neuronal artificial especificada con toda precisión y orientada computacionalmente. Como era una máquina que podía aprender y demostrar comportamiento adaptativo complejo, atrajo de inmediato la atención de los investigadores. Su procedimiento de convergencia de aprendizaje debido a Widrow y Hoff (1960) fue un avance definitivo. Asimismo, Rosenblatt desechó el enfoque de teóricos anteriores que veían al cerebro como una computadora lógica. En vez de ello, lo consideró como un asociador y clasificador, cuya misión era asociar respuestas de clasificación a estímulos específicos. En 1962 Rosenblatt publicó su libro *Principles of Neurodynamics* (Rosenblatt 1962) en el que presentó formalmente el Perceptrón como modelo para construir redes neuronales artificiales.

Los perceptrones se aplicaron rápidamente a resolver problemas tales como la predicción climatológica, la interpretación de electrocardiogramas y otros. En los últimos años ha habido un desarrollo explosivo de la investigación básica y aplicada alrededor de las redes neuronales artificiales. Estos sistemas, también llamados *sistemas de procesamiento distribuido en paralelo*, *sistemas conexionistas*, *redes neurales* y *neurocomputadoras*, constituyen la base de la Sexta Generación de computadoras anunciada ya por los japoneses.

Entre las razones de este desarrollo explosivo, destaca el que las redes neuronales artificiales presentan en ciertos campos claras ventajas sobre las computadoras digitales comunes, llamadas del tipo Von Neumann, (Von Neumann 1945) pues no sólo son capaces de aprender de la experiencia sin grandes complicaciones de software o de hardware, sino que pueden resolver en forma sencilla y económica algunos de los problemas que

constituyen los mayores retos para las computadoras tradicionales, tales como el reconocimiento de patrones complejos, procesamiento de imágenes, generación e interpretación de lenguaje natural y problemas de clasificación y diagnóstico difusos.

Como se ha mencionado, la Cibernética es la ciencia que tiene por objeto el estudio de los fenómenos de información, control y autorregulación en los sistemas complejos, tanto naturales como artificiales. Al referirse Wiener y Rosenblueth en su definición original (Cibernética: "estudio de la información y control en los animales y en las máquinas"), concretamente a los animales y a las máquinas como los sistemas naturales y artificiales existentes más complejos, la Cibernética adopta necesariamente un enfoque general de sistemas, que le sirve de base para sus desarrollos teóricos.

A través de este enfoque general de sistemas, una porción de la realidad bajo estudio se conceptualiza como un todo (sistema) en tanto que el resto pasa a ser el "entorno" o "ambiente" del sistema. A partir de estas categorías se desarrolla un proceso de interpretación de la realidad en el que porciones de ésta se van estructurando funcionalmente en un modelo explicativo de la misma.

Se da el nombre de **sistema** a un conjunto de elementos que cumple tres condiciones:¹

- a) Los elementos están interrelacionados.
- b) El comportamiento de cada elemento afecta el comportamiento del todo.
- c) La forma en que el comportamiento de cada elemento afecta el comportamiento del todo depende de al menos uno de los demás elementos.

Los sistemas no existen aislados, sino conforman una *jerarquía sistémica*. Dicho de otro modo, todo sistema es parte de un sistema mayor que lo comprende y que se denomina **suprasistema** y, a su vez, comprende como elementos a sistemas menores que constituyen sus **subsistemas**.

Los sistemas afectan y son afectados por la realidad inmediata a ellos. Esta porción de la realidad que puede afectar al sistema o ser afectada por éste es lo que se denomina **ambiente o entorno del sistema**.

En el análisis de sistemas conviene explicar el funcionamiento de un sistema atendiendo a un conjunto de factores o **causas** situados en el pasado. En este caso se está considerando el sistema como un **sistema causal** y el enfoque utilizado es un **enfoque determinista**.

En otras ocasiones, conviene explicar el sistema de acuerdo con un conjunto de factores situados en el presente y dirigidos hacia el futuro. Estos factores se llaman **finés u objetivos** y el sistema se está considerando como un **sistema intencional**. Este enfoque se denomina **finalista o teleológico**.

El tipo de enfoque empleado para explicar un sistema como causal o intencional, dependerá del tipo de problema que se desea resolver. De esta manera, el ser causal o intencional no es una propiedad ontológica inherente al sistema, sino una propiedad relativa a los objetivos que se persigan al definir el sistema.

Sistemas causales. Teoría de los efectos.

Se llama **efecto** a un acontecimiento que se produce en un sistema llamado **efector** y que depende condicionalmente de varios otros llamados **factores**. Por ejemplo: la lluvia es un efecto producido en el efector sistema atmosférico por los factores: grado de humedad del aire, temperatura atmosférica y presión barométrica.

Hay dentro de la teoría de los efectos un principio fundamental que postula: "Un efecto se produce al conjugarse el conjunto de factores que constituyen el conjunto necesario y suficiente de sus condicionantes", lo cual quiere decir que, para que se produzca un efecto dado, es necesaria la concurrencia sinérgica de todos los factores que constituyen sus condicionantes necesarios y suficientes. Este principio viene a reemplazar el principio de casualidad de la filosofía tradicional que afirma: "todo efecto tiene una causa".

Los factores de un efecto pueden tener, a su vez, factores propios que, en relación con el efecto, se llaman **prefactores**. Al mismo tiempo, un efecto puede producir **efectos secundarios**.

Los efectos se representan por medio de un esquema de Ichikawa o de "espina de pescado", en el cual el efector se representa por un círculo, el efecto por una flecha saliendo del efector, los factores por flechas que llegan al efector, los pre-factores por flechas que

concurrir en el origen de un factor y los efectos secundarios por flechas que se derivan del efecto. A este esquema se le llama esquema causal de un fenómeno. (Fig. 1)

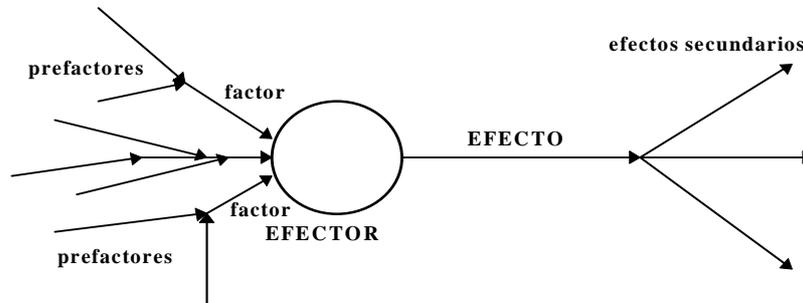


Fig.1 Esquema Causal de un Fenómeno

En un efector pueden tener lugar varios efectos, y se llama **efecto útil** al efecto que llena el objetivo que trata de lograrse con el efector. Por ejemplo, en el caso de un automóvil, el efecto útil es el movimiento del automóvil, y no, por ejemplo, el producir gases de combustión. El efecto útil se representa por medio de una doble fecha o por una flecha más gruesa que las demás.

Los factores de un efecto tienen un signo que está relacionado con el efecto. Un factor tiene signo positivo cuando, al aumentar la acción del factor, aumenta la intensidad del efecto y tiene signo negativo cuando, al aumentar la acción del factor, disminuye la intensidad del efecto.

Por ejemplo, en el efecto “nivel de agua en un tanque”, el efector es el tanque. El efecto es “nivel de agua”; los factores son “entrada de agua” y “salida de agua”. Analizando el factor de “entrada de agua”, a mayor entrada de agua, mayor nivel, por tanto, este factor es positivo. En cambio, analizando el factor “salida de agua”, a mayor salida de agua, el nivel disminuye. Este factor es por tanto negativo.

Se llama **fin de un efector**, al valor óptimo del efecto útil. Por ejemplo: en el caso del nivel de agua en el tanque, el fin sería el nivel máximo de agua, porque dicho nivel máximo es el más favorable para el uso de dicha agua. No siempre en todos los casos es posible que el efector alcance el fin y, por esta razón, los efectores se clasifican en dos grupos:

- a) Efectores de constancia,
- b) Efectores de tendencia.

Los efectores de constancia son aquellos en los que el fin sí puede ser alcanzado. Por ejemplo, en el caso anterior, el tanque de agua es un efector de constancia, puesto que es posible que el nivel de agua alcance el máximo. Los efectores de tendencia son aquellos en los que el fin no puede ser alcanzado, sino el efecto puede sólo aproximarse a dicho fin. Por ejemplo, el hombre es un efector de tendencia cuando trata de alcanzar el efecto “sabiduría”, porque la sabiduría no puede alcanzarse nunca en forma absoluta.

La representación de un efector de constancia se hace cruzando la flecha del efecto con una raya vertical y la representación de un efector de tendencia se hace colocando la raya vertical delante de la flecha que simboliza el efecto. La raya vertical representa el fin que es o no alcanzado por el efecto, según el caso. (Fig. 2)

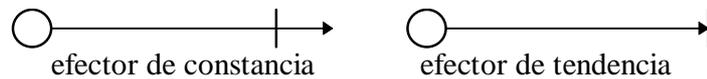


Fig.2 Efectores de constancia y de tendencia

El dominio de un efecto es el espacio de combinaciones de valores que deben tomar los factores para que produzcan el efecto. Por ejemplo, si un estudiante desea obtener un nueve como promedio mínimo de las calificaciones en 10 materias, la condición necesaria y suficiente es que la suma de todas las calificaciones sea igual o mayor de 90, para lo cual las calificaciones individuales podrán variar sólo dentro de determinados límites que constituyen el dominio del promedio 9. Si una de las calificaciones se sale de dicho dominio, el promedio será imposible de obtener.

Contingencia, determinismo y entropía

Cuando los valores que toman uno o más factores son de tipo aleatorio, se dice que hay **contingencia** o que el efecto es contingente. Cuando el efecto no depende de factores aleatorios, se dice que hay **determinismo**.

Por ejemplo, supongamos que el efecto es “obtener un 8 en prueba a base de cuestionario en el que debe contestarse sí o no”. Si por pura casualidad el alumno sin saber nada y contestando al azar logra tener el 8 en la prueba, se dice que ha habido contingencia.

En cambio, si el alumno ha estudiado a conciencia su tema y las contestaciones las hace con conocimiento de causa y obtiene el 8, se dice que ha habido determinismo.

La mayoría de las veces el hombre nunca puede tener la seguridad de haber determinado un efecto, porque son tantos los factores que intervienen que uno o varios pueden escaparse al control humano. Así, en el ejemplo anterior, el alumno pudo haberse sabido bien un tema y en la prueba habersele preguntado otro tema distinto.

Después de que un efecto se ha producido, el mantenimiento del efecto a través del tiempo es influido por lo que se conoce con el nombre de “entropía”. En efecto, hay puntos dentro del dominio del efecto cuya probabilidad de realización es baja. Esto, en términos físicos, se traduce en un bajo nivel de **entropía**.

El universo está sujeto a una ley universal llamada “ley del incremento de la entropía”, que fue enunciada por primera vez en el siglo pasado como Segundo Principio de la Termodinámica. Esta ley, llamada también de la entropía creciente, postula que todo sistema en un estado de baja entropía tiene a pasar a un estado de mayor entropía. En este proceso de incremento de entropía, los valores de los factores pueden deslizarse hacia regiones más probables, pero salirse del dominio del efecto, esto es, el efecto deja de existir. Otra forma de enunciar este principio es que todo lo diferenciado o heterogéneo, cuando cesan los efectores que lo han producido, tiende a desaparecer, esto es, a caer en lo homogéneo o indiferenciado.

Una explicación intuitiva de dicho principio la encontramos en la estadística, que califica a un fenómeno de diferenciación como “improbable”, con pocas oportunidades de ser realizado y, en cambio, a toda indiferenciación como “estado probable” con mayor oportunidad de verse realizado. De este modo, todo efecto que es algo diferenciado, tiende siempre a desaparecer, a caer en lo indiferenciado.

Esta ley es la que explica por qué un cuerpo más caliente que los que lo rodean tiende a enfriarse, hasta igualar su temperatura a la de su medio, en vez de que tienda a calentarse todavía más. Así también, un cuerpo más frío que los que le rodean, tiende a calentarse. En la misma forma, la materia orgánica, formada por moléculas muy complejas, tiende a descomponerse en materia inorgánica formada de moléculas más simples; las altas montañas son barridas por la erosión hasta ser emparejadas al ras del suelo en el que se

alzan; los fuertes afectos que de vez en cuando experimenta el hombre, tienden a diluirse y esfumarse con el tiempo, etc.

Mecanismos cibernéticos

Para evitar que un efecto deseable desaparezca, el efector puede proveerse de **mecanismos cibernéticos** que tienen por objeto sustraer al efecto de la acción de la contingencia y de la entropía creciente.

Gracias a estos mecanismos cibernéticos, existe el universo tal como es con sus ejemplos de alta diferenciación, en vez de ser un medio homogéneo e indiferenciado. La acción de estos mecanismos es la que hace que, al presentarse un efecto cualquiera en virtud de simple contingencia, el efector pueda hacer sobrevivir a su efecto a la contingencia y garantizar su permanencia, organizándose para ello y autorregulándose, hasta el punto de servir de base a efectos más complejos a los que, a su vez, autorregula y autoconserva para crear a su vez condiciones favorables a la aparición de nuevos y más complicados efectos.

Esta es, en el fondo, la esencia de la evolución natural, que ha sido el proceso que ha creado compuestos orgánicos complicados, a partir de compuestos simples y que ha posibilitado la aparición de organismos vivos complejos, a partir de organismos vivos más simples.

Hay dos clases de mecanismos cibernéticos: la interacción y la retroalimentación.

En la interacción se enlaza uno de los factores con otro en tal forma que, al variar uno de esos factores en virtud de la contingencia o el incremento de la entropía, el otro factor compensa esa variación y el efecto se mantiene constante de todos modos. Hay dos clases de interacción: la interacción negativa y la interacción positiva, en la cual el efecto aumenta cada vez más en magnitud. (Fig. 3)

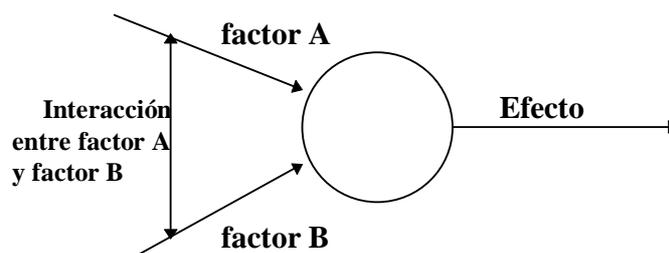


Fig. 3 Interacción entre dos factores

Un ejemplo de interacción negativa lo encontramos en el generador de aspas movido por la fuerza del viento, tales como se usan en algunas granjas. Los factores que actúan son: “dirección del viento” y “dirección de la rueda con aspas”. El máximo rendimiento se obtiene cuando el plano de la rueda es perpendicular a la dirección del viento. Para obtener este máximo rendimiento automáticamente por interacción, independientemente de la dirección del viento, se agrega a la rueda una veleta, que, al cambiar la dirección del viento, (uno de los factores), es empujada por éste, hasta una posición tal, que la rueda quede nuevamente perpendicular a la dirección del viento, por lo que este segundo factor compensa las variaciones del primer factor.

Un ejemplo de interacción positiva, lo tenemos en el estudiante de bajo rendimiento en alguna materia. Los factores del rendimiento son: “comprensión de la materia”, “memorización de materia” y “afición por la materia”. Si la comprensión de la materia es deficiente, el alumno no puede memorizarla, con lo que los temas más avanzados se le harán todavía más incomprensibles, lo que traerá consigo menos capacidad de memorización y por ende, una carencia absoluta de afición por la materia. De aquí la importancia de estudiar una materia desde el principio, tratando de comprender cada clase, sin dejar dudas por aclarar.

La retroalimentación consiste en una relación entre el efecto y uno de los factores, de tal modo que, al producirse el efecto, éste actúa sobre uno o más factores, manteniéndolos estrictamente dentro del dominio del efecto, con lo cual, el efecto seguirá produciéndose indefinidamente. (Fig. 4)

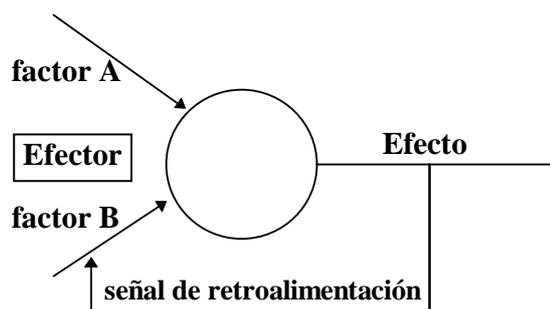


Fig. 4. Retroalimentación del efecto

Hay dos tipos de retroalimentación: la negativa y la positiva.- En la **retroalimentación negativa** al variar un factor, el efecto también varía y su valor se hace incidir sobre ese u otros factores, que compensan esa variación, de manera que todos los valores de los factores caen en el dominio y el efecto se mantiene en un nivel constante. Por ejemplo, en las máquinas de vapor se regulaba la velocidad por medio de un mecanismo cibernético de retroalimentación que era el paralelogramo de Watt. Cuando la velocidad de la máquina tendía a aumentar, el paralelogramo de Watt cerraba la válvula de vapor y la velocidad disminuía. Si la velocidad disminuía demasiado, el paralelogramo de Watt hacía que se abriera la válvula de vapor, con lo cual la velocidad tendía a aumentar.

La **retroalimentación positiva**, al haber una variación en el efecto, provoca variaciones en el mismo sentido en uno o varios factores de manera que el efecto se atenúa más rápidamente o se amplifica explosivamente, “desbocándose”. Por ejemplo, si en el caso anterior invirtiéramos el sentido de la válvula, entonces a mayor velocidad de la máquina, entraría más vapor, a más cantidad de vapor se obtendría mayor velocidad y así sucesivamente.

Organismos cibernéticos

Los **organismos cibernéticos** son efectores complejos organizados y auto-regulados para sustraerse a sí mismos o a uno de sus efectos, dentro de ciertos límites, a la contingencia, a la tendencia a la entropía creciente, o a ambas. Por ejemplo, un ser vivo, un sistema ecológico, un grupo social, un sistema planetario, un robot inteligente, etc.

Sustracción a la entropía creciente

Como se dijo anteriormente, los organismos deben sustraerse a la tendencia a la entropía creciente, es decir, a la tendencia a desorganizarse. Esta sustracción reviste dos formas:

- 1.- Sustracción a la desorganización material, que debe realizarse para que la materia de que está hecho el organismo no se degrade, sino permanezca en condiciones de funcionamiento;
2. Sustracción a la degradación energética, que debe realizarse para que la energía disipada por el organismo sea sustituida por nueva energía utilizable.

Sustracción a la contingencia. La homeostasia.

La capacidad de supervivencia de todo organismo cibernético se reduce a su capacidad de sustraerse a la contingencia. Esto quiere decir que un organismo será tanto más capaz de sobrevivir cuanto más sea capaz de enfrentar cualquier contingencia exterior.

Por ejemplo: Una ameba que muere cuando la temperatura del agua que la rodea cae fuera de ciertos estrechos límites tiene una escasa capacidad de supervivencia ante contingencias externas. En cambio un mamífero tiene un medio interior constantemente a la misma temperatura, mediante regulaciones y retroalimentaciones, para un rango de temperaturas exteriores mucho más amplio. Por ejemplo: Un camello puede soportar una elevación de la temperatura exterior hasta unos 60°C y seguir viviendo. Esto es debido al mantenimiento uniforme de un medio interior, por lo que se sustrae a la contingencia. Un hombre, que es el animal más libre y el que mejor está condicionado para luchar contra la contingencia, puede incluso soportar temperaturas de cientos de grados sobre y bajo cero, aislándose por medio de un traje térmico.

La sustracción a la contingencia se logra mediante la **homeostasia**, que es un mecanismo de retroalimentación que tiene por objeto adaptar al organismo a las variaciones del medio exterior, manteniéndolo en condiciones operativas.

El **principio de la homeostasia** afirma que *toda reacción homeostática de un organismo cibernético tiene por objeto mantener el equilibrio de su medio interno, contra las variaciones contingentes del medio externo.*

Por ejemplo: Si un animal tiene sed y el lugar donde abrevaba se seca, se siente forzado a buscar nuevos lugares donde haya agua.

Sistemas cognitivos e instrumentos cibernéticos

Un objeto en el medio ambiente o entorno de un organismo cibernético envía distintos tipos de **señales**, tales como ondas electromagnéticas, presiones mecánicas, emanaciones de sustancias químicas, etc que, cuando pueden ser detectadas y analizadas por un organismo cibernético cualquiera, pueden proporcionarle información sobre ese objeto del entorno por ejemplo, sus dimensiones espaciales, su forma, su naturaleza. etc. de manera que, ante una contingencia provocada por ese objeto, pueda responder homeostáticamente en la forma más adecuada. Cuando un organismo cibernético tiene la capacidad para detectar y analizar las señales que le llegan del entorno para extraer información sobre el mismo, *formándose imágenes del mundo y de sí mismo* y, de acuerdo con ellas, mediante una *función de decisión homeostática*, determina lo que debe hacer para cumplir con sus fines, frente a la situación propia y del medio ambiente que ha detectado, el organismo es un **sistema cognitivo**.

Considerando que la homeostasia está basada en una retroalimentación que proviene del entorno, en la cual se procesa la información correspondiente y se da una respuesta de adaptación, para que se pueda dar la homeostasia, son necesarios cinco elementos, llamados **instrumentos cibernéticos**. (Fig 5)

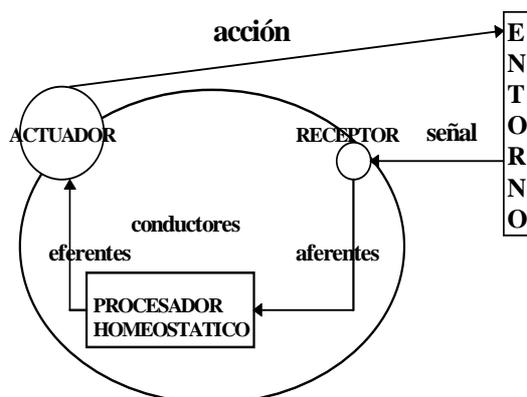


Fig. 5 Instrumentos cibernéticos

1.- **Receptores o sensores**, que se encargan de detectar las señales del medio externo que puedan dar información sobre éste. Por ejemplo: la vista en los animales permite detectar cambios en la posición de los objetos de su medio ambiente, recibiendo e interpretando señales luminosas. Así también la cámara de televisión de un robot puede detectar la posición de objetos que obstaculizan su camino.

2.- **Conductores aferentes**, que son los que llevan la información desde el receptor hasta el centro procesador encargado de calcular la respuesta homeostática. Por ejemplo: El nervio óptico, el auditivo y demás nervios aferentes en los animales. Así también, los conductores aferentes entre la cámara televisora y el procesador central del robot.

3.- **Procesador o controlador homeostático**, que es el centro cibernético del organismo, y que es el que, mediante la *función de percepción*, interpreta las sensaciones que provienen de los receptores y determina lo que debe hacer el organismo para cumplir con sus fines. Un ejemplo de procesador homeostático son los centros nerviosos en los vertebrados. Otro ejemplo es la computadora de control de una central termoeléctrica automática o el procesador central del robot.

4.- **Conductores eferentes**, que son aquellos que llevan la respuesta desde el procesador homeostático hasta los órganos motores del organismo, para que reaccione adecuadamente. Por ejemplo: Los nervios eferentes o motores en los animales. Así también, los conductores entre el procesador central hasta los motores de locomoción en el robot.

5.- **Actuadores**, cuya función es ejecutar la decisión enviada por el procesador homeostático a través de los conductores eferentes. Por ejemplo: El músculo que se contrae al recibir el impulso eléctrico del nervio eferente. Así también los motores de locomoción del robot.

Procesador homeostático

El procesador homeostático lleva a cabo varias funciones: la percepción, la conceptuación, la abstracción, el aprendizaje, la inferencia y la cognición o modelado del mundo. A continuación se analizarán brevemente estas funciones.

Cibernética de la percepción

La **percepción** consiste en el procesamiento, análisis, clasificación e interpretación de una sensación o señal, de manera que, a partir del reconocimiento de elementos simples, se reconstruya la representación de un objeto complejo que se supone asociado a la señal.

Por ejemplo, en el plano de imágenes visuales, percibir una imagen implica reconocer los elementos de la misma como líneas, figuras y contornos en forma aislada, para después combinarlos en formas complejas, que luego se estructuran como partes de una imagen general referente a la representación de un objeto, dentro de la cual (y sólo dentro de la cual) adquieren un significado. Así, cuando un animal analiza una señal luminosa, reconociéndola como la imagen producida por un árbol, se dice que el animal está percibiendo el árbol.

Estudios recientes han hecho notar que el enorme incremento en el tamaño del cerebro de los mamíferos parece deberse más que nada al aumento de más y más áreas sensoriales, por lo que la mayor inteligencia parece ser consecuencia más del incremento de recursos perceptuales que del poder de manipulación simbólica.

Todos los medios sensoriales que permiten tener contacto con el ambiente son importantes y más aún vitales, ya que permiten alertar al sujeto de situaciones que pueden poner en peligro su propia supervivencia, como por ejemplo, el olor o sabor de alimentos descompuestos. Sin embargo, dentro de los recursos con los que el animal cuenta para detectar la situación ambiente, la vista resulta ser una propiedad privilegiada sobre las demás. La imagen visual permite advertir y conocer una multiplicidad de aspectos del ambiente, facilitando tantas posibilidades para actuar sobre el entorno como ningún otro recurso sensible.

En los vertebrados se han desarrollado ciertos mecanismos homeostáticos que relacionan las percepciones con los centros nerviosos del hipotálamo, llamados centros del placer, de manera que éstos son estimulados paralelamente con las percepciones relacionadas con la satisfacción de las necesidades instintivas. El estímulo de estos centros del placer provoca la producción de unas hormonas llamadas endorfinas que generan sensaciones de gratificación, cuya persecución por parte del animal le garantizan la satisfacción de la necesidad instintiva correspondiente. Así pues, el placer es el significado

emocional de una percepción que le indica al animal la consecución de la homeostasia en un futuro inmediato. Como ejemplos están el placer de comer teniendo hambre, de beber teniendo sed, etc.

Asimismo, también existen mecanismos homeostáticos que relacionan percepciones con centros de *displacer*, por ejemplo, cuando se interrumpe una acción placentera sin haber logrado la homeostasia o cuando se estimulan los receptores nerviosos del dolor por una herida o una enfermedad. En este último caso, el animal evita el contacto de la parte afectada con cualquier objeto, ya que éste le provoca más dolor. Así, el *displacer* es el significado emocional de una percepción que le indica al animal una amenaza inmediata a la homeostasia.

Desde los primeros años de la Cibernética la percepción de imágenes fue tomada como uno de los puntos importantes a investigar. Sobre todo, estas investigaciones estuvieron enfocadas al reconocimiento de patrones, como el desarrollo del Perceptrón por Frank Rosenblatt (Rosenblatt 1958) cuyo propósito era reconocer letras y otras figuras-patrón. Al principio, la investigación en este campo estaba dedicada al diseño de sistemas que pudieran reconocer y clasificar imágenes bidimensionales, como por ejemplo, caracteres alfanuméricos. Más adelante, el interés se ha concentrado en la creación de sistemas capaces de identificar patrones estructurales y sus significados en arreglos de datos o estímulos.

Para ello, se ha tenido que profundizar en el conocimiento psicológico de la percepción y sus anormalidades. Véase por ejemplo McClelland & Rumelhart (1986). Entre las aplicaciones que se han desarrollado están el diagnóstico radiológico a través del análisis de imágenes de radiografías, el reconocimiento de rostros humanos y el reconocimiento de caracteres manuscritos.

Otro ejemplo de lo anterior es la percepción remota a partir de satélites artificiales, que ha cambiado la manera de cuantificar y ubicar recursos naturales y elaborar estudios regionales.

Facilitadores cibernéticos de la percepción

Lo que se ha dado en llamar como *multimedia* o técnicas de medios múltiples, es la transmisión de mensajes a través del uso de distintos medios (gráficas, sonido, video, lenguaje, etc.) de manera simultánea y utilizando para ello una computadora digital. Por ejemplo, suponiendo que me interesara explicar el funcionamiento del corazón, podría en una misma pantalla de la computadora tener un diagrama de las distintas partes del corazón, un recuadro donde se vea la filmación de un corazón funcionando y una voz que me explique para qué sirve cada una de las partes de lo que veo en el diagrama. Teniendo además la facilidad de llamar a otros diagramas adicionales más detallados, a una animación del proceso de bombeo de sangre, etc., etc. Como veremos más adelante, el que toda esta información tan diversa reafirme el mensaje o que lo haga incompreensible aturdiendo al receptor, depende de distintos factores afines al lenguaje del arte, como composición, correspondencia estructural entre los distintos medios utilizados, etc.

Actualmente, una de las áreas de investigación que integran de manera muy interesante arte visual e inteligencia artificial es el desarrollo de lo que se conoce como *interfaces multimedia inteligentes*. Las *interfaces multimedia* son interfaces que comunican a la computadora con el usuario utilizando para ello distintos medios (por ejemplo, lenguaje, gráficos, animación, video, sonido) y a veces distintos modos, como texto escrito y lenguaje hablado. Sin embargo, las *interfaces multimedia inteligentes* van más allá de los ambientes multimedia tradicionales, pues reciben una entrada y a partir de ella generan una salida de manera inteligente, es decir, haciendo uso de una base de conocimientos. Esto significa que la interfaz está integrada a un sistema experto que decide cómo van a estar integrados los elementos de la misma.

Cibernética de la concepción

La información que un organismo recibe de su entorno a través de las percepciones, necesita ser procesada e interpretada con arreglo a ciertos esquemas conceptuales para que tenga algún significado. Para ello, es necesario construir conceptos, es decir, modelos conceptuales de las porciones de la realidad a que se refiere la mencionada información,

integrando en ellos la que proviene de las percepciones aisladas que se obtienen de cada uno de los sentidos.

Este proceso de construcción de modelos conceptuales de porciones de la realidad a partir de la información percibida constituye la **conceptuación** o proceso de construcción de conceptos, que debe obedecer ciertas reglas, para que sus resultados sean eficaces al organismo.

Las imágenes visuales ayudan en mucho al proceso de conceptuación. La imagen se torna en múltiples ocasiones la base de la experiencia concreta codificada. Para Arnheim es en la percepción de la forma donde reside el inicio de la formación de conceptos (Arnheim 1986). La percepción de la forma es la captación de los rasgos estructurales que se encuentran en el material estimulante, o que se imponen a él. La percepción consiste en imponer al material estimulante patrones de forma relativamente simple, estos patrones son los que llamaremos *conceptos visuales* o categorías visuales. En la captación de las formas, interviene básicamente un proceso de abstracción.

La información recibida desde el exterior a través de las percepciones, se organiza en forma de unidades cognitivas llamadas **conceptos**. Un concepto es entonces la representación cognitiva de un objeto o una especie de objetos, obtenida por abstracción de los caracteres esenciales de un grupo de percepciones referidas a esa especie de objetos. Entre los caracteres esenciales de una percepción pueden estar el placer o displacer asociado en su caso. Por lo tanto, al incluirse en el concepto no sólo las percepciones sino el placer o displacer asociados, se introduce en el concepto una de sus propiedades más notables: su significado emocional.

Por ejemplo: Sea el concepto “amigo”. Dicho concepto es el conjunto de información sobre los amigos obtenida por medio de las percepciones y sus significados afectivos en el transcurso de la existencia del sujeto. En el concepto “amigo” está comprendido el total de las experiencias directas o indirectas que haya tenido el sujeto con sus amigos, así como el total de las cualidades buenas y malas que hayan tenido esos amigos, y las impresiones afectivas que hayan causado en el sujeto. De aquí, que cada concepto es una célula de información muy completa: algo así como un tratado completo acerca de un tema, desarrollado por el sujeto cognitivo.

Cada concepto es pues, en un organismo cibernético biológico, un sistema que liga y relaciona numerosos circuitos neuronales correspondientes a zonas sensitivas, afectivas y motoras. Toda esta red neuronal se pone en funcionamiento únicamente bajo la acción de una palabra o conjunto de palabras que constituyen su expresión y que se llama “término”, que es una forma de lenguaje. De este modo cuando pensamos, oímos o leemos un término, un impulso nervioso pasa por todas las neuronas y fibras que participan en el concepto correspondiente y que van distribuidas por todo el cerebro.

El lenguaje tiene mucha importancia en la formación, definición y evocación del concepto, ya que si no poseyéramos lenguaje, la evocación del concepto sería imperfecta y sería imposible formular juicios certeros y razonamientos abstractos. Es por eso precisamente que al razonar, debemos hacer uso forzosamente de un idioma.

Un concepto es una red neuronal distribuida en la corteza. Ahora bien como el hombre normal tiene millones de conceptos, las redes neuronales conceptuales se entrecruzan y se combinan, relacionándose unas con otras, cuando coinciden en una o más neuronas llamadas **neuronas de asociación**. De este modo relacionamos por ejemplo “casa” con “jardín” con “reja”; “reja” con “calle”, etc. saltando el impulso nervioso, por decirlo así, de una red neuronal conceptual a otra, por intermedio de las neuronas de asociación. Esta relación entre conceptos es producto del aprendizaje.

Cibernética de la abstracción

Hemos visto que el aprendizaje es el establecimiento de circuitos neuronales y que las redes establecidas por aprendizaje constituyen nuevos conceptos. Estos conceptos o redes neuronales se relacionan a su vez entre sí por asociatividad, haciendo posible el juicio y el razonamiento.

Supongamos los conceptos “ayudar al necesitado”, “comprender al semejante”, “preocuparse por el bienestar colectivo”. Todos estos conceptos se asemejan en algo común a todos y que responde al término “bondad”. Decimos entonces que hemos abstraído de aquellos conceptos algo que tenían en común: un nuevo concepto llamado “bondad” y que no es adquirido por experiencia concreta, sino a partir de conceptos preexistentes.

Podemos definir, pues la **abstracción**, como la creación de un nuevo concepto especial

a partir de la asociatividad de conceptos preexistentes.

La abstracción es la expresión máxima de la inteligencia, ya que supone:

- 1º.- Una red conceptual ya formada y extensa.
- 2º.- Un elevado desarrollo del lenguaje.
- 3º.- Una gran capacidad de asociatividad.

Por esta razón la capacidad de abstracción se desarrolla sólo con la madurez intelectual.

La abstracción es un fenómeno característico de la especie humana y a partir de la abstracción se han desarrollado algunos conceptos importantes en la historia de la sociedad humana. Entre los conceptos desarrollados por abstracción están: la forma geométrica, la vida, el alma, el bien, el mal, el concepto antropomórfico de Dios, la justicia, el amor, los números, los símbolos, los conceptos filosóficos, los conceptos matemáticos superiores, el concepto absoluto de Dios, etc. Todos estos conceptos han sido desarrollados por el hombre, no a partir de la experiencia directa, sino a partir de la asociatividad de conceptos preexistentes.

Lara García (1994) afirma que hay distintas formas en que se puede abstraer un mismo objeto, la complejidad y grado de abstracción dependerán en mucho del desarrollo perceptual y capacidad para relacionar conceptos del individuo que percibe. Tomemos como ejemplo, la separación del objeto de su contexto. Arnheim (1986) dice que existen básicamente tres maneras de observar la interacción objeto-contexto:

- 1.- Percibir la contribución del contexto como un atributo del objeto mismo.
- 2.- Eliminar la influencia del contexto para obtener el objeto local en su estado puro e inalterado.
- 3.- Reconocer la distinción entre contexto y objeto pero sin eliminar la influencia del medio circundante sobre el objeto.

Es posible concluir (Lara García 1994) que las hazañas más productivas de la abstracción son llevadas a cabo no por los que más brillantemente superan y, en realidad,

ignoran los contextos, sino por aquellos cuya audacia al extraer lo semejante a partir de lo desemejante corre pareja con su respeto por los contextos en que las semejanzas se encuentran.

La percepción puede abstraer objetos de su contexto porque capta la forma como estructura organizada y no como mosaico de elementos, existe una captación de rasgos estructurales más que un registro indiscriminado de detalles. Sin embargo, qué rasgos se capten dependerá en mucho de los requerimientos del medio ambiente, es decir del contexto. Se abstrae solo al nivel necesario. El cliente diferencia al camarero, la vendedora de tienda o el peluquero sólo a nivel de su profesión, pero dentro de esa profesión no hay distinciones observables; lo mismo sucede cuando vemos a personas de una raza distinta a la nuestra, como cuando se dice: "todos los chinos son iguales". La distinción entre dos objetos o personas que se perciben al realizar una tarea, se mantiene a un nivel tan genérico como la tarea los permite. Esto nos muestra a la percepción nuevamente como lo contrario de un registro mecánico de estímulos. El grado de diferenciación dependerá de cuánto interés manifiesten la persona particular o el grupo cultural por el refinamiento de la abstracción inicial.

Podemos decir entonces que para representar conceptos abstractos los seres humanos nos basamos en estructuras de origen perceptual. Arnheim (1986) dice que el hombre puede apoyarse con confianza en los sentidos para procurarse equivalentes perceptuales de toda noción teórica porque estas nociones, para empezar, derivan de la experiencia sensorial, y para decirlo de modo más contundente afirma: el pensamiento humano no puede ir más allá de las configuraciones que procuran los sentidos humanos.

Cibernética del aprendizaje

En todo procesador homeostático se efectúa un cálculo de las reacciones pertinentes ante una determinada situación, que se conoce como **cálculo de situaciones**. Para mejorar la oportunidad de este cálculo existen los **mecanismos de aprendizaje**, que guardan información sobre el éxito o el fracaso de haber efectuado ciertas acciones en situaciones pasadas.

La habilidad de aprender es una de las características universalmente aceptadas de la

inteligencia. Simon (1983) define el **aprendizaje** como "cualquier cambio en un sistema que le permite desempeñarse mejor la segunda vez que ejecuta una tarea o la segunda vez que ejecuta tareas diferentes pero del mismo tipo".

En un organismo animal, aprendizaje es un proceso de formación de circuitos neuronales en la corteza cerebral, mediante el cual se enlazan entre sí grupos de neuronas de distintas zonas de la corteza.

En organismos artificiales, entre los dispositivos más promisorios para reproducir un aprendizaje se encuentran las redes neuronales, así como los sistemas adaptativos y sistemas de aprendizaje basados en el conocimiento.

El aprendizaje en los organismos animales comprende dos fases: la comprensión y la fijación.

1.- **La comprensión.**- En esta fase el individuo reconoce que existe una relación entre dos o más grupos neuronales que deben enlazarse, estableciendo una memoria de corto plazo entre esos grupos neuronales.

Por ejemplo: Si cada vez que el bebé ve a su nana, oye la palabra “nana”, establecerá una relación entre dicha palabra y la imagen de la nana. Si en matemáticas el alumno logra relacionar por sí los conceptos de un teorema, el alumno habrá comprendido el teorema. Si cada vez que un perro muerde al amo, se le da un golpe, con el tiempo el perro comprenderá que “mordida al amo” significa “golpe”.

La capacidad de comprensión es uno de los componentes de la llamada capacidad intelectual y puede medirse experimentalmente mediante tests especiales.

La capacidad de comprensión depende de varios factores, entre ellos la herencia, la salud, y la cultura, que se refleja en la amplitud y calidad de las conexiones neuronales establecidas. Por regla general, a mayor cultura, mayor capacidad de comprensión.

De todo esto se deduce que la misión del capacitador, del educador, del profesor y del catedrático es precisamente facilitarle al individuo la comprensión de un conocimiento, es decir, hacerle ver la relación que existe entre dos o más conceptos, para que en su cerebro se forme el circuito entre los correspondientes grupos neuronales. Sólo de este modo será posible el aprendizaje.

2.- **La fijación.**- En esta fase la memoria operativa o de corto plazo se transforma en una memoria de largo plazo, quedando la información acumulada definitivamente. La fijación consiste pues, en la permanencia de la conectividad entre los grupos neuronales. La fijación depende de dos factores: la concentración y la repetición.

a) **La concentración.**-La concentración es la canalización de la atención en un sentido determinado cualquiera. El factor concentración es de gran importancia en la duración del aprendizaje, pues el tiempo empleado en el mismo puede reducirse por concentración.

La explicación fisiológica de la influencia de la concentración reside en que los estímulos son más intensos, fortaleciéndose en forma más rápida el enlace entre los correspondientes grupos neuronales.

b) **La repetición.**- Para que la memoria de corto plazo se transforme en una memoria de largo plazo, es necesario que los impulsos se vean reforzados por la repetición, de acuerdo con la Ley de Hebb.

La concentración y la repetición están en razón inversa, ya que a mayor concentración, son necesarias menos repeticiones y recíprocamente: a menor concentración son necesarias más repeticiones. Esto se explica porque si los impulsos son más intensos, son necesarios menos de ellos para fortalecer las conexiones neuronales y recíprocamente.

Aprendizaje psicomotor

Podemos distinguir dos tipos de aprendizaje: el aprendizaje psicomotor y el aprendizaje conceptual.

El aprendizaje psicomotor, tiene por objeto relacionar circuitos motores con circuitos sensores y procesadores. Esta forma de aprendizaje es común a la mayoría de las especies animales.

Por ejemplo: Un bebé cuando ve un objeto brillante, por ejemplo una sonaja, pone en movimiento desordenado sus piernas y sus brazos con el fin de alcanzar la sonaja. Cuando por una casualidad, en uno de esos movimientos logra alcanzar su objetivo, se establece la primera comprensión entre el circuito “mover el brazo” y el circuito “alcanzar el objeto”. Estos circuitos nuevos se fijan, fortaleciéndose con la experiencia. Podemos decir que el primer año de vida del bebé, se emplea en el aprendizaje del control de la ejecución y

coordinación de los movimientos de sus receptores y sus motores.

Facilitadores emocionales en el aprendizaje psicomotor

El aprendizaje psicomotor está ligado íntimamente con el placer y el displacer, aprendiendo el individuo que debe buscar lo que le trae placer (que es el “anzuelo” que le tiende la naturaleza al individuo, para que éste busque su homeostasia), y que debe evitar lo que le trae displacer o dolor.

Encontramos así, dos facilitadores emocionales en el aprendizaje psicomotor:

- 1.- **La recompensa**, por la cual el individuo se ve instado a hacer algo para obtenerla.
- 2.- **El castigo**, por el cual el individuo se ve instado a hacer algo para evitarlo.

Bajo estas dos influencias se desarrolla el aprendizaje psicomotor. Estas dos influencias no tienen efectos iguales en todos los individuos. Así hay individuos más sensibles a las recompensas que a los castigos y hay otros más sensibles a los castigos que a las recompensas.

Tanto el padre como el educador, deben tener muy en cuenta esta cualidad de los educandos, pues si el método de educación se aplica erróneamente, los resultados de la educación serán nulos o inclusive adversos. Por ejemplo, los niños excesivamente mimados se pueden convertir en adultos fracasados y los niños castigados excesivamente o repudiados, se pueden convertir en adultos anti-sociales y delincuentes.

Reflejos condicionados

Al estudiar el aprendizaje psicomotor, debemos tener en cuenta las investigaciones sobre reflejos condicionados, iniciadas por Pavlov. **El reflejo condicionado** es una respuesta involuntaria ante un estímulo indirecto, adquirida por aprendizaje, o sea, relacionando el circuito neuronal de la respuesta con el circuito neuronal del estímulo indirecto.

Por ejemplo cuando un perro tiene alimento en la boca, se produce como respuesta incondicionada una secreción de saliva. La relación entre el circuito “alimento” y el circuito “secreción de saliva”, viene ya formada desde el nacimiento. Si antes de que se de alimento

al perro, se toca una campana (estímulo indirecto), y esto se repite suficientemente, el perro aprende que “toque de campana” significa “alimento”. Entonces el circuito neuronal “toque de campana” se relaciona con el circuito “secreción de saliva”. En resumen, cuando se toque la campana (estímulo indirecto), el perro segregará inconscientemente saliva (respuesta condicionada).

Sobre esta base se puede enseñar a un animal de laboratorio a hacer casi cualquier cosa, como manejar aparatos, tocar instrumentos musicales, entender parcialmente un idioma, hacer actos complicados, etc.

La teoría de los reflejos condicionados ha sido de gran valor en la investigación psicológica sobre la educación, especialmente si se tiene en cuenta que el lenguaje no es más que un sistema de reflejos condicionados.

El aprendizaje conceptual

El aprendizaje conceptual tiene por objeto relacionar dos imágenes o dos conceptos, y es privativo de los animales superiores y del hombre. El aprendizaje conceptual forma las complicadas redes neuronales que hacen posible la predicción y el razonamiento.

Para que la instrucción o aprendizaje conceptual sea más efectivo, debe hacerse mediante la creación del mayor número de conexiones neuronales que relacionen el nuevo concepto con otros conceptos ya existentes, con experiencias y con afectos. De aquí, las ventajas de la instrucción audio-visual y de las prácticas de laboratorio, así como de las discusiones y de los viajes, ya que estos métodos hacen que el nuevo concepto se ligue con gran número de otros conceptos.

Cibernética de la inferencia

Hemos visto que el aprendizaje es el establecimiento de circuitos neuronales que dan lugar a conceptos nuevos. Estos conceptos o redes neuronales se relacionan a su vez entre sí por asociatividad, haciendo posible el juicio y la inferencia.

Los **mecanismos de inferencia o anticipación** son aquellos que, con base en una definición de escenarios de situaciones factibles, calculan previamente las respuestas

pertinentes. Estos mecanismos de anticipación reciben también el nombre de mecanismos de razonamiento o máquinas de inferencia.

La relación entre Cibernética e inferencia comenzó a darse cuando se trató de encontrar formas de representar los hechos del mundo real, que pudieran servir de base para inferir nuevos hechos a partir de los hechos conocidos. A este respecto los investigadores se encontraron con la **lógica proposicional**, axiomatizada por Boole, en la cual los elementos de análisis son las proposiciones expresadas como fórmulas bien construidas y que posee procedimientos de decisión bien establecidos para saber si una proposición es válida o no.

Sin embargo, la lógica proposicional encuentra serias limitaciones para representar y manipular hechos en los que se precisa cuantificar el sujeto o el predicado, como por ejemplo *algunos hombres son fuertes*. En estos casos, la lógica proposicional deja de ser funcional y debe ser sustituida por una lógica que permita manejar aisladamente los conceptos para poderlos modular y cuantificar por separado. Esta lógica es la **lógica de predicados**. El problema con esta lógica es que carece de un procedimiento de decisión que permita saber cuándo una proposición dada no es definitivamente un teorema, sin tener que buscar exhaustivamente.

Tanto en la lógica de proposiciones como en la de predicados es a través de manipulaciones algebraicas, con base en los teoremas lógicos, que puede determinarse la validez de una proposición, dadas unas premisas. Considerando la gran variedad de manipulaciones posibles, han surgido en Cibernética algunos procedimientos que tienden a orientar los procesos de inferencia, haciéndolos muy eficientes. Entre estos procedimientos está la llamada **resolución lógica** propuesta por Robinson (1965) y que requiere la conversión de las proposiciones en cuestión a una forma estándar llamada la *forma cláusula*.

Aunque la lógica de proposiciones y la de predicados sirven para resolver problemas en ciertos ámbitos, en la vida práctica encontramos expresiones ambiguas, con contenidos de verdad inciertos, basadas más bien en creencias que en hechos bien definidos y que son inmanejables con la lógica tradicional. Por ejemplo, la proposición del lenguaje ordinario *creo que Juan es medio bueno* es una proposición que se traduce en que las proposiciones lógicas formales *Juan es bueno* y *Juan no es bueno* sean simultáneamente semiverdaderas y

semifalsas, si es que se pudiera definir tal cosa como una semiverdad o una semifalsedad. Esta situación ha obligado a la Inteligencia Artificial a desarrollar en el campo de la lógica nuevos enfoques que permiten abordar este tipo de casos del razonamiento común.

Entre estos nuevos enfoques lógicos surgidos de la Inteligencia Artificial están:

a) **Razonamiento por default.** Se hace uso del mismo cuando se tiene información incompleta. En este caso se generan las hipótesis que sean necesarias para resolver el problema y que sean las más probables, mientras no exista evidencia que las contradiga. Por ejemplo, si digo *voy a casa en mi automóvil*, se supone que el automóvil funciona, que yo se manejar, que no pasará ningún contratiempo, etc. (Reiter 1980). La **circunscripción** es una forma de razonamiento por default en IA introducida por McCarthy (1980).

b) **Lógica probabilista.** En ocasiones no se sabe si una proposición es o no verdadera, pero se tiene información sobre las probabilidades de que lo sea. La lógica probabilista permite hacer inferencias con este tipo de proposiciones inciertas en las que se conoce su probabilidad de verdad. Para un tratamiento formal de lógica probabilista véase a Pearl (1988).

c) **Lógica difusa.** En otras ocasiones los conceptos que se manejan en el razonamiento no están bien definidos: son difusos. Por ejemplo, *Pedro es un poco alto* es una proposición difusa en la que la altura de Pedro puede ser cualquier valor en un rango determinado. Asimismo, el propio contenido de verdad puede ser difuso, por ejemplo, *quizá Pedro es alto*. La Lógica difusa, propuesta por Zadeh (1965, 1975) permite llegar a conclusiones y estimar su validez, a partir de un conjunto de proposiciones difusas.

En resumen, el desarrollo de la lógica se ha visto estimulado por el propio desarrollo de la Inteligencia Artificial, en la medida que se necesitan mejores herramientas para hacer inferencias en sistemas mecanizados, que resuelvan problemas reales, que es lo que se ha dado en llamar razonamiento automático.

El razonamiento automático ha servido de base tanto para la demostración automática de teoremas (Loveland 1978), como para el diseño de estrategias generales en juegos computarizados y el diseño de mecanismos de inferencia en Sistemas Expertos. Uno de los productos más notables de este campo fue el General Problem Solver (GPS) de Newell & Simon (1963), capaz de demostrar muchos de los teoremas de *Principia Mathematica* de

Whitehead y Russell (1950). Del GPS se han derivado contribuciones importantes en la solución de problemas de planeación.

Inferencia analógica y metafórica

Las analogías y las metáforas amplían nuestro marco conceptual. En efecto, la importancia de la analogía y la metáfora en el lenguaje radica en que nos brinda un modo para movernos de las ideas conocidas y los conceptos familiares hacia otros nuevos y desconocidos. Cuando encontramos que nuestro repertorio de conceptos es inadecuado para expresarnos, podemos unir y reorganizar conceptos en nuevas formas y explorar diferentes perspectivas. La analogía y la metáfora son pues medios flexibles para extender los recursos de nuestro lenguaje, ya que podemos, según Martin y Harré (citados por Eileen C. Way (1991)), concebir más de lo que podemos actualmente decir. De hecho, por medio de la analogía y la metáfora extendemos no sólo los recursos de nuestro lenguaje, sino los de toda nuestra estructura conceptual.

La analogía y la metáfora también son vistas en muchas ocasiones como un método para asimilar conocimiento nuevo al viejo. La analogía y la metáfora son de este modo fundamentales para el aprendizaje, ya que es más sencillo tomar partes de conceptos ya establecidos que crear por completo nuevos conceptos de la nada. El uso de la analogía y la metáfora en la ciencia es ya legendario: el modelo del átomo de Bohr usa la estructura del sistema solar, Maxwell representó el campo eléctrico en términos de las propiedades de los fluidos, átomos vistos como bolas de billar, etc. Por tanto, ni siquiera la ciencia se limita al paradigma del lenguaje literal, aún en ella la analogía y la metáfora juegan un papel revitalizador para idear nuevos modelos y hacer que la ciencia avance. (Lara García 1994)

Cibernética de la cognición

En toda experiencia directa se tiene sólo un conjunto de percepciones que, para que tengan algún significado, necesitan ser procesadas e interpretadas con arreglo a ciertos esquemas conceptuales.

El conocimiento es la construcción por parte del sujeto que conoce de una representación conceptual del objeto que es conocido, de manera que esta representación sea un reflejo adecuado de la realidad. Para ello, es necesario construir un modelo conceptual de la porción de la realidad a que se refiere el conocimiento, plasmando en él el conjunto de objetos y atributos, actores y acciones percibidos.

La construcción, representación y posterior utilización del conocimiento para resolver problemas es una característica esencial de la inteligencia natural, por lo que todo artefacto que pretenda emular ésta, deberá poder al menos captar, almacenar y utilizar oportuna y apropiadamente conocimientos para solucionar problemas reales.

Este proceso de construcción de un modelo conceptual de la realidad a partir de las experiencias constituye un **proceso cognitivo** o proceso de conocimiento.

A partir del conjunto de conceptos adquiridos por experiencia, por instrucción y por abstracción y sus asociaciones se forman las reglas subjetivas e individuales para interpretar el mundo exterior. Con dicho conjunto de reglas se comparan las nuevas sensaciones y percepciones: si éstas encuentran un concepto con el que coincidan, podremos interpretarlas y se dice que tenemos una **certeza**. En cambio, si las nuevas sensaciones no encuentran un concepto con el que coincidan, no sabremos interpretar a esas nuevas sensaciones, y se dice entonces que hay **duda**.

Por ejemplo: Un habitante de Alaska, al ver una aurora boreal, comparará esta sensación con el concepto que tiene de las auroras boreales, concepto que existe, por haberlas visto frecuentemente. Por tanto, dicho sujeto podrá identificar la nueva sensación como correspondiente a una “aurora boreal” y tendrá certeza sobre lo que ésta significa. En cambio, un sujeto que no conozca las auroras boreales ni en los libros, al ver una por primera vez, no tendrá conceptos anteriores con los cuales compararla y por consiguiente no sabrá lo que ese fenómeno significa: tendrá duda y, por consiguiente, tendrá temor. Dicha duda puede eliminarse mediante un nuevo aprendizaje y la creación de un nuevo concepto.

La **certeza**, es pues, el resultado favorable del intento de comparación entre una nueva sensación y los conceptos ya existentes.

La certeza trae asociadas: la confianza y la autoseguridad o seguridad en sí mismo y por consiguiente, la certeza es la base de una conducta directa, firme, confiada y sin

vacilaciones.

La duda, por el contrario, es el resultado desfavorable del intento de comparación entre una nueva sensación y los conceptos ya existentes.

La duda trae asociados: la desconfianza, el temor y la inseguridad en sí mismo y esa influencia afectiva negativa, que estimula los centros de inhibición de la corteza y del núcleo caudal, hace que la duda sea la base de una conducta indirecta, indecisa, reservada y vacilante.

Conclusiones

El impacto de la Cibernética y de los Sistemas Cognitivos se ha centrado en tres campos:

- a) Las Ciencias Cognitivas, que constituyen un campo multidisciplinario en el que intervienen la Psicología, la Pedagogía, la Fisiología y la Epistemología y que estudian la percepción, el aprendizaje y la recuperación y utilización del conocimiento;
- b) La Robótica, que es la rama de la tecnología que se enfoca en el diseño de artefactos que emulan la actuación de los seres humanos;
- c) La Inteligencia Artificial, que tiene por objeto la solución de problemas complejos, mediante la computarización de los procesos requeridos por la mente humana para captar y clasificar información, identificar estructuras y patrones en lo percibido, captar significados, definir sistemas, plantear problemas, buscar soluciones, planear su implantación y hacer el control, seguimiento y adaptación de dichas soluciones a través del tiempo.
- d) El Control Automático, que es la tecnología que permite automatizar los procesos industriales, con el fin de lograr el resultado deseado con un consumo óptimo de recursos.

En las últimas décadas, el desarrollo mundial de la tecnología se ha orientado a apoyar a las disciplinas relacionadas con el control y la información, que por definición están asociadas con la Cibernética. En efecto, estas tecnologías servirán de base al desarrollo científico y tecnológico del siglo XXI, por lo que la investigación y la formación de personal de alto nivel en Cibernética y áreas afines, constituye una de las grandes

prioridades para que un país pueda lograr un grado aceptable de eficiencia en el uso de sus recursos y mantenerse en el nivel requerido de avance científico y tecnológico en las próximas décadas.

Bibliografía

- Arnheim R. (1986) *El pensamiento visual*. España: Editorial Paidós
- Craik K J W.. (1943) "The Nature of Explanation", Cambridge Univ. Press, London.
- Culbertson J T. (1956). "Some uneconomical robots" in *Automata Studies*. Shannon, C E & McCarthy, J (eds). Princeton: Princeton University Press.
- Lara García F. (1994). "El arte visual como medio para representar conocimiento en inteligencia artificial". México: Escuela Nacional de Artes Plásticas, Mimeo.
- Loveland D W. (1978). *Automated Theorem Proving.: A Logical Basis*. Amsterdam: North-Holland.
- McCarthy J. (1980). "Circumscription - a form of non-monotonic reasoning", *Artificial Intelligence*, 13. April.
- McClelland J L & Rumelhart D E (eds) (1986). *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*. Volume 2: Psychological and Biological Models. Cambridge, MA: MIT Press.
- McCulloch W S & Pitts W H. (1943). "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity". *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5:115-133. □
- Newell A & Simon H A.. (1963) "GPS: A Program That Simulates Human Thought", in *Computers and Thought*, E.A. Feigenbaum and J.A. Feldman., eds., New York: McGraw-Hill.
- Pearl J. (1988). *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference*. San Mateo, CA: Morgan Kaufman.
- Reiter R. (1980). "A logic for default reasoning". *Artificial Intelligence*, 13, April.
- Robinson J A. (1965). "A machine-oriented logic based on the Resolution Principle," *Journal of the ACM*, 12.

- Rochester N, Holland J H, Haibt L H & Duda W L. (1956). "Test on a cell assembly theory of the action of the brain, using a large digital computer". *IRE Transactions on Information Theory*. IT-2: 80-93.
- Rosenblatt F. (1958). "The Perceptron: a Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain". *Psychological Review*, 65, No.6: 386-408.
- Rosenblatt F. (1962). *Principles of Neurodynamics*. Washington: Spartan Books.
- Rosenblueth A, Wiener N & Bigelow J. (1943) "Behavior, Purpose, and Teleology", *Philosophy of Science* 10, pp.18 -24.
- Rummelhart D E & McClelland J L. (eds) (1986). *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, Vol 1. Cambridge, MA: MIT Press.
- Simon H A. (1983). "Why should machines learn?" in Michalsky, R S, Carbonell, J G & Mitchell, T M (eds) (1983). *Machine Learning: An Artificial Intelligence Approach*. Palo Alto, CA: Tioga.
- Von Neumann J. (1945) "First draft of a report on the EDVAC" , republicado en *The Origins of Digital Computers: Selected Papers*. Randall, B (ed). Berlín:Springer.1982
- Von Neumann J. (1956). "Probabilistic Logics and the Synthesis of Reliable Organisms from Unreliable Components" in *Automata Studies*. Shannon, C E & McCarthy, J (eds).Princeton: Princeton University Press.
- Way E C. (1991) *Knowledge representation and metaphor*.Holanda: Kluwer Academic Publishers
- Whitehead A N & Russell B. (1950). *Principia Mathematica*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Widrow B & Hoff M E. (1960). "Adaptive switching circuits". 1960 *IRE WESCON Convention Record*, New York: IRE, 96-104.
- Wiener N & Rosenblueth A. (1948). *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. Boston: The Technology Press.
- Zadeh L A. (1965) "Fuzzy Sets",*Information and Control* 8, pp 338 - 353
- Zadeh L A. (1975). "Fuzzy logic and approximate reasoning". *Synthese*, 30.