



UNIVERSIDAD DON VASCO, A.C.

INCORPORACIÓN No. 8727-08

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN Y CONTADURÍA

Desarrollo y comparación de dos algoritmos de redes neuronales artificiales, (Red tipo Elman de transferencia sigmoïdal y Feed-forward) en la predicción de tendencias bursátiles

Tesis

Que para obtener el título de:

Licenciado en Contaduría

Presenta:

JOSÉ RAFAEL NÚÑEZ ESTRADA

**ASESOR: LIC. MARIA TERESA
RODRIGUEZ CORONA**

Uruapan, Michoacán. 21 de enero de 2010





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

En testimonio de mi reconocimiento, gratitud y afecto, me complace expresar mi agradecimiento en la realización y como soporte vital del presente proyecto, así como de mis estudios profesionales a mi familia, mis asesores, maestros y autoridades escolares, quienes me han brindado su compromiso, apoyo y estímulo total en todos los momentos, así como por el profesionalismo de sus enseñanzas, aportaciones y asesorías: Lic. Blanca E. Beltrán Félix, Lic. Martín Octavio Sánchez Padilla, Lic. Maria Teresa Rodríguez Corona, Ing. Martha Catalina Núñez Escamilla, Lic. Trilce Procyon Estrada Piedra, Lic. Diana Monserrat Huerta Madrigal, y Dra. Mariana García Martínez.

ÍNDICE

ÍNDICE	3
1. FINANZAS Y SISTEMAS DE MERCADO	6
1.1 FINANZAS	7
1.1.1 CONCEPTO.....	7
1.1.2 FINANZAS: SUS OBJETIVOS.....	9
1.2 LOS MERCADOS DE VALORES	12
1.2.1 CONDICIONES DE LOS MERCADOS FINANCIEROS	13
1.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MERCADOS FINANCIEROS	14
1.3 MERCADOS DE CAPITALES.....	16
1.3.1 EL SISTEMA FINANCIERO INTERNACIONAL.....	17
1.3.2 EL SISTEMA FINANCIERO MEXICANO.....	27
1.3.3 EL SISTEMA BURSÁTIL MEXICANO	31
1.3.4 PRODUCTOS DERIVADOS	35
2. EVOLUCIÓN Y NEUROFISIOLOGÍA.....	38
2.1 PERFECCIONAMIENTO DE ADAPTACIONES	39
2.1.1 TEORÍAS DE VIDA	39
2.1.1.1 EVOLUCIÓN.....	41
2.1.1.2 REGISTRO FÓSIL.....	42
2.1.1.3 ADELANTOS EN FORMAS DE VIDA.	45
2.1.2. LOCOMOCIÓN EN DOS PIERNAS.....	49
2.1.2.1 PRIMATES.	49
2.1.3 HOMINIZACIÓN.....	55
2.1.3.1 CULTURA.....	59
2.2 ESTRUCTURA DEL SISTEMA NEUROLÓGICO	60
2.2.1 CONTROL NERVIOSO.....	60
2.2.2 ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA CEREBRAL.....	63
2.2.3 PROCESOS MENTALES.....	67
3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES	73
3.1. INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	73

3.1.1 PANORAMA HISTÓRICO	74
3.1.2. PROGRAMACIÓN	81
3.1.3. LENGUAJES IMPERATIVOS Y FUNCIONALES.....	87
3.2 REDES NEURONALES ARTIFICIALES.....	90
3.2.1 LA NEURONA ARTIFICIAL.....	90
3.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS RNA	105
4. PREDICCIONES CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES	123
4.1 PRONOSTICOS BURSÁTILES UTILIZANDO RNA	123
4.1.2 MATLAB®	124
4.1.3 ENTORNO DE TRABAJO.....	125
4.1.4 NEURAL NETWORK TOOLBOX	126
4.1.5 DISEÑO, DESARROLLO Y APLICACIÓN DEL SOFTWARE	129
4.1.6 RESULTADOS.....	140
CONCLUSIONES	145
BIBLIOGRAFÍA	145

INTRODUCCIÓN

Cuando un científico realiza un descubrimiento y se ha logrado explicar el porqué de éste, se crea ciencia. Cuando el científico ha terminado de trabajar, el descubrimiento se aplica para intentar encontrar y/o desarrollar aplicaciones prácticas, a esto se le llama tecnología. Desde los instrumentos de piedra hasta la fábrica autómatas el hombre ha creado herramientas para construir, comunicar, transportar, e incluso para matar.

Como puede verse, la tecnología es fundamental para la humanidad en la resolución de sus problemas. Lo que motiva principalmente a resolver determinadas circunstancias es la necesidad de adaptación, capacidad propia del sistema neurológico.

Algunos filósofos griegos como Aristóteles (384-322 a.C.) y Platón (427-347 a.C.) dieron las primeras explicaciones sobre el cerebro y el pensamiento; ideas que de igual forma sostuvo Descartes (1596-1650). En la actualidad los conocimientos anatómicos y fisiológicos del sistema nervioso central son muy avanzados, a tal grado que los expertos en informática han intentado emular su funcionamiento matemáticamente.

Modernas teorías de aprendizaje en Inteligencia Artificial sugieren utilizar como herramientas los computadores digitales para modelar sistemas de inspiraciones neuronales, así como agrupaciones de neuronas artificiales que se denominan Redes Neuronales Artificiales. De forma breve una Red Neuronal

Artificial es un sistema informático reticular que aprende de la experiencia mediante la auto-modificación de sus conexiones, capaz de manejar las imprecisiones e incertidumbres que aparecen cuando se trata de resolver problemas relacionados con el mundo real.

En el presente texto se destacará la importancia de las Redes Neuronales Artificiales ante situaciones en las que debemos estimar o predecir el comportamiento de una variable criterio en función de una o más variables predictivas. Cuando el criterio es una variable cualitativa / categorial se suele hablar de problemas de clasificación, mientras que cuando es una variable cuantitativa, se habla de problemas de clasificación.

Tradicionalmente las soluciones a problemas de clasificación / predicción, han guardado una perspectiva de modelos estadísticos de regresión lineal y múltiple, análisis discriminante y regresión logística para problemas de clasificación, métodos que han evolucionado en función a la complejidad de las relaciones empresariales exigiendo más precisión y confianza. Estos sistemas y los relacionados con Inteligencia Artificial han sido analizados y algunas veces comparados por expertos tratando de investigar su eficacia, lo que los ha remitido a la opinión de que las mejores predicciones se efectúan utilizando conjuntamente ambas técnicas.

Las gestoras de fondos y de patrimonios, inversionistas institucionales, clubes de inversión y ahorradores en general, buscando mantener el liderazgo en todos los segmentos competitivos dentro de un mercado altamente cambiante,

podrán auxiliarse de esta clase de modelos en sus planes de negocios asegurando una mejor calidad de sus servicios al obtener resultados operacionales particularmente destacados reflejando en su éxito esta clase de estrategias.

El material expreso en los capítulos uno, dos y tres constituye una decantación de conceptos donde se analizará la importancia y relación entre las finanzas, la base evolutiva de las adaptaciones del hombre a su medio hasta llegar al clímax tecnológico en el que las técnicas de inteligencia artificial lo ayudan en la resolución de sus problemas, en este caso, se demostrará el grado de efectividad en pronósticos bursátiles aplicando al tratamiento de la información financiera la tecnología de las Redes Neuronales Artificiales; así mismo, en el capítulo cuatro, se construirán dos algoritmos de Redes Neuronales capaces de predecir el comportamiento futuro de las acciones de Microsoft Corp. a partir de la evolución histórica de precios y volúmenes de negociación utilizando como modelador de los algoritmos el software MATLAB[®] versión 7.0.

1. FINANZAS Y SISTEMAS DE MERCADO

Non nova, sed nove...

“Incluso el individuo mejor dotado, sea poeta o físico, no desarrollará su potencial completo o no aportará su total contribución a su época si su imaginación no ha sido iluminada por las aspiraciones y realizaciones de los que le han precedido. Los humanistas eruditos tienen, por tanto... el privilegio y la obligación de interpretar el pasado para cada nueva generación de hombres que tienen que vivir en un pequeño rincón, durante un corto periodo de tiempo”.

Este fragmento es parte de la afirmación que hizo la caracterizada Comisión de Humanidades, formada en 1963 por tres de las principales organizaciones académicas de los Estados Unidos; su énfasis en los preceptos que han aportado generaciones pasadas, donde como ejemplo pudiésemos señalar a la antigua Grecia, ya que independientemente de tener un especial efecto sobre la imaginación de los hombres, ha legado innumerables conocimientos que van desde las Bellas Artes, hasta la filosofía en su más elevada expresión. Una de las características esenciales de los atenienses, es que tenían siempre presente la

necesidad de mantener un equilibrio entre la ambición personal y el interés público; son dos ideas cuyo fin principal es brindar tranquilidad y control sobre el patrimonio; es decir, cumplir con la satisfacción de una de las necesidades primarias del hombre: la seguridad.

Al intentar cumplir con necesidades como ésta, el hombre se preocupa por proyectar sus ideas hacia los medios más adecuados para obtener sus fines bajo las mejores condiciones posibles; ¿Con que término se denomina el artificio de obtener y aplicar recursos para lograr objetivos e inmersamente ganar cierta seguridad? Hablando técnicamente se trata de finanzas.

1.1 FINANZAS

1.1.1 CONCEPTO

Las finanzas son el conjunto de operaciones que se realizan con el fin de incrementar utilidades o minimizar pérdidas mediante series de operaciones e información. Las finanzas se pueden dar en escala particular o colectiva; en el caso de las empresas, la información que se utiliza es la que genera la contabilidad y la economía en sus dos variantes, macro y micro. Un objetivo que deben cubrir las finanzas es proporcionar los conocimientos básicos para determinar los requerimientos monetarios de una empresa y buscar la forma de que se satisfagan bajo la menor inversión posible y con los resultados más óptimos.

Entre las funciones financieras, podemos destacar el análisis y la planeación de las actividades económicas; es decir, la transformación de datos que muestren información acerca de la situación en que se encuentra una empresa, en otras palabras, evaluar que tan necesario es incrementar la capacidad productiva y precisar cuánto y qué tipo de financiamiento será el más adecuado.

Involucradas también con funciones financieras, tenemos otras actividades muy particulares de las empresas, como lo son el financiamiento y las inversiones, donde podemos englobar operaciones como la supervisión de la caja de la empresa, la búsqueda de fondos adicionales si éstos fueran necesarios, así como las inversiones de fondos sobre proyectos. Las funciones financieras directamente conectadas a la contabilidad y el control, son tales como el mantenimiento de registros financieros, identificación de desviaciones a los planes y/o ejecución eficiente. La administración de nominas pudiese encuadrarse dentro de este punto, junto con los impuestos, inventarios y activos fijos. Respecto a los pronósticos y la planeación a largo plazo, podemos señalar los presupuestos de costos, algunos cambios tecnológicos, las condiciones del mercado de capital, fondos necesarios para inversión, retornos en proyectos de inversión propuestos, la demanda del producto de la empresa incluyendo aquí la determinación del impacto de políticas de precios en la rentabilidad. Como se ha visto, en la mayoría de estas funciones observamos que es necesario un manejo y control de datos históricos para presupuestar; es decir, planear futuras operaciones.

1.1.2 FINANZAS: SUS OBJETIVOS

Un sistema de finanzas generalmente ha sido pensado como un espacio de encuentro de información; se conjugan los datos de las percepciones y de los requerimientos que tiene la empresa; es decir, visto desde un punto de vista logístico, es un grupo humano con conocimientos técnicos y precisos de procedimientos buscando soluciones adecuadas acerca del destino y buen aprovechamiento de los recursos que genera la empresa, y a su vez, encontrar formas que incrementen sus rendimientos. El personal involucrado en el área financiera de una organización necesariamente deberá desarrollar procedimientos heurísticos para el descubrimiento de patrones y relaciones del correcto funcionamiento de la empresa incrementando así el valor de la empresa para sus dueños y al mismo tiempo hacer frente a la modernización y cambios estructurales micro y macroeconómicos.

Como casi cualquier objetivo, el de las finanzas intenta cubrir necesidades; estas necesidades se refieren a facilitar y atender cuidadosamente determinadas decisiones que se suscitan conforme evoluciona la organización. Principalmente el departamento de finanzas de una empresa, enfoca su atención en decisiones de inversión, de financiamiento y de la adecuada distribución de utilidades. Las decisiones de inversión se concentran en proyectar adecuadamente el uso de los recursos a fin de generar utilidades futuras. Las decisiones de financiamiento buscan la forma menos onerosa de obtener el circulante necesario, tanto para

iniciar un proyecto de inversión como para afrontar contingencias. Como tercer término, pero no menos importante, tenemos las decisiones correspondientes a la adecuada distribución de utilidades, las cuales tratan de repartir los beneficios en una proporción tal que origine un rédito importante para los propietarios de la entidad económica, y a la vez, la valoración de la misma. Así es como estos tres tipos de decisiones dirigidas bajo un adecuado sistema, pueden hacer de ellas oportunidades de desarrollo y solución incluso a problemas cada vez más abstractos y menos de observación empírica, sino con una inclinación a representaciones lógicas.

Detallando un poco acerca de las decisiones antes mencionadas, tenemos que las decisiones de inversión se caracterizan por realizar una o varias de las actividades tendientes a la asignación de capitales y flujos netos de fondos futuros y su evaluación con el fin de generar utilidades, esto es que debido a que los beneficios futuros no se conocen con certeza, es inevitable que en las propuestas de inversión exista determinado riesgo, y por consecuencia deben evaluarse en relación con el rendimiento y riesgo esperados, ya que estos son los factores que afectan a la valuación de la empresa en el mercado también forma parte de la decisión de inversión la determinación de reasignar el capital cuando un activo ya no se justifica, ya sea por el grado de obsolescencia o por el tipo de operaciones desde el punto de vista económico, el capital comprometido en él. Las decisiones relativas a la financiación son delimitadas concretamente a las operaciones para la

obtención y evaluación de fondos para la realización de proyectos en marcha o proyectos futuros. Vemos así, que la atención del administrador financiero debe centrarse en determinar cuál es la mejor combinación de financiamiento o estructura de capital. Respecto a las decisiones de distribución de utilidades, podemos decir, que es la medida de utilidades que se racionarán entre los propietarios de la compañía, así como los recursos que permanecerán como utilidades retenidas, destinados a recapitalizar la empresa. Incluye el porcentaje de las utilidades por pagar a los accionistas mediante dividendos en efectivo, la estabilidad de los dividendos absolutos en relación con una tendencia, dividendos en acciones y división de acciones, así como la readquisición de acciones.

En los tres tipos de decisiones mencionados se involucran las acciones; en la inversión al tener la alternativa de invertir determinado monto si las posibilidades así lo permiten, en el financiamiento, si la empresa cuenta con una inversión en activos financieros y éstos generan rendimientos, y también en la distribución de utilidades, si es lo que determina la administración de la compañía.

Las acciones son títulos representativos de las partes iguales en que se divide el capital social de una empresa; éstas sirven para acreditar y transmitir la calidad y los derechos de socio propietario, en proporción con el monto de acciones suscritas, el derecho de voto puede influir en las decisiones sociedad; asimismo, su importe manifiesta el límite de la obligación que contrae el tenedor

de la acción ante terceros y ante la empresa. La rentabilidad generada por las acciones es por medio de dos sistemas:

- *Valorización*: Depende exclusivamente del comportamiento de la economía y de la empresa, el valor de la acción aumenta o disminuye; esta variación arroja un margen de diferencia entre su valor final y el valor inicial en un lapso de tiempo determinado, la diferencia de precio puede ser positiva o negativa, y se le denomina valorización positiva o negativa de la inversión.
- *Dividendo*: Es el derecho de los tenedores de acciones a recibir su participación correspondiente de las utilidades de la empresa, a través del pago del dividendo. Los dividendos pueden ser entregados en efectivo, en acciones o en especie.

1.2 LOS MERCADOS DE VALORES

Los Mercados Financieros son subsistemas de un gran sistema financiero con un gran marco institucional en el cual se reúnen oferentes y demandantes de fondos a fin de realizar transacciones entre sí. En un extremo se encuentran entidades con un superávit económico que buscan primordialmente invertirlo para que genere rendimientos; en el otro extremo, se encuentra el conjunto entidades con un déficit, y éstas buscan financiamientos, así que emiten títulos de crédito para que las entidades con superávit las compren y así lograr un equilibrio; las dos partes se encuentran unidas por intermediarios financieros, que son las

instituciones que sirven de depositarios de los fondos mientras se realiza la transacción, y también se unen mediante agentes especialistas; personas con conocimientos técnicos y sistematizados que sirven de mediadores y actúan en forma externa.

El mercado financiero es un mecanismo en el que se compran y venden activos financieros, su funcionamiento puede ser mediante computadoras, fax, o teléfono, incluso a presencia física. El precio de los activos financieros es determinado por la oferta, la demanda y las condiciones del Mercado Financiero.

1.2.1 CONDICIONES DE LOS MERCADOS FINANCIEROS

Las condiciones de los Mercados Financieros son el conjunto de elementos característicos que influyen directamente en las leyes de la oferta y de la demanda sobre los activos financieros; en primer término, se hablará sobre la *Amplitud*, la cual se considera que es el número de títulos financieros que se negocian en un mercado financiero; cuantos más títulos se negocien más amplio será el mercado financiero. Otra condición es la *Profundidad*; es la denominación cuantitativa existente de curvas de oferta y demanda sobre y debajo del precio de equilibrio que existe en un momento determinado. La *Libertad* es otra condición en la que se evalúa la cantidad de barreras para entrar a dicho Mercado, tenemos como característica también a la *flexibilidad*; es la capacidad de cambio que tienen los activos financieros a merced de las variables en la economía; es decir, mientras más cambie el precio de un activo financiero ante los cambios que se produzcan

en la economía, se dice que es más flexible. Por último tenemos la *Transparencia*, posibilidad de obtener la información fácilmente. Un mercado financiero será más transparente cuando más fácil sea obtener la información. Mientras un mercado se apegue a estas características, más perfecto es.

1.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MERCADOS FINANCIEROS

- *Directos e Indirectos*. El término de Mercados Directos, se refiere a que las unidades con superávit económico, van directamente a las empresas a ofrecer sus recursos; por tanto, los Mercados Indirectos, surgen al existir intermediarios entre las dos entidades, la oferente y la demandante, estos intermediarios son los antes mencionados Agentes Financieros e Intermediarios Financieros.

- *Libres y Regulados*: Los Mercados Libres se caracterizan por que en sus entradas y salidas no existe restricción alguna; de igual forma para la variación de los precios. Por lo contrario, en los Mercados Regulados, existen determinadas restricciones que como su nombre lo señala, regulan el buen funcionamiento del mercado.

- *Organizados y No inscritos*: La Organización en materia de Mercados Financieros, se refiere a la existencia de cualquier tipo de reglamentación, a los que cuentan con ésta, se les conoce como Mercados Organizados; la

contraparte de éstos son conocidos como Mercados No inscritos, los cuales no cuentan con ningún tipo de legislación.

- *Primarios y Secundarios:* En los Mercados Primarios las empresas u organismos públicos obtienen los recursos financieros. En los Secundarios, son las transacciones que se realizan con las acciones entre los propietarios de los activos financieros (reventa o recompra activos financieros).

- *Centralizados y Descentralizados:* En los Mercados Financieros Centralizados existe un precio único y un lugar único de negociación, a diferencia de los Descentralizados, que existen varios precios para el mismo activo financiero.

- *Monetarios y de Capital:* Los Mercados Monetarios son característicos de la negociación a corto plazo, y con volúmenes elevados. En los Mercados de Capital, se efectúan las operaciones con títulos a mayor plazo.

1.3 MERCADOS DE CAPITALLES

Los Mercados de Capitales, también conocidos como Bolsas de Valores, son destinados a la negociación exclusiva de las acciones y valores convertibles que otorguen el derecho de adquisición o suscripción. Como ya se ha visto anteriormente, un activo financiero es un activo intangible que tiene cierto valor de cambio, los activos financieros, tienen como características la Liquidez, la Rentabilidad y el Riesgo; por Liquidez, se entiende que son de fácil transformación en dinero.

La *Liquidez* la proporciona el mercado financiero donde el activo financiero se negocia. La *Rentabilidad* es la capacidad de obtener resultados, la cual se obtendrá bien en cobros de dividendos o a través de ganancia de capital. El *Riesgo* es la solvencia del emisor del activo financiero para hacer frente a todas sus obligaciones. Cuanto mayor es el riesgo que se asume en un activo financiero, mayor es la rentabilidad que se espera obtener. El riesgo se mide a través de la volatilidad, la cual a su vez se mide a través de la desviación típica. Una de las diferencias entre las acciones y las obligaciones, es que en las primeras no se conoce los beneficios que proporcionarán, de esto se les llama de “Renta Variable”

1.3.1 EL SISTEMA FINANCIERO INTERNACIONAL

A un amplio conjunto de personas y organizaciones públicas y privadas por medio de las cuales se captan, administran, regulan y dirigen los recursos financieros que se negocian entre los diversos agentes económicos dentro de un marco legislativo, se le conoce como Sistema Financiero, cuyas instituciones y operaciones giran en torno a un núcleo de cuatro ejes:

1. Banco Mundial o The World Bank Group.
 2. Fondo Monetario Internacional.
 3. Banco de Pagos Internacionales.
 4. Asociaciones internacionales.
1. *Banco Mundial*. Promueve la apertura de los mercados y el fortalecimiento de las economías, su objetivo primordial es mejorar la calidad de vida y aumentar la prosperidad de las personas en el mundo, los créditos que otorga se destinan comúnmente a fines humanitarios y de desarrollo económico como proyectos de infraestructura. Éste a su vez está constituido por otras agrupaciones:
- El Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo
 - Fundado en 1944
 - Lo conforman 180 países
 - Otorga créditos a países con ingresos medios

- La Asociación Internacional para el Desarrollo la Corporación Financiera Internacional
 - Establecida en 1960
 - La integran 159 países
 - Proporciona créditos sin interés a los países más pobres del mundo.

- La Corporación Financiera Internacional
 - Fundada en 1956
 - Integrada por 172 países
 - Promueve el crecimiento económico, prestando recursos directamente al sector privado de los países en desarrollo.

- La Agencia de Garantías de Inversiones Multilaterales
 - Establecida en 1988
 - Está integrada por 141 países
 - Promueve la inversión privada en países en desarrollo

- Centro Internacional para la Resolución de Disputas sobre Inversión
 - Fundado en 1966
 - Está integrada por 127 países
 - Ofrece servicios de conciliación y arbitraje para disputas entre inversionistas y gobiernos anfitriones

La Estructura de gobierno del banco Mundial está formada por un Consejo de Gobernadores, los Directores Ejecutivos y la Oficina del Presidente. El Consejo de Gobernadores está integrado por un gobernador y por un gobernador alterno nombrado por cada uno de los países miembros. Se reúne anualmente y sus responsabilidades incluyen la admisión y suspensión de miembros, los cambios en el capital, los acuerdos con otras organizaciones internacionales y la distribución de los ingresos netos.

2. *Fondo Monetario Internacional*. organismo cuyo fin es:

- ❑ Promover la cooperación monetaria internacional.
- ❑ Facilitar la expansión y el crecimiento equilibrado del comercio internacional.
- ❑ Promover la estabilidad de los tipos de cambio.
- ❑ Auxiliar en el establecimiento de un sistema multilateral de pagos.
- ❑ Poner sus recursos generales temporalmente a la disposición de los miembros que sufran dificultades en su balanza de pagos, bajo las salvaguardas indicadas.
- ❑ Acortar la duración y disminuir el grado de desequilibrio en las balanzas de pagos internacionales de sus miembros.

Sus principales áreas de actividad son:

- *Supervisión*: Evaluación de las políticas cambiarias.
- *Acuerdos precautorios*: Sirven para fomentar la confianza internacional en las políticas de los miembros.
- *Verificación de programas*: Establecimiento de puntos de referencia.
- *Asistencia financiera*: Incluye créditos y préstamos otorgados por el Fondo Monetario.
- *Asistencia técnica*. Consiste en la experiencia y auxilio que ofrece el Fondo Monetario Internacional a sus miembros en diversas áreas globales.

El Fondo Monetario Internacional pone sus recursos financieros a disposición de países miembros por medio de diversas facilidades, los miembros tienen acceso por sí mismos a los recursos financieros del Fondo Monetario Internacional adquiriendo (retirando) divisas o derechos especiales de giro de otros miembros con una cantidad equivalente de sus propias monedas.

3. *Banco de Pagos Internacionales*. Sus propietarios son bancos centrales, mismos que la controlan, y ofrece diversos servicios altamente especializados a los bancos centrales. Las actividades básicas del Banco consisten en promover la cooperación de los bancos centrales y ofrecer facilidades adicionales para operaciones financieras internacionales, uno de los

principales objetivos de cooperación internacional de los bancos centrales ha sido siempre promover la estabilidad financiera internacional. Este banco actúa también como agente o fiduciario en relación con diversos acuerdos financieros internacionales. El Banco hace negocios y mantiene relaciones con una cantidad considerablemente superior a los bancos centrales que tienen acciones en él, ya que aproximadamente 120 bancos centrales e instituciones financieras internacionales utilizan al Banco de Pagos Internacionales como banco.

Los tres entes administrativos del Banco son: la Asamblea General, el Consejo de Directores y los Administradores y es el punto de reunión para bancos centrales. El propósito de sus reuniones es lograr un elevado grado de comprensión mutua con respecto a las cuestiones monetarias y económicas y facilitar la cooperación internacional en áreas de interés común, en particular con respecto a la revisión y al apoyo al sistema financiero internacional. Aparte de las tareas específicas que realiza el Banco de Pagos Internacionales, y de los diversos comités y grupos de expertos que organiza, su departamento monetario y económico realiza investigaciones particularmente de cuestiones monetarias y financieras, recopila y publica datos sobre banca internacional y desarrollo de mercados financieros y mantiene una base de datos económicos en el interior de los bancos centrales, a la que tienen acceso automatizado los bancos centrales que contribuyen.

La Federación Internacional de Bolsas de Valores. Es una organización mundial para los mercados regulados de valores y de derivados que promueve el desarrollo profesional de negocios en los mercados financieros, nacional e internacionalmente. Mediante el reporte, el ajuste y la custodia, los mercados miembros de la Federación Internacional de Bolsas de Valores han desarrollado soluciones sólidas que ofrecen tanto protección a los inversionistas como mercados eficientes. Las nuevas tecnologías estimulan a los miembros de la Federación Internacional de Bolsas de Valores a hacer que sus servicios sean más eficientes y atractivos en términos de costos y más confiables y amigables para los usuarios. La cooperación de las bolsas miembros de la Federación Internacional de Bolsas de Valores es fundamental para el desarrollo de la industria. Los mercados financieros ofrecen su intermediación en un ambiente cada vez más competitivo, pero el desafío de los crecientes volúmenes de intermediación de capital, con frecuencia entre fronteras llegan en un momento en que la tecnología y el cambio sociopolítico están rápidamente obligando a los miembros a alterar los medios y, en alguna forma, la naturaleza misma de sus prácticas tradicionales de negocios.

Los objetivos de la Federación Internacional de Bolsas de Valores son mantener una plataforma de profesionales de mercados de valores para evaluar temas de interés común, para identificar nuevos enfoques y soluciones que mejoren la posición competitiva de los mercados regulados y para desarrollar

programas que den apoyo a las operaciones de las bolsas de valores incluyendo referencias como estándares de calidad y las mejores prácticas. De igual forma crear, desarrollar y mantener una relación cooperativa con los reguladores, con el propósito de promover los beneficios de la autorregulación de las Bolsas de Valores, dentro de la estructura total de regulación, tanto en el ámbito nacional como internacional; dar apoyo a las bolsas que están en proceso de desarrollo en sus esfuerzos para lograr mercados que funcionen de acuerdo con los estándares de los miembros de la Federación Internacional de Bolsas de Valores, y así contribuir al respeto global de las normas de una industria bien regulada.

Entre los organismos más importantes, se encuentran clasificados algunos de Estados Unidos, como son *El Consejo de la Reserva Federal*, el cual es un banco central fundado por el Congreso en 1913 para ofrecer a la nación un sistema financiero y monetario más seguro, flexible y estable; con los años, se ha ampliado su papel en la banca y en la economía. En la actualidad las responsabilidades de la reserva federal se dividen en cuatro áreas generales:

- Dirigir la política monetaria del país.
- Supervisar y regular a las instituciones bancarias para consolidar la seguridad y la solidez del sistema bancario y financiero nacional y así proteger los derechos de crédito de los consumidores.
- controlar el riesgo que puede surgir en los mercados financieros.

- Ofrecer ciertos servicios financieros al Gobierno de Estados Unidos, al público, a las instituciones financieras y a las instituciones oficiales del extranjero.

La Bolsa de Valores de Nueva York (NYSE). Es la más grande de Estados Unidos y del mundo. En esta bolsa operan acciones tanto de empresas estadounidenses como de compañías de todo el mundo, incluyendo mexicanas.

NASDAQ. La National Association of Securities Dealers, Inc. (NASD) que opera bajo supervisión de la Securities and Exchange Commission (Comisión de Valores y cambios) es la organización autorregulada más grande de Estados Unidos. Todo corredor y operador del país que lleva a cabo negocios de valores con el público debe, por ley, ser miembro de la NASD. Por medio de sus subsidiarias, The NASDAQ Stock, market Inc., y la NASD Regulation, Inc., la NASD elabora reglas y reglamentos, realiza revisiones reglamentarias de las actividades de negocios de sus miembros y diseña y opera servicios e instalaciones en el mercado. Por su parte, el Mercado de Valores NASDAQ es el mayor mercado electrónico del mundo y tiene capacidad para manejar un volumen de acciones superior a mil millones de títulos al día. Conocida por sus compañías innovadoras y de vanguardia, la NASDAQ tiene dos secciones el Mercado nacional NASDAQ, que incluye a las compañías más grandes y con mayor

volumen de operación, y la NASDAQ Small Cap Market, que comprende a las compañías en proceso de crecimiento.

Bolsa Comercial de Chicago (The Chicago Board of Trade). Establecida en 1848, es la bolsa de futuros y opciones más grande y más antigua del mundo. Más de 3,600 miembros operan 51 productos diferentes de futuros y de opciones, lo cual dio como resultado un volumen de operación de 242.7 millones de contratos en 1997. Al inicio, operaba únicamente contratos de futuros agrícolas, como trigo, maíz y frijól de soya. En 1975, se amplió para incluir contratos financieros, incluyendo los de futuros sobre Bonos de la Tesorería de Estados Unidos, que es actualmente uno de los contratos que más activamente se opera en el mundo. La Bolsa comercial de Chicago se expandió de nueva cuenta en 1982, con la introducción de los contratos de opciones sobre futuros. Los contratos más recientes de futuros y de opciones sobre futuros en la Bolsa Comercial de Chicago, que se basan en el Dow Jones (Índice Industrial Dow Jones), fueron lanzados en exclusiva en la Bolsa Comercial de Chicago el 6 de octubre de 1997.

El principal método de operación en la Bolsa Comercial de Chicago es a viva voz, mediante el cual los operadores se reúnen cara a cara para comprar y vender contratos de futuros. El papel de la Bolsa Comercial de Chicago es ofrecer mercados para sus miembros y clientes y supervisar la integridad y la administración de sus mercados. Las bolsas de futuros ofrecen precios de

mercado libre que se concentran en un remate abierto. El mercado asimila la información nueva durante todo el día de operaciones y traduce esta información en una sola cifra de referencia: un precio justo en el mercado que acuerdan tanto comprador como vendedor. Un segundo propósito de la Bolsa comercial de Chicago es ofrecer oportunidades para la administración de riesgos a agricultores, compañías, propietarios de pequeños negocios y otros usuarios del mercado. La Bolsa Comercial de Chicago es una asociación de miembros con gobierno propio, que sirve como organización matriz para empresas que son miembros.

(www.sciencedirect.com)

Entre los organismos Europeos de mayor relevancia destacan *El Banco Europeo de Inversiones (European Investment Bank)*, que fue creado en 1958 como un cuerpo autónomo para financiar inversiones de capital que promuevan la integración europea mediante la promoción de las políticas económicas de la Unión Europea. Su propósito es contribuir a la integración, desarrollo equilibrio y cohesión económica y social de los países miembros. Con este fin, obtiene en los mercados considerables cantidades de fondos que asigna, en las condiciones más favorables, al financiamiento de proyectos de capital acordes con los objetivos de la Unión europea. Fuera de la Unión, el Banco Europeo de Inversiones pone en práctica los componentes financieros de los acuerdos tomados bajo las políticas europeas de asistencia y cooperación. De igual forma podemos mencionar a la *European Association of Securities Dealers Automated Quotation (Cotizaciones*

Automatizadas de la Asociación Europea de Operadores de Valores); EASDAQ es el mercado de valores Europeo para compañías de elevado crecimiento. Esta organizada en forma similar al NASDAQ estadounidense y ofrece acceso a una amplia base institucional y de inversionistas al menudeo. Las operaciones en la EASDAQ las llevan a cabo sus miembros europeos, que están actualmente ubicados en el reino Unido, Francia, Alemania, Holanda, Suiza, Austria, Bélgica, Portugal, Italia, Dinamarca, Finlandia, Grecia y Luxemburgo. Los fundadores consideran que el futuro económico de Europa está en el avance de los sectores con valor agregado y gran crecimiento, como la biotecnología, la industria farmacéutica y de atención a la salud, las telecomunicaciones y la ingeniería y las tecnologías de computación. Los fundadores y accionistas de la EASDAQ provienen de las comunidades financieras de Europa, Israel y Estados Unidos. La EASDAQ ofrece operaciones y finiquitos eficientes en toda Europa, en un mercado altamente regulado y líquido, también representa una colaboración única entre banqueros de inversión, corredores de valores e instituciones e inversión, para ofrecer un mecanismo que fomente el desarrollo y la innovación económica en Europa. (www.sciencedirect.com)

1.3.2 EL SISTEMA FINANCIERO MEXICANO

En México, de igual forma existe un conjunto de personas que perciben y canalizan inversiones bajo determinados marcos legales; las entidades que los componen podrían esquematizarse como:

- I. Instituciones reguladoras.
- II. Instituciones financieras; son las que realizan propiamente las actividades financieras.
- III. Las personas y las organizaciones que realizan operaciones con las instituciones financieras en calidad de clientes.
- IV. El conjunto de las instituciones llamadas comúnmente “organizaciones auxiliares” que conforman las aseguradoras y las asociaciones de bancos.

En primer término, destacaremos a las *instituciones reguladoras*, éstas ejercen actividades primordialmente de control y son entidades públicas, las políticas monetarias y financieras son producto de estas instituciones, a fin de regular y supervisar las operaciones del mercado, las organizaciones pertenecientes a esta clasificación son básicamente:

- La Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).
- El Banco de México (BANXICO).
- La Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV).
- La Comisión Nacional de Seguros y Fianzas (CNSF).
- La Comisión Nacional del Sistema de Ahorro para el Retiro (CONSAR).

Respecto a las *instituciones financieras* mencionadas en el punto número II, se encuentran separadas según la clase de actividad:

- Instituciones de crédito (sistema bancario).
- Sistema bursátil.
- Instituciones de seguros y fianzas.
- Organizaciones y actividades auxiliares del crédito.
- Sistema de Ahorro para el Retiro (SAR).
- Grupos financieros.

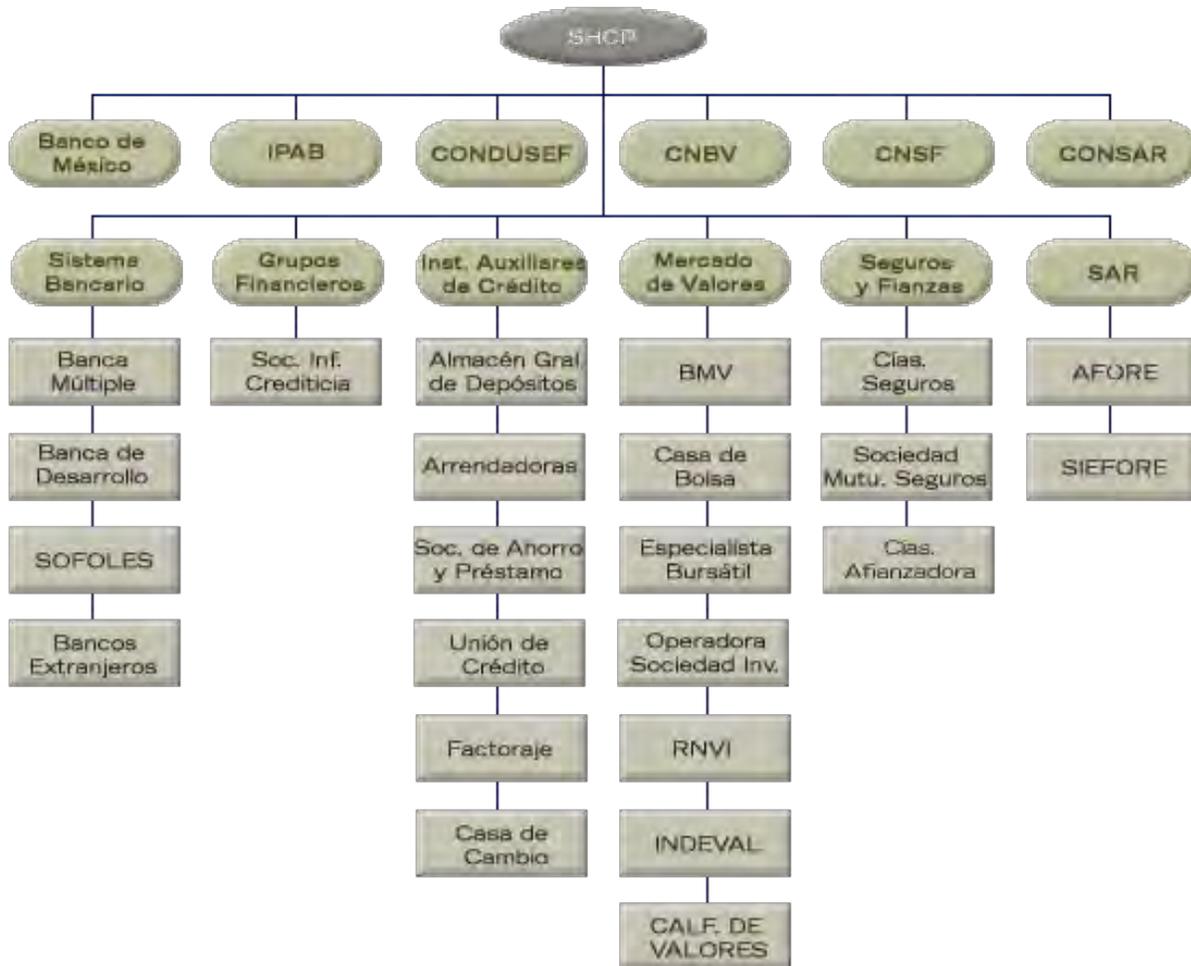
La clasificación de las *Organizaciones Auxiliares* es de la siguiente forma:

- Asociaciones de instituciones financieras.
- Asociaciones de clientes de las instituciones financieras.
- Organizaciones dedicadas al estudio de determinadas actividades.
- Fondos de fomento.

La tipificación legislativa de relación directa con el sistema, parte desde la propia Constitución Mexicana de los Estados Unidos Mexicanos hasta las mencionadas a continuación:

- | | |
|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| ▪ Ley de Instituciones de Crédito. | ▪ Ley para regular las |
| ▪ Ley Reglamentaria del Servicio Público de Banca y Crédito. | Agrupaciones Financieras. |
| ▪ Ley del Banco de México. | ▪ Ley General de Organizaciones y Actividades. |
| | ▪ Auxiliares del Crédito |

En el siguiente esquema se puede apreciar la forma y estructuración principal del Sistema Financiero Mexicano, así como sus dependencias y relaciones con cada una de las unidades que lo conforman.



ESQUEMA 1.3.2.1

(www.consulta.inlatrade.com.mx)

1.3.3 EL SISTEMA BURSÁTIL MEXICANO

El sistema bursátil mexicano puede definirse como una agrupación de organizaciones públicas y privadas, mediante las que se regulan y llevan a cabo actividades crediticias a través de títulos-valor que se negocian en la Bolsa Mexicana de Valores bajo las disposiciones de la Ley del Mercado de Valores.

Su mecanismo consiste en el contacto de oferentes y demandantes en una casa de bolsa, quienes intercambian los recursos monetarios. Los oferentes obtienen cierto rendimiento, mismo que representa un costo para los demandantes. Las operaciones de intercambio de recursos se documentan mediante títulos-valor que se negocian en la Bolsa Mexicana de Valores. Para poder realizar estas actividades, se lleva un control de registro sin el cual no pueden operar ni agentes, ni documentos; ambos deben contar con la certificación en el Registro Nacional de Valores e Intermediarios. Los documentos además deben depositarse en instituciones para depósito de valores. La supervisión y regulación de las operaciones, son ejercidas por la Comisión Nacional Bancaria y de Valores basándose en la Ley de Mercado de Valores y en otras disposiciones. Con el término “valores” se considera a las acciones, obligaciones y demás títulos de crédito que se metan en serie o en masa, y como “oferta pública” a cualquiera que se haga por algún medio de comunicación masiva o a persona indeterminada para suscribir, enajenar o adquirir valores. Las Casas de Bolsa son generalmente sociedades anónimas registradas como tales en la sección Intermediarios del

Registro Nacional de Valores e Intermediarios. Las actividades que las casas de bolsa pueden llevar a cabo son:

- Actuar como especialistas bursátiles.
- Actuar como intermediarios en el mercado de valores.
- Actuar como representantes comunes de obligaciones y tenedores de otros valores.
- Administrar las reservas para fondos de pensión o jubilaciones de personal.
- Celebrar reportes sobre valores.
- Conceder préstamos o créditos.
- Crédito de sus propias actividades.
- Depósito de valores.
- Estabilidad a los precios de éstos y a reducir los márgenes entre cotizaciones de compra y venta.
- Invertir en acciones de otras sociedades que les presten servicios o cuyo objeto sea auxiliar o complementario.
- Prestar asesoría en materia de valores.
- Proporcionar servicio de guarda y administración de valores, depositando los títulos en una institución.
- Realizar inversiones.
- Realizar operaciones por cuenta propia que faciliten la colocación de valores.

- Recibir fondos por concepto de las operaciones con valores que se les encomienden.
- Recibir préstamos o créditos.

Los valores que se negocian en la Bolsa Mexicana de valores son los siguientes:

- Acciones.
- Aceptaciones bancarias.
- Bonos.
- Certificados de la Tesorería de la Federación (CETES).
- Certificados de participación.
- Certificados de depósito.
- Obligaciones.
- Pagarés.
- Papel comercial.

Las funciones de intermediación son:

- a) Operaciones de correturía, de comisión u otras, tendientes a poner en contacto la oferta y la demanda de valores.
- b) Operaciones por cuenta propia, con valores emitidos o garantizados por terceros, con respecto de las cuales se haga oferta pública.
- c) Administración y manejo de carteras de valores propiedades de terceros.

Los Especialistas bursátiles son intermediarios que generalmente actúan por cuenta propia, respecto de los valores en que se encuentran registrados como, reciben préstamos o créditos de instituciones de crédito o de organismos de apoyo al mercado de valores, para la realización de las actividades que les sean propias, así como celebrar reportes sobre valores. De igual forma, se dedican a invertir en

acciones de otras sociedades que les presten servicios o cuyo objeto sea auxiliar o complementario de las actividades que realicen estos especialistas.

El objetivo principal de la Bolsa de valores es facilitar las transacciones con valores y procurar el desarrollo del mercado respectivo por medio de diversas actividades, entre las que se encuentran las siguientes:

- Establecer locales, instalaciones y mecanismos que faciliten las relaciones y operaciones entre la oferta y la demanda de valores.
- Ofrecer al público información sobre los valores inscritos en bolsa, sus emisores y las operaciones que en ellas se realicen.
- Velar por el estricto apego de las actividades de sus socios a las disposiciones que les sean aplicables.
- Certificar las cotizaciones en bolsa.
- Realizar aquellas actividades análogas o complementarias de las anteriores, que autorice la SHCP y la Comisión Nacional de valores.

La operación de las bolsas de valores se hace mediante una concesión otorgada por la SHCP y sólo puede autorizarse el establecimiento de una bolsa en cada plaza. Éstas deben constituirse como sociedades anónimas de capital variable. Actualmente sólo funciona en el país una bolsa de valores; la Bolsa Mexicana de Valores, S.A. de C.V., la cual cuenta con dos centros bursátiles, uno localizado en Guadalajara, Jalisco y el otro en Monterrey, Nuevo León. Dichos centros proporcionan información simultánea sobre las operaciones bursátiles,

mediante el sistema computarizado MVA 2000. Las principales secciones en las que se divide administrativamente la Bolsa Mexicana de Valores son las siguientes:

- Auditoría.
- Emisoras.
- Información y Estadística.
- Normatividad.
- Operaciones.
- Promoción Institucional.
- Recursos Financieros y Materiales.
- Recursos Humanos.
- Sistemas y Derivados

1.3.4 PRODUCTOS DERIVADOS

Se dice que un producto derivado, o derivado financiero como también se les denominada comúnmente, son una especie de accesorios que derivan de otros productos subyacentes, estos pueden ser desde productos agrícolas, hasta petróleo, metales, etc. Los derivados financieros se negocian según el margen diferencial entre su precio actual de mercado y el valor que éste adquirirá con el transcurso del tiempo. La transacción de estos, no es más que un intercambio de activos por dinero.

Una peculiaridad de los productos derivados, es que la ganancia que obtiene alguien, representa la pérdida para otro. Los productos derivados podrían clasificarse como Futuros, Opciones y Warrants. Los primeros pueden describirse como una especie de “promesa”; es decir, un compromiso que llevan

a cabo dos partes, una de las partes se compromete a vender algo en determinado tiempo, y a su vez, el extremo contrario participante en la negociación se obliga a comprarlo asumiendo las responsabilidades ya sean en forma de beneficio o en su caso de pérdida, una de característica de los futuros, es que no se hace un desembolso previo al momento de cierre de la negociación por lo cual, a esta clase de mercado se le conoce como Mercado "Spot" a diferencia de las Opciones. Respectos a las Opciones, también se trata de contratos a futuro, pero en este caso es necesario cerrar la operación con una prima, entendiéndose por éste, el Mercado "Forward".

Las Opciones a su vez, se subdividen en dos tipos: europea y americana, en la primera categoría, los contratantes, únicamente podrán ejercer sobre ella al momento de su vencimiento, por contrario, en la Americana se puede ejercer en cualquier momento entre la fecha de realización del contrato y su plazo de vencimiento.

Dentro de la Opción Americana, existen las Opciones Call y Put, las primeras otorgan un derecho, pero no una obligación de compra a sus titulares, siendo a la inversa de las Opciones Put, las cuales otorgan a su titular un derecho de venta de un determinado activo en el momento del vencimiento.

(<http://ciberconta.unizar.es/LECCION/Fin008RF/400.HTM>)

Por último tenemos los Warrants, estos son valores que otorgan derechos a comprar o vender un determinado activo (activo subyacente) a un precio predeterminado (precio de ejercicio) emitidos por una entidad a medio y largo

plazo. Su rendimiento varía en función de la evolución del precio del activo subyacente sobre el que están emitidos. Normalmente se liquidan por diferencias, el titular del Warrant tiene el derecho ya sea de recibir la diferencia entre el precio a que esté el activo subyacente en el mercado (precio de liquidación) y el precio de ejercicio para los derechos de compra, o de recibir la diferencia entre el precio de ejercicio y el precio de liquidación para los derechos de venta.

El emisor del Warrant fija el precio de ejercicio y la prima que se ha de pagar por cada Warrant en el momento en que se emite. Así una vez emitidos los Warrants, son susceptibles de negociación en los mercados hasta su vencimiento. Por esta razón, el interés de estos productos reside en la posibilidad de poder comprarlos o venderlos en los mercados en todo momento a lo largo de toda la vida de los mismos de esta forma el tenedor puede reaccionar y tomar las decisiones que más le convienen ante las variaciones del precio del activo subyacente sobre el que están emitidos y que se producen de manera continuada en los mercados. (www.activobank.com)

El funcionamiento de esta Bolsa de Valores gira en torno a las operaciones de intercambio de recursos monetarios que, por medio de títulos-valor, se lleva a cabo en su piso o salón de remates, sitio que está dispuesto para el intercambio entre oferentes y demandantes. Las ventajas que se puedan obtener sobre la predicción de los títulos-valor, generalmente van en función a la tecnología en sistemas de predicción de futuros. Debido al gran volumen de información, los métodos manuales de tipo estadístico anteriormente utilizados, han quedado parcialmente obsoletos, dando lugar a procedimientos y teorías que van desde

precisos cálculos matemáticos como los algoritmos genéticos, hasta sistemas de un alto nivel de complejidad como la teoría del caos. En este texto nos enfocaremos a un método de predicción en particular ubicado dentro de la Inteligencia Artificial; se trata de software de Redes Neuronales Artificiales; en el capítulo siguiente se abordarán las bases biológicas y conceptuales que sirvieron de cimiento y desarrollo de tales sistemas, así como algunas analogías de éstos.

2. EVOLUCIÓN Y NEUROFISIOLOGÍA

Un licenciado en contaduría, como experto financiero debe poseer habilidades prácticas para la adecuada conducción económica de las situaciones que se le presenten. En este caso, se manejará un enfoque particularmente dirigido a la maximización de recursos e inmersamente la reducción de los de riesgos en las inversiones de capital respecto a la cotización de títulos-valor; se pretende demostrar que ahora existen aplicaciones que permiten efectuar pronósticos provechosos respecto al comportamiento histórico que hayan experimentado en sus fluctuaciones estos títulos. Las técnicas que se analizarán pertenecen al campo de la Inteligencia Artificial y se conocen como Redes Neuronales Artificiales (RNA). Las RNA son sistemas informáticos de inspiraciones biológicas capaces de aprender. En el presente capítulo se hará alusión a algunas de las bases que sirvieron de inspiración para crear esta clase de computación cognitiva que ha sido utilizada para múltiples tareas tanto cotidianas como complejas.

Sería prácticamente imposible pasar por alto la forma en que la naturaleza y sus adaptaciones han influido en los procesos de ajuste a nuevas situaciones. La naturaleza coloca rasgos especializados en sus especies a fin de simplificarles la existencia y de la misma manera, los seres humanos implementan tecnología que en este caso se adapta a nuevas circunstancias.

2.1 PERFECCIONAMIENTO DE ADAPTACIONES

2.1.1 TEORÍAS DE VIDA

1000 millones de años de densos humos volcánicos e inhóspitas rocas cristalizadas. ¿Surrealismo? No según el legado de antiguos griegos de aproximadamente seis siglos antes de Jesucristo. Es prácticamente imposible imaginar un lapso de tiempo de tal magnitud en gaseosa e inerte calma; sin embargo, integrando esta clase de especulaciones con la filosofía de Aristóteles y con vanguardistas estudios científicos, podemos concluir que las “cosas vivas” no solo pueden surgir de otras “cosas vivas”, sino también de materia totalmente inanimada, esto con la ayuda de elementos como agua, aire y fuego.

A través de los años, y por un par de siglos entre eminentes pensadores y personalidades “mágicas” se discutieron impresionantes teorías que caían dentro de coordenadas que van desde sublimes hasta fantasmagóricas, entre dicho debate, apareció la teoría de Carlos Darwin (1809-1882) denominada “teoría de la selección natural”, que trata del proceso de selección que va haciendo la propia naturaleza sobre sus especies como un tipo de aprendizaje de los atributos que

debe y no poner en sus especies, reforzando los rasgos fuertes y eliminando los débiles. (DARWIN: 1859)

Esta teoría en conjunto con interesantes estudios presumen que nuestro planeta y el resto del sistema solar, datan aproximadamente de hace unos 4,600 millones de años; esto es una suposición, como lo es también, decir que la tierra se conservó sin vida durante los primeros mil millones de años, y aunque existen numerosas historias e ideas de la aparición de la vida, desafortunadamente, algunas de ellas son en extremo fantasiosas, y por consecuencia ficticias.

Sin duda alguna, las afirmaciones de Aristóteles trazaban una muy certera perspectiva acerca de la creación de la vida; claro, de no haberla arruinado con algunas ideas consideradas por muchos como disparates y por otros como el parte aguas de un camino que más tarde sería recorrido por estudiosos y científicos, como por ejemplo el muy defendido nacimiento de luciérnagas del rocío matinal, y la creación de la vida condicionada por la intervención del alma y tópicos propios de esa época, que por la falta de elementos de investigación como los de hoy día, resulta comprensible explicar la relación entre experiencia y conducta que los hacía interpretar su propia realidad desde una perspectiva puramente empírica. Este enfoque cimentó las bases de lo que posteriormente sería el razonamiento lógico-deductivo, que traducido en símbolos podría compararse con el actual potencial matemático. De cualquier forma es difícil tomar algo como verdad absoluta; según análisis de biología molecular y paleontología, lo más comprobable es que gracias a una fortuita interacción de sustancias

químicas en la atmósfera y la combinación de fuentes energéticas como relámpagos, dieron como resultado la creación de aminoácidos y ácidos nucleicos; propiedades que prácticamente constituyen la estructura molecular principal de las cosas vivas; en principio así fue como aparecieron los primeros microorganismos con capacidades de sintetizar hidratos de carbono mediante la función de una molécula sensible a la luz de la energía solar; la molécula de la clorofila.

2.1.1.1 EVOLUCIÓN

Los organismos biológicos se asocian en grupos naturales de reproducción que denominamos especies. Las especies que ahora habitan la Tierra, proceden de otras especies diferentes que existieron en el pasado y son resultado de un proceso de descendencia con modificaciones llamadas mutaciones. La evolución biológica es el proceso histórico de transformación de unas especies en otras especies descendientes, e incluye la extinción de la gran mayoría de las especies que han existido. Para llegar a la madurez sexual y reproducirse, es necesario que cada organismo le haga frente a una gran diversidad de elementos de carácter natural propios de su medio ambiente, como la temperatura, gravedad, humedad, luz solar, etc. Sin mencionar los riesgos de ser devorado. Las características existentes en cada organismo son adaptaciones resultantes del un proceso de selección natural que han sufrido sus ancestros y permiten aprovechar los recursos del medio, sobrevivir y contribuir a la perpetuación de la especie con base en la reproducción de dichas adaptaciones. Los seres con características y capacidades más débiles mueren y desaparecen por completo.

La evolución a gran escala es la macroevolución, y abarca periodos considerables de tiempo y grandes procesos de transformación; en el caso más extremo comprendería toda la evolución de la vida. La evolución que resulta en una magnitud menor interiormente en una especie y en el transcurso de unas pocas generaciones, se denomina microevolución. Se pueden efectuar experimentos y/u observaciones de poblaciones de especies actuales a pequeña escala y obtener evidencia directa de evolución. La selección artificial efectuada por el hombre en diversas especies, es también un claro ejemplo que muestra el potencial de modificación de un ejemplar. Por su propia dimensión temporal, sería difícil demostrar la macroevolución directamente, exceptuando casos en los que el hombre ha cruzado especies distintas que dieron origen a nuevas especies. Aunque la evidencia evolutiva que suministra el registro fósil, la biología comparada, y la biología molecular es indirecta, no por ello es menos concluyente a la hora de demostrar la comunidad de origen de todos los organismos.

2.1.1.2 REGISTRO FÓSIL

En Swazilandia, en el Sur de África, se encontraron los primeros fósiles, a éstos se les atribuyen 3,500 millones de años y corresponden a los primeros seres invertebrados quienes fueron los más antiguos pobladores de regiones marinas y eran parecidos a lo que hoy conocemos como medusas. Luego, en formaciones rocosas de hace unos 450 millones de años aparecieron los restos de una aparentemente nueva especie del periodo cámbrico, se trataba de una clase de pez que carecía de mandíbulas y en lugar de una espina vertebral de hueso,

constaba de una cuerda cartilaginosa llamada notocardio, unos ochenta y cinco millones de años después, estos peces, ya con ciertos cambios en su biología, y en busca de una mejor adaptación a su medio acuático; comenzaron a desarrollar aletas diseñadas especialmente para gobernar sus movimientos, sus cuerpos sin huesos estaban encerrados en grandes protecciones óseas situadas en la piel de la cabeza y el dorso.

Todo se encuentra sujeto a cambio; cambiarán los climas, las condiciones geológicas y los entornos ambientales; de igual forma cambiaron hace 3,500 millones de años, variaciones que no retrocederían nunca, estos cambios de alguna forma repercutirían en las especies, por lo que de alguna forma estos primitivos organismos tuvieron que adaptarse a ellos. La naturaleza tenía un problema que resolver; los cambios eran drásticos y necesitaba una solución útil e innovadora que tomaría unos cuantos millones de años en perfeccionarse, su plan de acción se enfocaba sobre una rama de los antiguos peces, y consistía en transformar sus aletas en pequeñas patas de animal terrestre, en un principio inmóviles, pero que después cobrarían movilidad, y por consecuencia también se llevaría a cabo una modificación en sus prehistóricas agallas, ahora su respiración era aeróbica con la ayuda de sofisticados pulmones. Estos primeros peces adaptados a superficies terrestres contaban con toda una nueva gama de oportunidades ante ellos, como diferentes alimentos, diferente forma de apreciar su entorno y otros medios para desarrollarse en aspectos anteriormente algo limitados, para afrontar estas adversidades; la naturaleza los había convertido en reptiles. En esta estirpe hubo un cambio radical, ya que su cerebro se dividió en lo

que comúnmente se le conoce como cerebelo, tubérculos bigéminos y hemisferios cerebrales. Todas estas transformaciones dieron lugar a pequeñas especializaciones, como por ejemplo un nódulo denominado “complejo reptil” al que se le atribuyen complicadas conductas como la agresión y los rituales nupciales, y en general las funciones afectivas. Bien, ya podían defenderse de sus depredadores y también podían cortejar a sus parejas, pero existía una dificultad, la temperatura de estos animales se encontraba a merced de los cambios climáticos; un cuerpo escamoso y de sangre fría, en cuestión de temperatura es prácticamente una extensión del suelo por el que se camina; si había frío, los reptiles se entumían, y se hacían presa fácil, incluso podrían morir si el frío era intenso; si hacía calor, su sangre se sobrecalentaba provocándoles un choque en su sistema nervioso, por lo que era urgente algo que los ayudara a mantener su nivel de temperatura medianamente estable de una forma casi independiente a la de su entorno. Para esto se comenzó a desarrollar en su cerebro una especie de “aparato termorregulador” que solucionaría el problema de inestabilidad térmica.

Las necesidades adaptativas corporales se manifestaron a la par con variadas modificaciones físicas y motrices. Un reptil es un animal con ciertas características, tres de ellas, son que su piel está cubierta de escamas, respiran en la atmósfera y ponen huevos de cáscara recubierta; en resumen, estas características presumen que las aves son descendientes de los reptiles, respiran aire, ponen huevos con cascarón y el cuerpo escamoso puede explicarse con un enfoque desde el punto de vista de la especialización, ya que la naturaleza siempre busca mejorar a sus especies, la plumas constituyen una mejora respecto

a las escamas, siendo que aún con un aparato termorregulador los reptiles siguen siendo más susceptibles a las variaciones climáticas que otras especies, así que tal vez ésta sea la razón que originó que cierta ramificación de los reptiles haya sufrido otro cambio, a éstos les crecieron plumas y unos pequeños dobleces en la piel que culminarían finalmente en alas, haciendo de que estos reptiles comenzaran a saltar por los árboles, lo que indica que así nacieron las primeras aves.

2.1.1.3 ADELANTOS EN FORMAS DE VIDA.

Algunos grupos de reptiles, aún poniendo huevos de alguna forma comenzaron a amamantar a sus crías; tal como lo hace el ornitorrinco actual, segregando el alimento directamente de su piel sin pezones. El amamantamiento fue uno de los cambios más significativos de toda la etapa evolutiva. Reptiles y peces depositaban incalculables huevos, pero pocos de ellos incubaban y sólo subsistía un restringido número de descendientes. Los animales pequeños que nutrían a sus crías hicieron de pronto que la supervivencia ya no fuera cosa del azar, sino un ajuste constitucional y deliberado de supervivencia. Durante la misma época, hace quizá 100 millones de años, la selección desarrolló otro gran progreso: la placenta, conjunto de vasos sanguíneos a través de los cuales un embrión podía ser provisto de comida y oxígeno mientras se gestaba.

Esta etapa se caracterizó por una notable y rápida evolución de los mamíferos placentarios, desarrollándose las formas más adelantadas de vida

mamífera. Si bien, los primeros mamíferos placentarios descendían de antepasados carnívoros, no tardaron mucho en desarrollarse ramas herbívoras, y al poco tiempo, también resultaron grupos de mamíferos omnívoros. Las angiospermas (plantas con flores), la flora terrestre moderna, que comprenden la mayoría de las plantas y árboles de hoy en día y que habían aparecido durante períodos anteriores, constituyeron la fuente alimenticia principal de los mamíferos que iban incrementándose con rapidez. La mayor parte de los primeros mamíferos eran diferentes a los que hoy conocemos con los órdenes de carnívoros, marsupiales, desdentados, cetáceos y roedores entre otros, alrededor de unas cinco mil especies.

La plataforma terrestre austral era vasta, volviendo a unir con Sudamérica, Sudáfrica y Australia el continente antártico que igualmente, era enorme. A pesar del incremento terrestre en las altas latitudes, el clima global permaneció relativamente benigno, debido al gran aumento en tamaño de los mares tropicales; tampoco se elevó la tierra suficientemente para producirse glaciares. Aconteció un extenso manar de lava en Groenlandia e Islandia, depositándose un poco de carbón entre estas capas. Sobre el planeta, ésta fue la edad por excelencia de la renovación y propagación de los mamíferos, el periodo cenozoico. De los mamíferos más primitivos, se extinguieron más de cien especies antes de finalizar este período. Incluso perecieron poco tiempo después los mamíferos de gran tamaño y cerebro pequeño. El cerebro y la agilidad reemplazaron a las corazas y el tamaño en el progreso de la supervivencia animal. Con la decadencia de la

familia de los dinosaurios, los mamíferos poco a poco asumieron el dominio de la tierra.

Concluyendo un poco, hace 4,600 millones de años, la atmósfera estaba compuesta de vapor de agua, dióxido de carbono, nitrógeno, monóxido de carbono, sulfuro de hidrógeno e hidrógeno. La temperatura promedio fluctuaba entre 0 y 100°C, el sol brillaba en un 60-70% de su energía actual. Se comenzaron a producir residuos carbonosos de naturaleza orgánica. 1000 millones de años posteriormente surgieron algas cianófitas unicelulares, vestigios de bacterias unicelulares originadas por algas azul-verdosas fotosintéticas. Para entonces ya habían transcurrido unos 1800 millones de años cuando nacieron los primeros eucariotas unicelulares. Durante todo el paleozoico, que comprende desde hace 600 millones de años hasta los 314 millones de años, la vida en el mar estaba representada por esponjas y equinodermos primitivos (grupo que reúne actualmente a los erizos y estrellas de mar), medusas y los primeros cordados. La vida vegetal estaba representada por algas y esporas, y por consecuencia, no tardaron en desarrollarse las primeras plantas vasculares. Los primeros depredadores estaban constituidos por insectos sin alas, escorpiones, mil pies y los primitivos peces con mandíbula.

Como siguiente paso, tenemos el mesozoico, que se puede subdividir en triásico, jurásico y cretácico. En el primero, también conocido como "Edad de los reptiles", aparecen en los mares los dos órdenes más modernos de peces óseos, surgen los moluscos (gastrópodos, bivalvos y amonites), quienes dominan los

mares. En los continentes reinan los bosques de coníferas, surgen los primeros dinosaurios, que todavía eran pequeños, se diversifican los reptiles, aparecen las primeras tortugas, y hacia el final surgen los primeros mamíferos: prototerios (como el equidna y ornitorrinco). En el periodo jurásico, los dinosaurios herbívoros se hacen muy importantes alcanzando grandes tamaños. En este período también surgen las primeras aves que tenían caracteres primitivos tales como la presencia de dientes en la boca y garras en las alas, aparecen los cocodrilos, las ranas y salamandras y también surgen los pterosaurios (reptiles voladores). A este periodo, le sigue el cretácico, donde comienzan a aparecer las líneas actuales de invertebrados y peces. Surgen las angiospermas, proliferan los grandes dinosaurios carnívoros y los reptiles voladores (pterodáctilos), aparecen las víboras, surgen las líneas actuales de reptiles y anfibios y aparecen los primeros mamíferos marsupiales y placentarios. Hacia finales de este período se produce una gran extinción masiva.

Tiempo después, aproximadamente hace unos 65 millones de años, en el periodo cenozoico, los principales dominantes continentales eran los mamíferos marsupiales y placentarios. En América del Sur surgen los xenartros (osos hormigueros y perezosos), los climas se enfrían ligeramente y las floras tropicales son substituidas por bosques templados; los mamíferos culminan su evolución, las aves adquieren caracteres más modernos y alcanzan grandes tamaños. Aparecen los primeros póngidos (primates antropomorfos).

2.1.2. LOCOMOCIÓN EN DOS PIERNAS.

2.1.2.1 PRIMATES.

Los primates se dividen generalmente en dos grupos, uno de ellos nombrado de los prosimios (lemures, loris y tarseros); y otro, de los antropoides (monos, gorilas y humanos), si se les observa desde un punto de vista perfeccionista, pueden verse como género de mamíferos que carecen de especializaciones, ya que no pueden correr muy rápido, carecen de armaduras o un grueso cuero que los proteja, no cuentan con alas, siguen con sus cuatro extremidades y tienen generalmente dientes frágiles. Sin embargo, cuentan con una gran amalgama de adaptaciones, entre otras están sus cinco dígitos en las extremidades atestados de órganos sensoriales táctiles (corpúsculos de Meissner). Son capaces de coger objetos con sus dedos en lo que se conoce como movimiento prensil. Una segunda modificación produjo uno de los dígitos oponibles (el pulgar), permitiendo que se toquen las puntas de los dedos con el pulgar.

¿Cómo pueden los primates balancearse en ángulos casi de 360° sin dañarse? La respuesta se resuelve en otra potencial modificación; en el antebrazo, sus dos huesos largos, el radio y el cubito pueden moverse en tal forma que el radio rota por encima del cubito permitiendo a la mano describir un semicírculo sin necesidad de mover el codo ni el brazo, y además una fuerte retención de la clavícula para soportar la cintura pectoral que ha de fijar la posición de las extremidades anteriores; además de contar con una especial flexibilidad de

la columna vertebral para permitir giros y torsiones. Muchos primates pueden también rotar libremente el brazo en la articulación del hombro. Estas adaptaciones ofrecen ventajas para la vida en los árboles. La visión estereoscópica a color, resultante del posicionamiento de los ojos al frente de la cabeza, facilitó la percepción de la profundidad de campo y ayudó a ganar información tridimensional precisa. También ocurrieron ciertas transiciones en los conos y bastones en los ojos, que adaptaron a los primates para la visión periférica en la penumbra. La mayoría de los primates tienen en la retina una zona llamada fovea de conos concentrados que produce imágenes nítidas. Además de poseer un cerebro muy desarrollado en relación al tamaño del cuerpo.

Los primates antropoides (monos, simios y humanos) no son como la mayoría de los animales más pequeños que al nacer pueden vivir sin sus padres, ya que éstos presentan un período relativamente prolongado de crecimiento postnatal seguido de cierto tipo de atenciones necesarias para un adecuado desarrollo parte de los progenitores. El valor selectivo de esta característica se basa probablemente en el número limitado de descendencia que puede crecer y ser criado por primates de alta movilidad, junto con el largo período dependiente de aprendizaje, que se necesita para enfrentarse con muchas y complejas variables ambientales y sociales.

¿Cómo evolucionaron? Según descubrimientos experimentales y los avances teóricos en este campo, la evolución de los más antiguos primates acreditados como tales, inició cuando pequeños animales parecidos a las

musarañas se encumbraron en los árboles, las tendencias en la evolución de los primates parece relacionarse con adaptaciones a la vida arborícola, de esto puede decirse que evolucionaron a partir grupos Insectívoros en algún instante entre el final del Cretácico y principios del Paleoceno. Sudamérica y África se localizaban relativamente cerca, tanto como para permitir cierta circulación de animales; Norteamérica y Europa formaban una masa continua que probablemente formaba una avenida de bosque sin interrupciones que favoreció la dispersión de los mamíferos hasta casi el Eoceno. Otra ruta de dispersión de mamíferos se constituyó en el puente de tierra existente entre el nordeste asiático y el noroeste de Norteamérica. Así, los primeros Primates reconocidos como tales, aparecen en el Eoceno distribuidos por todos los continentes en la franja correspondiente a las grandes extensiones de bosque de árboles de hojas anchas y perennes aún presentes en esa época.

Fue aproximadamente durante la época en que desaparecieron los últimos monos arborícolas, cuando surgieron los primeros representantes del *Ramapithecus*, llamado así en honor al Dios hindú Rama, especie que tenían un gran parecido con los antropoides, de esto que muchos autores lo hacen candidato para el famoso eslabón perdido. Estos primates, considerados por muchos como el aparente punto de inicio de la historia de la humanidad por pertenecer a la misma familia, las distintas especies de primates, especialmente monos y simios; guardan gran similitud con el ser humano.

En junio de 1938 se encontró el maxilar superior de lo que muchos estudiosos calculan el último ancestro común entre el ser humano y el chimpancé. Su origen data de hace 6 o 7 millones de años; algo con un cerebro de 383 cm^3 , el llamado *Australopithecus afarensis*, (hombre del sur o de Australia) el primer homínido miembro de la familia humana, se dice que hace unos dos millones de años corría erguido, tiempo después empezaba a perder pelo y posiblemente empleaba rocas, pero para entonces, mas bien se trataba ya del *Australopithecus robustus*, el resultado evolutivo del anterior; su descendiente, quien era dueño de un cerebro de 442 cm^3 ; con un cuerpo mas fuertemente constituido esta especie tenía una combinación de humano (bipedestación) y similitudes simiescas (piernas cortas y brazos relativamente largos). Los huesos de los brazos eran curvados como los del chimpancé, pero los codos eran más similares a los humanos. Los científicos especulan que el *Australopithecus Afarensis* y *robustus* repartían su tiempo entre los árboles y el suelo. Existen teorías y pocos fósiles de un tercer *Australopithecus*, denominado *Boisei*; contaba con una cavidad craneal aproximadamente de 530 cm^3 , supuestamente el mayor de todos en tamaño y cerebro. Existen teorías de que el sucesor del *Australopithecus Boisei* es el *Homo habilis*, lo que significa "hombre hábil", pero en 1967 se refutó tal tesis al encontrar fósiles que la contradecían. El *habilis*, con un cerebro de 642 cm^3 ; era capaz de elaborar y utilizar herramientas, los utensilios fueron un tópico trascendental respecto a la supervivencia.

Puede considerarse que esto haya proporcionado ventajas para el desarrollo del cerebro. Estas características humanas situaron al *Homo habilis*

muy por delante de sus ancestros; estas afirmaciones por fuerza nos hacen reflexionar en que si estos homínidos poseían facultades aptas como para transformar ciertos elementos de su entorno, tales como afilar y cortar las piedras hasta convertirlas en utensilios para hacer mas fácil la caza y la preparación de su alimentos, también pudieron haber utilizado sus cuerdas vocales para expresar sonidos diferentes a los emitidos por sus antepasados y con sentido, a fin de simplificar la cacería, o incluso para expresar sentimientos elementales.

En la isla de Java, en 1891 alguien necesitaba credibilidad en un hallazgo, se trataba de un investigador holandés de nombre E. Dubois, quien decía haber encontrado dentro de sedimentos de entre 800 000 y 300 000 años los primeros restos de estos homínidos que son llamados Homo erectus en la actualidad. El contraste principal del Homo erectus y los homínidos que lo antecedieron estriba en el volumen, fundamentalmente del cerebro, ya que su capacidad craneana llegó a ser de 1250 cm³, y en su cuerpo culminaron millones de años de un perpetuo perfeccionamiento de rasgos biológicos de los homínidos que se traducían un semblante alto, más delgado, notablemente mas veloz sobre sus dos piernas, además tenía el pulgar más separado de la mano. Respecto a sus comportamientos, se dice que empleaban el manejo el fuego, el uso de éste le permitió sobrevivir en zonas en las que antes no se podía vivir por las bajas temperaturas. Esto amplió el área de distribución con respecto a la que tenían los Australopithécus o a los Homo habilis, como característica importante se puede observar que podían trabar en grupos coordinados. Entre hace 250 y 100,000 años, los registros fósiles del Homo erectus comienzan a desaparecer, pero

principalmente en aparece otro Homo en diversas regiones europeas, Oriente y la Unión Soviética. En 1856, en Alemania, cerca de Dusseldorf; en el valle de Neander, el antropólogo alemán Johann Fuhlrott, encontró algunos restos, con una aparente antigüedad de entre 100 y 40 000 años. Eran hombres de una estatura promedio de 1.63 m y tenían una capacidad craneana aproximadamente 15% mayor que la del hombre moderno. Pero estaba organizado de otro modo; el cráneo era más plano y tenían la frente inclinada hacia atrás, con grandes prominencias óseas sobre los ojos, se creía que caminaban encorvados y hoy se sabe que caminaban erguidos como el hombre moderno. A este individuo se le conoce como Homo neandertalensis en honor al lugar en el que fue encontrado, el valle de neander. Muchos estudiosos lo consideran una especie diferente a la del hombre, mientras también hay quienes creen que es sólo una subespecie de éste. Hasta donde se sabe, la diferencia principal de éste y el Homo Sapiens, es la ausencia de pruebas que muestren si eran capaces o no de comunicarse por medio de símbolos

Aquí se dio un auge en las actividades de recolección de frutas, semillas, hojas y raíces. Pero siempre se veían en la necesidad de recurrir a la caza, ya que en esa época, los cascos polares tenían una extensión mayor que la actual, por lo que tenían temporadas puramente carnívoras para sobrevivir, así que sus rutinas de cacería eran aún parte fundamental en su dieta cotidiana. Otra característica peculiar de este grupo, es que construían viviendas con pieles y ramas cuando radicaban en campo abierto y carecían de montañas para habitar en cuevas. La

convivencia social aumentó con respecto a sus antepasados, ya que comenzaban a formar conjuntos de entre 20 y 30 individuos.

2.1.3 HOMINIZACIÓN

Los homínidos, el linaje que lleva a los humanos, cambiaron la forma y tamaño de la pelvis, fémur y rodillas ubicando el centro de gravedad próximo a las patas traseras, lo que permitió la bipedestación (caminar en dos piernas). La postura semierguida favorable para el salto permitió a los primates tanto la observación de sus alrededores como la utilización de las manos para otros propósitos. El cambio de cuadrúpedo a bípedo procedió en etapas, culminando el proceso en los humanos, que pueden caminar o correr en dos piernas. El cerebro, al ocupar una mejor posición en la parte superior de la columna vertebral, se hizo más capaz de responder a la demanda de esfuerzo mental creciendo en volumen y en capacidad neuronal aumentando, dando como resultado un potencial más grande de reflexión. Al tener que erguirse, sus manos ya no estaban ocupadas en mantener su equilibrio corporal; por lo que quedaron libres para sujetar objetos e investigar como utilizarlos de la mejor forma posible.

Con estas conclusiones surge otro punto extraño; ¿cómo surgió la división entre monos y hombres? Se podría argumentar que los hombres que contaban con un pequeño salto evolutivo mas que los demás primates, optaron por ser omnívoros, a diferencia de los otros que eran puramente herbívoros; en un principio quizá había conformidad con la carroña, pero para comer carne se

necesita cazar, por lo que los hombres tuvieron que utilizar todos sus recursos biológicos mediante la cooperación mutua lograda por medio del lenguaje, lo que no ocurrió con los monos. Así que cuando los hombres empezaban a correr en dos piernas, la velocidad aumentó en las cacerías, por lo que tendrían que articular un lenguaje mas sofisticado con sonidos mas complejos y con cierta armonía incluyendo el lenguaje corporal, lo cual demandaba un mayor esfuerzo mental ya tendiente a la reflexión, así la supervivencia genética continuó al enfrentar nuevos escenarios, podemos decir que las mutaciones son reciprocas medio ambiente-especies; las herramientas, la pérdida de fuerza en la mandíbula por convertirse en omnívoros, la atrofia de ciertos músculos y la agricultura marcaron un punto crítico.

El género humano se agrupa como un animal del tipo de los Cordados, subtipo Vertebrados, clase Mamíferos, orden Primates, superfamilia Hominoideos, familia Homínidos, género Homo y especie sapiens. Esto indica que se ha logrado clasificar a los humanos de acuerdo a sus características anatómicas y morfológicas, pero ¿qué lo llevó a la hominización? La anatomía y fisiología de los seres humanos no se configuró para llevar a cabo labores inteligentes en el medio terrestre; mas bien, tal anatomía se formuló para lograr un desarrollo motriz impetuoso entre los árboles. La tendencia al bipedismo fue una simple relación gravedad - peso corporal, y en este sentido eran tan susceptibles de incorporar a sus costumbres conductas "inteligentes" como cualquier otro animal, conductas que dependerían de la apreciación de su entorno y el modo de enfrentarlo.

Es conveniente tocar la interrogante de por que en la anatomía homínida, parece no existir motivo alguno que muestre evidencia que explique cual fue la característica por la que los Monos optaron por volverse bípedos, y no cuadrúpedos por ejemplo. Para esto han expuesto un punto de vista raro, pero interesante; se trata de la posible existencia de una fase acuática o semiacuática del antepasado humano hace unos 5 o 6 millones de años; la falta de pelo y un mayor capa de grasa respecto a otros mamíferos. Esto explicaría la gran cantidad de grasa de los bebés humanos y su aptitud para impulsarse dentro del agua.

Es interesante la forma en que la naturaleza puede transformar moléculas de ARN capaces de hacer su propia síntesis proteínica y cómo estas moléculas pueden cambiar a tal grado de autocopiarse y cambiar para culminar en el hombre. Las características particulares que diferencian el género Homo, es caminar en dos pies y mantenerse, otra característica es un dedo pulgar notablemente mas desarrollado y oponible, esto les permite manipular objetos en ángulos prácticamente imposibles anteriormente.

En 1997 una noticia cambió esquemas al publicar la secuencia de un trozo del ADN del primer fósil que se encontró del hombre de Neandertal. Cuando la secuencia se comparó con secuencias homólogas de ADN humano actual se dedujo que el antepasado común de nosotros y el hombre de Neandertal vivió hace 500.000 años, de lo que se concluye que el hombre de Neandertal se extinguió sin mezclarse con el hombre actual. ¿Entonces cómo fue que pasó? ¿El

Neandertal se extinguió y el Homo Sapiens se originó por otra línea del género Homo? O ¿existe un paso intermedio entre ambos?

En 1868, trabajadores intentaban tender una línea de ferrocarril en el Valle de Vézère en Francia, precisamente en una formación rocosa llamada Cro-magnon encontraron muros con extrañas inscripciones tridimensionales: caballos, toros salvajes, mamuts, etc., algunos utensilios y los restos de cuatro cuerpos diferentes a los anteriormente encontrados, éstos tenían la cabeza ligeramente mas grande, el mentón prominente, la nariz de puente alto y caras mas anchas. Podemos decir que fueron las primeras personas modernas, ya que las diferencias con respecto a sus ancestros, no sólo eran físicas, sino también mentales, ya que sus bóvedas craneanas albergaban un cerebro muy similar, si no es que igual al del hombre actual. ¿Qué se puede decir de sus utensilios? Las herramientas utilizadas por estos hombres no se limitaban en artefactos para abatir a sus presas; muy por delante de esto, tuvieron nuevas ideas de la creación de cinceles, raspadores, agujas para coser su ropa, incluso fueron los autores de la primera especie de lámpara, era una especie de vasija de piedra ahuecada que llenaban con grasa animal en la que flotaba algún material como musgo o piel, artefacto que implica el uso del fuego que ya sabían producir golpeando un pedazo de mineral de hierro contra otro pedernal para generar chispas.

Los Cro-magnon, ya en su género de Homo Sapiens, eran también apreciadores del arte, el arte de la época final de las glaciaciones, en las grabaciones rocosas puede verse que ya existían experimentados artistas que

aparte de pintar y desgastar meticulosamente las paredes, también esculpían estatuillas, collares y formas nuevas. En las pinturas rupestres se observa también la existencia de algún tipo de mago o sacerdote, con ciertos ídolos como osos prehistóricos, lo que sitúa a los Cro-magnones en una posición de iniciadores del arte y de las ideas religiosas.

2.1.3.1 CULTURA.

Al dispersarse y adaptarse a los diferentes ambientes, los grupos de individuos, desarrollaron características para sobrevivir, estas adaptaciones son transmitidas por genes aumentando la capacidad de adaptación, pero ¿Qué hace al hombre? Los seres humanos contamos con una cualidad que ninguna otra especie tiene; la cultura. Definición: “la imposición de una forma arbitraria al medio.” Arbitraria en el sentido de que las palabras, costumbres, perspectivas, gustos y otras formas exclusivas de la conducta humana son diferentes en función a la localización geográfica de las partes.

De esta manera, el hombre desarrolló un sistema de herencia no genético que se basa en la transmisión de información. Como Podemos observar, la evolución cultural humana hoy día no sigue las leyes de la selección natural y la herencia genética, tiene otro tipo de flujo, mas bien sigue un proceso de transmisión horizontal entre individuos de una generación y vertical entre las generaciones, por lo que se puede decir, que hay muchas probabilidades de que el flujo de información venga desde el Homo hábilis al elaborar éste un vocabulario

de sonidos arbitrarios para expresar necesidades y pensamientos, proporcionaron quizá la evolución del complejo sistema de comunicación que se asocia con la cultura.

Se cree actualmente que el Ser Humano tiene en sus manos el poder de dirección de la saeta evolutiva hacia donde mas sea conveniente (para el); una muestra práctica puede ser las limitaciones y cambios que se pueden ejercer sobre mutaciones antes incontrolables en la unión de gametos, mutaciones genéticas causantes de graves enfermedades, si se ve desde esta perspectiva parece buena. Pero ¿Qué dirección es la correcta? ¿Ha sido buena nuestra evolución? ¿Es controlable? Una contrapartida de estos beneficios puede acusar a la humanidad al señalar el crecimiento poblacional descontrolado necesitado de espacio y del incremento en la tasa de extinción que reduce y elimina hábitats enteros de una gran diversidad biológica.

2.2 ESTRUCTURA DEL SISTEMA NEUROLÓGICO

2.2.1 CONTROL NERVIOSO

Todos los animales conocen mediante los sentidos; vista, olfato, tacto, etc., pero a los hombres algo nos permite traspasar fronteras de aprendizaje y llevar nuestro conocimiento a un nivel mas elevado, mas allá de los sentidos mediante interpretaciones y conjeturas, a este conjunto de reglas podemos llamarlo comprensión; es así como actuando en conjunto, los sentidos y la comprensión permiten enjuiciar determinaciones que los animales no podrían tomar. ¿Qué es

lo que hace esta diferencia? Se trata del Sistema nervioso, una compleja red que recorre todo el cuerpo conectando hasta el más escondido de los tejidos con microscópicas centrales sensibles a impulsos químicos y eléctricos. Para hablar del sistema nervioso, es conveniente antes mencionar dos elementos significativos básicos en la materia; la neurona, y el nervio.

La neurona es una célula especialista en transmisión de mensajes, ésta hace llegar información de una parte del cuerpo a otra; sin embargo, estas células no sólo son responsables de percibir estímulos, sino también de generar respuestas a dichas sensaciones. A diferencia de la mayoría de las células, las neuronas no cuentan con la capacidad de división y reproducción. Su comunicación se lleva a cabo mediante ramificaciones denominadas dendritas que sirven de receptores de señales y axones encargados de la transmisión. Las neuronas se clasifican en tres tipos: sensitivas o sensoriales que informan de los sucesos exteriores y del interior de cada músculo a través de sistemas de representación conocidos como los órganos de los sentidos. Las neuronas motoras se encargan de estimular los músculos transmitiéndoles órdenes para actuar. En medio de las anteriores se encuentran las neuronas de asociación o también llamadas de interconexión, que relacionan a las neuronas motoras con las sensitivas. (www.neurology.org)

De un nervio podemos decir que básicamente se trata de una fibra conectada a neuronas y a vasos sanguíneos, la cual sirve de nexo entre un punto

del cuerpo y una terminal vulnerable; esta fibra se encuentra protegida por una especie de membrana llamada endoneuro o vaina de Heine. Los nervios se agrupan en fascículos, que a su vez también están protegidos por otra capa de tejido conectivo llamada perineuro, éste se encuentra en conjunto y es rodeado por una tercer cubierta denominada epineuro. Este complejo sistema recibe su nombre gracias a la palabra griega "Neurón", que quiere decir nervio. (www.co-neurology.com)

Existen diversas clasificaciones de los componentes del sistema nervioso dependiendo de diferentes criterios; en una de ellas se contemplan dos subsistemas: uno es el neurovegetativo o autónomo, que coordina la función de los órganos de forma involuntaria, y el sistema nervioso cerebro espinal o central, que ejecuta las actividades voluntarias. Existen autores que clasifican un tercer sub-sistema, al que comúnmente llaman periférico, pero más bien se trata de una segunda parte del sistema central.

El sistema nervioso neurovegetativo, es el encargado junto con las glándulas endocrinas de controlar el funcionamiento involuntario de todas las actividades orgánicas como por ejemplo la circulación, digestión y excreción. El sistema nervioso neurovegetativo se subdivide en dos regencias: los sistemas de acción simpático y parasimpático que trabajan de manera antagónica sobre cada uno de los órganos. El simpático funciona en base a dos cadenas de 23 ganglios que se agrupan en cervicales, dorsales, lumbares y sacros ubicados a los largo de

la columna vertebral se encuentran formados por neuronas multipolares motoras y efectoras que ejercen actos reflejos específicos de secreción de glándulas y contracción de músculo liso. La constitución del sistema parasimpático es principalmente de fibras provenientes de nervios craneales y raquídeos. Los ganglios del parasimpático hacen contacto en la región yugular y en el bulbo raquídeo, de donde se desprenden fibras directamente relacionadas con el nervio neumogástrico, facial y el del motor ocular; a este conjunto de nervios se le conoce como porción cráneo-bulbar, y una segunda porción llamada sacra inerva la vejiga, el recto y los esfínteres. (<http://scanning.org>)

2.2.2 ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA CEREBRAL

Retomando la división del sistema neurológico, tenemos al sistema nervioso central, donde se aloja el misterioso nexo mente-cerebro; sin embargo, lo hasta ahora conocido, señala que es el encargado del procesamiento de datos como información en si. Este sistema está conformado por el cerebro y la médula espinal. Ésta última es un conducto con un grosor de unos 13 mm y de una longitud aproximada de 45 cm que sirve de conector nervioso del encéfalo al resto del cuerpo ya que esparce vías de nervios por su extensión. Su objetivo principal es lograr una doble conductibilidad, ya que capta y envía los mensajes de las neuronas sensoriales hacia el encéfalo, y por otra parte transmite las órdenes elaboradas hacia las neuronas motoras para estimular los músculos y reactores en general. (CENDREDO: 1984)

En el cerebro se concentran las funciones fundamentales del ser humano como las sensaciones, emocionales y el conocimiento en general, es por eso que goza de una extraordinaria irrigación sanguínea y una resistente protección. Su sistema de irrigación se compone básicamente de cuatro arterias, intercomunicadas a tal grado de que si alguna de ellas o incluso dos sufrieran un taponamiento, la sangre puede fluir por las dos arterias funcionales; su protección consta de una capa exterior llamada duramadre, dos intermedias, el seno dural y la denominada aracnoides, finalmente tiene una interior llamada piamadre, dentro las cuatro capas, el cerebro flota en liquido cefalorraquídeo para amortiguar los golpes. (COLECCIÓN CIENTÍFICA DE TIME LIFE, 1989)

Es también en el cerebro donde existe la mayor concentración de neuronas del cuerpo, aproximadamente un 90%. Una parte de éste es el rombencefalo, constituido en su mayor parte de nódulos de nervios; junto a éste se encuentra el bulbo raquídeo también conocido como médula oblongada; se puede decir que es un nexo entre el rombencefalo y la médula espinal, el cual regula las operaciones cardiacas y respiratorias. Por encima del bulbo raquídeo se encuentra el cerebelo, éste es el gobernador del equilibrio, de los ciclos de sueño y de la vigilia; como encargado de controlar el equilibrio también coordina las reacciones corporales, asegurando que se sigan secuencias motrices apropiadas. En la parte alta del cerebro se encuentra el tallo cerebral, éste se amplía en su parte posterior para formar el mesencéfalo, el cual se encuentra situado en la parte intermedia del cerebro y es responsable de funciones auditivas, visuales y tiene terminales nerviosas receptoras de estímulos dolorosos. El tálamo es una unidad encargada

de transmitir y recibir mensajes en su mayoría sensoriales, incluyendo todos los sentidos menos el del olfato. Como su nombre lo indica, el Hipotálamo está ubicado en la parte baja del tálamo, sus funciones se especializan en el sueño, la temperatura, la nutrición y casi en todas las funciones que impliquen emociones directas como miedo, enojo y placer. (CENDREDO: 1984)

No existen dos cerebros iguales; la mayoría son semejantes en cuanto a la morfología de sus componentes, pero los detalles de su estructura son únicos en cada ser. Se ha observado que tanto en el hombre como en los animales que tienen cierta inteligencia existe un patrón similar; se trata de una especie de pliegues cerebrales llamados circunvoluciones. Una agrupación de circunvoluciones conforman a un lóbulo; para efectos de análisis, el encéfalo se divide en dos hemisferios (izquierdo y derecho) separados por una materia divisoria llamada cuerpo calloso, dentro de cada hemisferio, se encuentra un núcleo fibroso de sustancia blanca formada de axones y rodeado de ganglios de materia gris, ambos se encuentran cubiertos por un revestimiento de corteza cerebral. Los hemisferios cerebrales trabajan en forma cruzada; el derecho recibe información del lado izquierdo del cuerpo y viceversa, pero se enfocan en especialidades diferentes; por ejemplo, el hemisferio derecho destaca en actividades visuales y dimensionales, percepción y expresión emocional, gusto auditivo y artístico; podría decirse que es el lado creativo. Por el contrario, el hemisferio izquierdo es la parte analítica, identifica palabras, el habla y en general procesos matemáticos.

Los lóbulos en los que se dividen los hemisferios, a grandes rasgos se pueden clasificar como: occipital, temporal y parietal; nombrados así de acuerdo a los huesos craneanos que los protegen. El lóbulo parietal se encuentra ubicado en la parte frontal del encéfalo y por encima de los lóbulos temporal y occipital, básicamente controla la musculatura de la cara y las extremidades, una habilidad importante que se concentra en este lóbulo, es la sensibilidad de reconocimientos enviando señales a áreas específicas de reconocimiento llamadas zonas de proyección, lo que permite por ejemplo detectar las dimensiones de los objetos sólo tocándolos aunque no se vean o la ubicación espacial. Cuando esta zona sufre traumatismos, las consecuencias es reflejan desubicación y en los casos mas graves en epilepsia. El lóbulo occipital está situado en la parte superior craneal, y en medio del mismo, éste controla uno de los sentidos mas importantes; en el interior de éste se reciben fibras provenientes de la retina, y su función principal es crear una relación comparada analizando lo visualizado con imágenes proporcionadas en experiencias pasadas permitiendo el reconocimientos actual de lo que se está viendo. Asimismo, es el responsable de conjugar la visión binocular de ambos ojos. Si esta región sufriera lesiones importantes, se puede producir una patología conocida como fenómeno de Riddoch, que implica la conservación de la vista sobre objetos en movimiento y pérdida de reconocimiento en los objetos estacionarios aún cuando el cerebro y sus conexiones estén en perfecto estado. Otra parte es el lóbulo temporal, lo conforman sólo tres circunvoluciones horizontales y se encuentra aproximadamente detrás de cada sien, este lóbulo desempeña un papel importante en cuanto a labores visuales complejas y olfativas, otras actividades cerebrales que coordina son los sonidos de alta y baja

frecuencia, así como la interpretación de los mismos, también existe relación con las emociones y motivaciones; en la superior de las circunvoluciones se maneja la comprensión de la palabra hablada, en las otras dos cumplen funciones olfativas y modalidades sensoriales, las alteraciones sufridas en esta zona provocan alucinaciones auditivas, esquizofrenia y epilepsia. Las funciones de aprendizaje y comprensión se llevan a cabo principalmente en el hemisferio izquierdo en una zona llamada “de Broca” donde se ejecutan las acciones de palabras habladas y escritas; otra parte relacionada es el Área de Wernicke, encargada principalmente de la comprensión y la memoria. (www.link.neurospringer.de)

2.2.3 PROCESOS MENTALES

“La capacidad craneana de un chimpancé es aproximadamente de 400 cm³ y la de la especie humana es de 1.400 cm³”. Anteriormente las especies llevaban una relación cerebro-cuerpo relativamente proporcional, pero en el hombre se notó un extraño aumento de volumen de la masa encefálica, sin embargo, sería difícil determinar a ciencia cierta algún componente añadido por la evolución que justifique la función cerebral propia de los humanos aparte del volumen; en otras palabras, el cerebro humano es más grande que el de los chimpancés, pero no tienen ninguna parte adicional que permita explicar por qué los humanos hacemos cosas que los chimpancés no pueden hacer. (www.jet-neurosci.org)

¿Cómo podría definirse la mente? No resulta simple abordar una definición tan compleja, además de que tan sólo para elaborar un tenue concepto de ella se

requieren muchos puntos de vista de estudio y muchos experimentos éticamente imposibles de llevar a cabo, además de que las concepciones concretas fácilmente caen en coordenadas filosóficas. La palabra “mente” proviene del latín mens, mentis: medir; es la capacidad de medir diferencias, diferencias entre lo importante y lo vano, entre las dimensiones, entre las ideas. Desde otro ángulo, la capacidad de discernir o comprender; esta operación engloba términos como el pensamiento, la memoria, la conciencia y el aprendizaje permitiéndoles coexistir de forma interdependiente, pero no condicionada; cada una de estas funciones tiene su origen en diversas partes del cerebro, pero esto no quiere decir que la mente sea el cerebro, mas bien la mente son las facultades aptas que tiene el cerebro para la elaboración y síntesis conceptual, así como sus formas de proceso y correcto funcionamiento. Estas operaciones tienen que ver con infinidad de factores, incluso su buen desempeño depende desde el periodo prenatal, durante la gestación, ya que el vientre materno impide un rápido desarrollo del cerebro; se ha observado que el crecimiento de la zona cerebral en el feto se mantiene en una constante relativamente baja, y al nacer sufre un importante incremento en su tamaño a medida que el bebé crece; por eso es que permanecen mas tiempo indefensos que muchos animales, se podría decir que los animales nacen mas “inteligentes” que los humanos. Partiendo de una plataforma real en que la organización global del cerebro humano está conformado por cableados microscópicos que involucran aproximadamente diez billones de sinapsis que unen y relacionan a las neuronas; estas asociaciones se llevan a cabo mediante series de reacciones y estímulos sensoriales que dan lugar a la materia mas altamente organizada que se conoce. Si en un intento de descubrir como operan

los patrones de actividades dentro del cerebro intentáramos ligar este concepto con un poco de genética, la información se vería limitada, ya que el genoma humano consta tan solo de 100,000; de tal forma que la información genética se quedaría un poco corta, además de que no todas las funciones mentales son susceptibles de exploración. (www.psiquiatriavirtual.com/)

Algunas de las funciones mentales más importantes para el ser humano son el pensamiento, la memoria, la conciencia y el aprendizaje; el pensamiento conjuga conocimientos y comprensión. Desde un punto de vista práctico, podemos ver que el procedimiento de la razón comienza cuando a un ente se le presenta un problema, éste en primer término lo que debe hacer es conocerlo; una vez comprendido lo resuelve, pero para llegar a una determinación requiere de la memoria, la conciencia y el aprendizaje. En el pensamiento se lleva a cabo una serie de pasos análogos al proceso administrativo, sólo que más complejos; preparación, producción y enjuiciamiento, en la fase de preparación se efectúa un análisis e interpretación del problema, y si se puede se divide en partes pequeñas que faciliten su solución, la etapa de producción no es otra cosa más que hacer uso de todos aquellos recursos que en un momento dado nos ayuden a encontrar una solución eventual, en este ciclo principalmente interviene la memoria, la última etapa es el enjuiciamiento, lo que sería la evaluación de la solución eventual.

(www.psicoadactiva.com)

El pensamiento puede verse como un razonamiento deductivo, clásico método de investigación que lleva de la generalidad a la particularidad, inverso al inductivo, su proceder es actuar directamente sobre algún obstáculo que impida

cierta información o que limite determinadas circunstancias. Para poder razonar es necesario que exista una base vulnerable a las decisiones; es aquí donde puede ubicarse la conciencia, algo que implica moral y actuación, pero más propiamente como una idea objetiva y verbal que indica cómo y por qué se actúa de determinada forma. El concepto de memoria puede manejarse como una capacidad sensorial orgánica de retención mental que involucra procesos asociativos de tipo inconsciente; es una función mental de una reproducción estudiada anteriormente que permite traer al presente imágenes, sensaciones, aromas, ideas y conceptos; para que estos elementos sean recordados se necesita una previa experimentación consciente aunque sea mínima. A diferencia de un ordenador convencional donde es fácil identificar los depósitos físicos en los que resida la memoria, en el cerebro humano intervienen diversos elementos, cada uno encargado de una clase de memoria diferente, puede ser visual, auditiva, química, etc. De acuerdo a su duración se clasifica en memoria a corto y largo plazo; la primera retiene información únicamente por segundos o minutos, la memoria a largo plazo la puede mantener por años. Existen cosas que se quieren recordar y otras que aunque no se quiera se registran y difícilmente se olvidan; esto responde a otra clasificación de la memoria; la responsable de recordar datos concretos como un resultado de una operación matemática o el nombre de un pariente es llamada memoria semántica. La otra clase, es la memoria episódica, que únicamente se ocupa de almacenar hechos históricos vividos directamente por el individuo, ambas forman un concepto conocido como memoria procedural, la cual permite ejecutar actos aprendidos que requieren cierta atención consciente.

¿Cómo funciona el almacenaje y la asociación de los recuerdos? Los científicos indican que es gracias a la excitación eléctrica de grupos concretos de neuronas a través de sustancias químicas llamadas neurotransmisores. La flexibilidad de la memoria en cuanto a recuperación y almacenamiento de recuerdos es el resultado de la plasticidad de las sinapsis, entendiéndose por plasticidad el hecho de adaptarse a circunstancias contingentes. Cada nuevo recuerdo implica una serie de conexiones recién formadas, cuanto más se fortalece éste también así es la agrupación de sinapsis activas.

En psicología experimental, el hecho de dejar huella en conexiones sinápticas y que éstas sirvan de base para futuros procedimientos tiene el nombre de “aprendizaje,” hasta ahora no se sabe si los seres humanos venimos programados genéticamente para aprender, o como es que muchas personas aprenden al pie de la letra grandes cúmulos de información y no comprenden algunos conceptos básicos de biología. Lo que se sabe es que en el cerebro se lleva a cabo una relación estímulo-respuesta en las neuronas permitiendo la construcción plástica de circuitos de sinapsis, estos circuitos los conforman ciertos hechos que tienen determinada similitud con respecto a otros, a base de comparaciones.

Por sí sola destaca la importancia de la adaptación a condiciones nuevas que se trató de explicar en este capítulo, al igual que las infinitas capacidades mentales con las que cuenta el hombre para lograr este fin; concluyendo podemos decir, que la inteligencia estriba entre capacidades de adaptarse a circunstancias cambiantes e imprevisibles y las facultades con que se cuentan para resolver

problemas. Algunas de las máquinas que el hombre está construyendo actualmente, tienen tendencias adaptativas en ciertos casos como lo haría un cerebro biológico; sin embargo, en este fenómeno interviene la disciplina informática conocida como inteligencia artificial, tópico que se tratará a mas profundidad en el capítulo siguiente.

3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y REDES NEURONALES ARTIFICIALES

3.1. INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Entre los conceptos del capítulo anterior se trató un poco a cerca del conocimiento; fenómeno que ha demostrado tener una envergadura y trascendencia que generalmente ha sido asociada a una perspectiva filosófica, y por tanto, siempre ha sido considerado como un problema digno de solución. En lo correspondiente a esta investigación, se le llamará conocimiento a un concentrado de reglas de aprendizaje que modifican y refuerzan conexiones sinápticas generando una percepción compleja y relativa motivada casi siempre por un porcentaje de curiosidad e ímpetu que lo fortalece convirtiéndolo en un efecto un tanto imprudente, ya que difícilmente puede aislarse a nuestro antojo y controlarlo. Estas reglas de aprendizaje advierten por si mismas los resultados de una actividad inteligente necesaria al ser humano para lograr soluciones demostrativas con respecto a lo que está pasando; En una elevada expresión del conocimiento, se puede decir que actualmente no solo se trata ya de la imitación de una mente por otra, sino en este caso, también de una mente por una máquina.

En un alto porcentaje, el aprendizaje implica actividad consciente, de tal modo que son constantes y permanentes los análisis que el cerebro realiza con el fin no solo de interpretar su propia realidad, sino también de las acciones que se tomarán a partir de los estímulos recibidos. Para que este proceso se complete, se requiere de un importante agente intrínseco: la voluntad. Esta se conduce desde

un núcleo emocional sede de sentimientos y deseos altamente cambiante que influye directamente sobre el aprendizaje. Algunos elementos que ejercen cierto dominio sobre la voluntad son los factores de motivación, como la necesidad, y la obligación de retener conocimientos.

Entonces, un elemento de categórica importancia para el aprendizaje voluntario, es el empeño en lograr cierto juicio; si se carece de voluntad se limita la típicamente humana función de cognición. Pero ¿cuáles son los resultados cuando se construyen inventos informáticos programados como si tuvieran una voluntad firme y juicios propios sin el antes mencionado núcleo emocional?, creaciones electrónicas capaces de “conocer” y aptas para elaborar parámetros de apoyo en una forma similar a los cerebros biológicos. Es entonces cuando se habla de Inteligencia Artificial. De esta forma se comienza con la formalización de un compuesto sinérgico de ciencias como psicología, informática, cibernética y filosofía con el fin de elevarlas a un alto grado de productividad.

El objetivo de este capítulo no es tanto describir un alfa y omega de la Inteligencia Artificial, ya que sería evidentemente imposible prever los cursos e innovaciones que delinearan el futuro propio de la disciplina, pero se tratará de exponer sus inicios, estándares tradicionales e implicaciones atribuibles.

3.1.1 PANORAMA HISTÓRICO

Hasta ahora, los patrones directamente relacionados con la informática cognitiva han originado nuevas formas de cálculos matemáticos aplicados a la

computación: Lógica difusa, Algoritmos Genéticos, Redes de Petri, Simulación de eventos discretos, todas englobadas como metodologías de Control Inteligente, Soft computing o Brainware, etc.

La inteligencia artificial es sus variadas formas, es de las pocas disciplinas que han cubierto las esperanzas planeadas para sus aplicaciones, son capaces de realizar actividades tan abstractas como entender algún tipo de lenguaje natural, reconocer imágenes, rutas, memoria de correlación e incluso la capacidad de encontrar métodos para solucionar problemas; en pocas palabras, se han logrado reproducir algunas habilidades mentales humanas en máquinas y androides mediante sistemas programables. Estas actividades en su conjunto conforman una definición razonable de la inteligencia artificial, ya que para integrar adecuadamente un concepto conciso antes se debería llegar a una formalización de lo que realmente es la inteligencia humana, lo que aún es una noción altamente subjetiva y los criterios de los especialistas varían notablemente.

“LA ORIGINALIDAD.- Es ver algo que todavía no tiene nombre, que no puede aún ser denominado, aunque esté delante de todos los ojos. Dada la manera de ser de las gentes, el nombre es lo que hace visibles a las cosas. Los hombres originales suelen ser también los que dan los nombres” (NIETZSCHE; 1983:199)

El concepto de Nietzsche enmarca generosamente las coordenadas en que se ubican los hombres que concibieron nuevas y únicas ideas, y que de alguna forma han hecho historia al preocuparse por cosas tan complejas como imitar la naturaleza o elaborar adaptaciones mecánicas para la misma. La evolución se

presenta en formas diferentes y su progreso no se detiene, una especie de evolución es la que han experimentado estas ideas al trascender de una forma muy importante no solamente para el ámbito informático, sino para una amplia gama de disciplinas, ya que se trata de pensamientos “plásticos” por tener las características de poderse adaptar, dividir o fusionar fácilmente de acuerdo a las necesidades que vayan surgiendo.

Las ideas que dieron origen a esta clase ciencias podrían tener antecedentes muy remotos, por ejemplo en Babilonia, hace unos 5000 años con el ábaco, o en la ciudad de Alejandría, aproximadamente sobre el año 100 a.C., lugar y tiempo de un físico-matemático de nombre Heron, quien fue autor de tratados de mecánica y de óptica. Heron creó un autómeta hidráulico, una máquina que en cierta forma imita a un ser animado en algunos movimientos, lo cual comenzó a trazar un vector de tipo “imitación natural.” Leonardo Da Vinci (1452-1519) diseñó una gran cantidad de artefactos, que mas tarde con la ayuda de máquinas de vapor pudieron construirse. Un importante invento aplicable en los mecanismos, aunque no del tipo mecánico, fueron los logaritmos, los cuales permiten reducir las multiplicaciones y divisiones en simples sumas y restas, desarrollados por el matemático escocés Neper (1550-1617). En 1642, Blaise Pascal diseñó e hizo construir una máquina capaz de sumar y restar llamada pascalina. Estos avances podían verse reflejados en actividades cada vez mas mecanizadas, por ejemplo la construcción de algunos autómetas más complejos, para 1750 aproximadamente Jacques de Vaucansons logró construir uno de los mas afamados fue un artefacto que interpretaba 20 canciones diferentes tan solo

con un tambor en una mano y una flauta en la otra. Alrededor de 1822, un profesor de matemáticas de la universidad de Cambridge, llamado Charles Babbage diseñó una máquina que permitía calcular tablas de valores para cualquier función matemática (logaritmos, cuadrados, cubos, etc), basándose en que toda función se puede aproximar con bastante fiabilidad con polinomios, y teniendo en cuenta que por medio de las sumas se pueden conocer los valores de cualquier polinomio, Babbage posteriormente, intentó desarrollar una nueva máquina que tabulase polinomios de sexto grado con 30 decimales, pero no llegó a concluir este calculador al optar por construir un proyecto que llamaría “la máquina analítica”, este nuevo diseño, contaría con una memoria para almacenar datos de entrada, así como los datos intermedios generados a lo largo de las operaciones, los cuales eran necesarios para continuar los cálculos, debería existir también una unidad aritmética para realizar operaciones matemáticas básicas, una unidad de control para hacer que la máquina ejecute las operaciones en la secuencia deseada, unidades de entrada para suministrar los números iniciales y las instrucciones de operación y una unidad de salida con un diseño similar al de la máquina de escribir. Este instrumento fue terminado por su hijo y presentado ante la Astronomical Society de Inglaterra en 1910. Diez años antes, EEUU enfrentaba un problema en el tratamiento de cantidades voluminosas de datos, ya que se efectuaba un censo poblacional cada cuatro años, y su manejo con métodos convencionales era prácticamente imposible, para esto fue contratado el ingeniero estadístico Hermann Hollerith (1860-1929), quien construyó una máquina estadística que utilizaba tarjetas perforadas, en 1903 Hollerith abandona la oficina de Censo en EEUU y crea su propia compañía de máquinas de tabular

denominada International Business Machine Corporation (IBM).

(http://nitsuga.net.eu.org/redes-neuronales/APEN_D.html)

En el transcurso de los años, se empezaron a construir máquinas para facilitar el tratamiento de información contable, pero el registro y control de esta clase de datos despertó el apetito de los hombres de ciencia requiriendo máquinas de tratamiento automático para datos científicos, lo cual podría complicarse si se consideran los variados tipos de información que aparecen en el mundo científico. Sin embargo, existe una ventaja: podemos ver también que un lenguaje formal para la ciencia es el matemático, ya que los problemas científicos se pueden modelizar fácilmente en un esquema algebraico; así, si a reacciones causadas por cargas electrónicas se les dan efectos mecánicos del estilo de acción-reacción previamente traducidos en un lenguaje lógico-matemático, se tornarían en simples valores de: “cero o uno”, que se interpretan como “sí o no”, o “verdadero o falso”, lo cual nos da como resultado una especie de funcionamiento automatizado, capaz de tomar y ejecutar una decisión a través de ciertas reglas de información activadas por electricidad que más tarde evolucionarían y tomarían el nombre de circuitos lógicos. Para 1936, Alan Turing, quien había estudiado lógica matemática en la Universidad de Cambridge y posteriormente en el Institute for Advanced Studies de Princeton, donde estaban Von Neumann y Albert Einstein, concentró sus esfuerzos en un proyecto llamado MADAM (Manchester Automatic Digital Machine) que resultó el equipo de computación de mayor memoria hasta entonces.

Por 1937 Howard Aiken, trazó los planos para la construcción de una máquina capaz de obedecer órdenes secuenciales, dicha máquina fue fabricada por IBM y donada en 1944 a la Universidad de Harvard, se le llamó MARK 1 y fue la calculadora mas potente con piezas electromecánicas. La MARK 1 y otro calculador llamado ENIAC (Electronic Numerical Integrator Analyzer and Computer) formaron parte de la primera generación de computadoras, su tecnología constaba de válvulas de vacío, que permitían saltar del cálculo eléctrico, al electrónico. En 1945 Von Neumann, proponía diseñar y construir un ordenador que trabajase en sistema binario, capaz de almacenar en su interior los datos necesarios para la resolución del problema que se le plantease y con una memoria de mucha mayor capacidad que las logradas hasta el momento. (NEUMANN, 1945)

El objetivo de esta arquitectura, era construir una máquina capaz de memorizar un conjunto de datos y recíprocamente una serie de órdenes que contenía un programa, de tal modo que pudiera trabajar sola hasta lograr determinado resultado. Para llevar a cabo esta reacción, se requiere de un depósito de memoria que sirva para almacenar los datos, y una unidad de memoria, ambas conjuntamente conforman el CPU (Central Process Unit). Esto es la estructura básica de casi todas las computadoras actuales, además de dispositivos periféricos que permitan ingresar y arrojar datos para llevar a cabo una interacción con el usuario. (ENCICLOPEDIA VOX, INFORMÁTICA; 1993: 52)

Hasta ahora hemos visto como las calculadoras y los ordenadores se relacionan con el pensamiento enfatizando sus similitudes, estas semejanzas

fueron analizadas aproximadamente en 1950, por Turing, quien escribió un artículo titulado “Maquinaria Computacional e Inteligencia” en el que exponía ideas relativamente nuevas respecto al cerebro, al contemplarlo junto con algunos de sus procesos como una forma de ver el mundo de la computación. En este artículo se planteaba una básicamente una pregunta: ¿Pueden las máquinas pensar? Este cuestionamiento provocó polémica y los primeros puntos de contacto entre la Inteligencia Artificial y la psicología. Entre las aportaciones más valiosas de Turing a la Inteligencia Artificial, podemos destacar el diseño de la primera computadora capaz de jugar ajedrez. Alan Turing falleció, y sus trabajos fueron continuados por Neumann, una de sus mas importantes ideas, fue el paradigma de que las computadoras deberían diseñarse tomando como modelo al cerebro humano, construyendo una serie de máquinas considerando los conocimientos sobre el cerebro con los que se contaba en esa época y diseñó los primeros programas almacenados en la memoria de una computadora.

Actualmente se está llevando a cabo la fabricación de máquinas y programas que “piensan,” especializados en entornos muy concretos y que por tanto deben disponer de una amplia gama de conocimientos específicos a cerca de las alternativas a seguir. El hecho de dominar la comprensión de los mecanismos propios de la inteligencia humana y utilizar la ingeniería como herramienta para conjugarlos y lograr nuevos efectos, ha sido el punto de partida para este avance tecnológico; sin embargo, la Inteligencia Artificial, a pesar de concentrarse en diferentes actividades, algunas de ellas tan cotidianas y simples en los seres humanos como reconocer visualmente un objeto, comprender la

articulación de un lenguaje hablado y diagnósticos de enfermedades, se requiere de un grado diferente de complejidad en la programación a diferencia del que utilizan los ordenadores convencionales llamada programación imperativa.

3.1.2. PROGRAMACIÓN

Los humanos utilizamos diferentes clases de lenguajes para llevar a cabo una comunicación interpersonal, éstos pueden ser de tipo verbal, escrito, incluso corporal, pero para lograr establecer cierta comunicación con una máquina estos idiomas coloquiales no son adecuados debido a su ambigüedad. Los ordenadores utilizan lenguajes especializados para establecer una relación comunicativa persona-máquina, entonces, programar es la actividad en la que una persona le dice que hacer a la máquina mediante un lenguaje de programación.

Algunos lenguajes de programación tienen propósitos muy especializados mientras que otros son de propósito general. Las computadoras no únicamente requieren de los lenguajes de programación para trabajar, puesto que sus operaciones las realizan en lenguaje binario o máquina, así es que necesitan un traductor que decodifique los datos del lenguaje de programación al lenguaje máquina. Los programas traductores se dividen en dos tipos: intérpretes y compiladores.

Podemos ver que la estructura de un lenguaje humano está organizada con gramática y con reglas sintácticas; de igual forma sucede con los lenguajes de

programación, y se pueden clasificar en varios niveles: léxico donde los símbolos que se pueden usar en el lenguaje, sintáctico: las construcciones válidas de símbolos y semántico: significado de las construcciones, sólo que los detalles gramaticales varían dependiendo del lenguaje.

Otra clasificación de los lenguajes de programación, de acuerdo a las estructuras de procesamiento que utilizan y la forma en que se programa en ellos en lenguajes imperativos y lenguajes declarativos. Los lenguajes imperativos o de 4ª generación se caracterizan por trabajar bajo órdenes en las que se especifica cómo se ha de resolver el problema. Generalmente son de aplicación general y básicamente existen dos clases: los orientados al objeto en los que el lenguaje obliga a seguir una determinada metodología, llamada programación orientada al objeto. Por otra parte tenemos los clásicos, y se identifican por qué no obligan a seguir una metodología determinada. La programación funcional se centra en los lenguajes declarativos o también conocidos como lenguajes de 5ª generación. Aquellos en los que se especifica cuál es el problema que hay que resolver y generalmente son de aplicación específica. Esta clase de lenguajes incorporan métodos generales de resolución de problemas y también se dividen en dos tipos, los lógicos que están basados en la lógica de predicados, y su aplicación más inmediata es la demostración automática de teoremas. Y los funcionales, que están basados en el concepto matemático de función, y su aplicación más inmediata es el cálculo simbólico. En la tabla 3.1.2.1 se presenta algunos tipos de los lenguajes de programación más usuales:

Nombre	Tipo	Uso	Año
FORTRAN	Imperativo	Cálculo científico	1956
COBOL	Imperativo	Programación gestión	1960
LISP	Funcional	Cálculo simbólico	1960
BASIC	Imperativo	Educativo	1965
PASCAL	Imperativo	Educativo	1971
PROLOG	Lógico	Cálculo lógico	1971
C	Imperativo	Programación sistemas	1974
SMALLTALK	O. Objeto	General	1979
JAVA	O. Objeto	Programación Internet	1995

TABLA 3.1.2.1

(<http://journals.cambridge.org/clemson/tigers>)

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) generalmente primero se construyen en español estructurado usando un pseudocódigo que básicamente se utiliza en programación funcional para narrar procesos complejos en soluciones lógicas o matemáticas bien definidas, y posteriormente se efectúa una compilación entendible para la máquina. Un común denominador en cuanto a procedimientos con el objetivo de resolver cualquier operación con la computadora por medio de la programación, consiste en dividir los problemas en una serie de acciones o pasos simples. Una acción compleja consiste entonces en la concatenación de estos pasos simples.

Sin perder de vista el verdadero objetivo de la programación; es decir, la respuesta a la necesidad de procesar grandes cantidades de información y automatizar una serie de tareas repetitivas, obteniendo mejores resultados en menos tiempo, podemos señalar que la metodología de la programación no es mas que un conjunto de conceptos capaces de combinar los diferentes elementos presentes en un lenguaje de programación para obtener una resolución a un problema determinado, de tal forma que dicha resolución sea lo más eficaz posible. Para facilitar el entendimiento, se mostrarán algunos de los conceptos básicos que intervienen en el proceso de programación:

- El código fuente; se trata de un conjunto de instrucciones propias de cada lenguaje de programación que componen a un programa.
- Los recursos, que son cada uno de los componentes de la computadora, como la memoria, el procesador, los discos de almacenamiento, etc.
- El paradigma de programación, que se refiere a los conceptos relativos a la forma de razonar y estructurar un problema para su resolución.
- Fundamentos lógicos; son el conjunto de operaciones para deducir si algo es verdadero o falso.
- Algoritmo; son las sentencias que especifican la secuencia de determinadas operaciones a realizarse.
- Estructura de datos; es la forma en que se almacenan los datos de acuerdo a algún criterio previamente establecido.
- Estructura de control, que es el elemento que decide la selección o repetición de una o varias sentencias.

- Entorno de desarrollo, son todas las herramientas utilizadas para elaborar y ejecutar un programa.

Digamos que un pseudocódigo no es más que una serie de reglas; asignación de valores a variables, condiciones, sentencias, etc., todas estas combinadas y con infinitas posibilidades de operar entre si; un ejemplo de tales circunstancias son los pasos a acciones básicos que deben incorporarse en todo pseudocódigo:

Asignación de valores a variables:

Supóngase que se desea trabajar con los valores 500 y 700. Las sentencias $J=500$ $R=700$ crea dos variables numéricas a las que asigna los valores citados. A continuación se efectúa una realización de operaciones matemáticas con los valores almacenados en las variables. El valor almacenado en una variable debe poder ser cambiado mediante el uso de operadores matemáticos, lógicos o de cadena de caracteres.

A los efectos del pseudocódigo, si se desea sumarle 1 unidad al valor almacenado en la variable J se designa:

- $J = J+1$, denotando con ello la suma de una unidad al valor previo de la variable y el almacenamiento de dicho resultado como nuevo valor de la misma, por ejemplo:
- $J = R+1$ El nuevo valor de J pasa a ser el valor de R mas 1

- $J = R^2$ El nuevo valor de J pasa a ser el valor de R elevado al cuadrado
- $J = J^2$ El nuevo valor de J pasa a ser el viejo valor de J elevado al cuadrado
- $J = J * R$ El nuevo valor de J pasa a ser el viejo valor de J por R
- $J = J - R$ El nuevo valor de J pasa a ser el viejo valor de J menos R
- $J = J / R$ El nuevo valor de J pasa a ser el viejo valor de J dividido por R
- $J = 2 * (R^2)$ El nuevo valor de J pasa a ser el viejo valor de 2R al cuadrado

Mediante estos procedimientos, es posible recalcular funciones automáticamente. Cambiando el valor de la variable R para el último ejemplo, obtenemos automáticamente un nuevo valor de J consistente en el resultado de elevar el valor al cuadrado y multiplicarlo por 2.

Las condiciones lógicas consisten por ejemplo en una cláusula que pueda ser respondida con los valores Verdadero o Falso, si se hace la pregunta: ¿Es J igual a uno? ($J = 1?$) solo puede ser respondida como Verdadero o Falso. Otro ejemplo es la cláusula “MIENTRAS”, que establece como condición que un suceso o variable tengan un determinado valor. Así MIENTRAS $J = 1$, establece como condición que algo va a ser hecho o dejarse de hacer cuando la variable J tenga el valor 1. Tenemos también a las expresiones condicionales: (Llamadas también expresiones IF/THEN/ELSE), todo pseudocódigo debe tener estructuras que utilicen las condiciones de tal manera que expresen:

- Si ocurre una condición determinada, entonces haga algo.
- Si no ocurre una condición determinada entonces no haga nada, ejemplo:
- Si el valor de J es mayor que el valor de R entonces termine el programa.
- Si no se ha llegado al final de una base de datos, entonces continúe buscando.
- Si $J = 1$ entonces $R = R+1$.

Así mismo, siempre debe haber una instrucción para ordenar cuando una acción debe ser repetida y una que indique hasta donde se debe repetir, a éstas se les conoce como acciones de repetición condicional e incondicional, por ejemplo:

- mientras se cumpla una condición
- hasta que se cumpla una condición
- siempre
- un numero determinado de veces

Éstas deben hacer o dejar de hacer algo mientras se cumpla cierta condición.

3.1.3 LENGUAJES IMPERATIVOS Y FUNCIONALES

Actualmente existen muchas definiciones diferentes sobre la programación funcional, la definición formal que proporciona el neurocientífico Graham Hutton de la Universidad de Nottingham es:

“La programación funcional es un estilo de programación que resalta la evaluación de expresiones, en lugar de la ejecución de comandos. Las expresiones en estos lenguajes se forman usando funciones para combinar valores básicos. Un lenguaje funcional es un lenguaje que soporta y anima a programar en un estilo funcional” (www.sciencedirect.com)

La programación funcional está sustentada en un modelo simple, que es encontrar el valor de una expresión evaluando las sub-expresiones que la conforman. De esta manera se pueden construir funciones de forma tal que sus nombres formen parte de las expresiones que son evaluadas usando las definiciones como reglas de reducción para convertir dichas expresiones en valores finales. Las funciones están modeladas sobre la forma de las operaciones matemáticas y como tales razonadas y manipuladas según las leyes algebraicas. Entonces, de esto podemos decir que una función matemática es una relación de miembros de un conjunto, llamado dominio a otro conjunto llamado codominio. La relación que se mantiene se describe por medio de una expresión. Una de las características fundamentales de las funciones es que el orden de la evaluación de sus expresiones se controla por recursión y por expresiones condicionales en lugar de controlarse por secuencia e iteración como lo hacen los lenguajes imperativos. Otra característica importante es que las funciones matemáticas no tienen efectos colaterales ya que, dado el mismo conjunto de argumentos siempre devolverá el mismo valor. La relación entre dichas funciones y las RNA, se manifiesta al estructurarse el propio aprendizaje; es decir, las funciones en programación funcional son valores y como tales, pueden ser usados como

argumentos de otras funciones y también retornarlos como resultados; dicho de otra forma, se van construyendo patrones útiles en posteriores tomas de decisiones. Como introducción a la programación, comúnmente se utilizan lenguajes imperativos, sobre todo en el medio escolar, dentro de las diferencias más significativas de los lenguajes funcionales en comparación con los lenguajes imperativos tenemos que en los lenguajes imperativos existe un concepto llamado “asignación” el cual no se encuentra en los lenguajes funcionales puros; en los primeros, la asignación puede cambiar el valor a un objeto, mientras que en los funcionales, al aplicar una función, devuelve el valor anterior pero modificado creando un nuevo valor; es así como se evitan efectos colaterales; dando el mismo conjunto de argumentos, una función siempre conducirá a los mismos valores de resultado. Otra diferencia, es que casi en todos los lenguajes imperativos como Pascal tienen poco alcance para el alto orden; permiten pasar funciones como argumentos pero no permiten devolverlas como resultado, por eso una de las principales características de los lenguajes funcionales es la facilidad que presentan para tratar funciones como objetos, lo que les permite aceptarlas como parámetros de otras funciones, retornarlas como resultado, y además permitir que otras estructuras de datos las contengan dentro de sus componentes. Esto permite la creación de poderosas operaciones sobre conjuntos de datos. Los lenguajes funcionales intensifican el „qué’ antes que el „cómo’; son muy aproximados a la forma natural de pensar, así, si existe un problema, éste se analiza y se plantea de forma lógica. Los lenguajes funcionales tienen una gran capacidad de manejar abstracciones, lo que permite separar conceptos: ante un problema separar los aspectos esenciales, de los detalles que puedan

incorporarse en etapas posteriores. Esta clase de lenguajes son modelos simples. La simplicidad se debe al énfasis que se pone en los valores, independientemente de la máquina que se está usando. Los usuarios no deben preocuparse por el manejo de estos datos, y el almacenamiento es asignado a medida que se van construyendo las operaciones sobre los datos. Los programas además de ser sencillos de entender y por lo tanto sencillos de modificar, tienen poca cantidad de líneas de código. La ausencia de efectos colaterales debido a la inexistencia de asignaciones, hace que el razonamiento matemático en este tipo de programación sea el más apropiado para programas que se ejecuten en paralelo como las RNA.

3.2 REDES NEURONALES ARTIFICIALES

3.2.1 LA NEURONA ARTIFICIAL

Por razones de complejidad y abstracción, puede sonar absurda esta analogía; sin embargo, si al cerebro humano se le compara con un complejo computador, se hablaría de un ordenador no lineal, cuyas operaciones se efectúan de forma paralela, pudiendo procesar a un ritmo increíblemente veloz grandes cantidades de información imprecisa proporcionada por los sentidos, combinarla o compararla con la información almacenada para luego dar respuestas apropiadas aún en situaciones nuevas. La capacidad de operar en paralelo le permite que tareas que necesitan una gran cantidad de cálculos y tiempos en potentes ordenadores, como el reconocimiento de patrones y la clasificación de objetos puedan ser realizadas de forma instantánea por un ser vivo no necesariamente

humano, otra importante característica, es que posee la capacidad de aprender sin instrucciones explícitas de ninguna clase; crear las representaciones internas que hacen posible estas habilidades.

Aunque aún se desconoce mucho la forma en que el cerebro aprende a procesar la información, varios investigadores basados en la eficiencia de los procesos llevados a cabo por éste, han desarrollado desde hace más de 50 años la teoría de las RNA, las cuales emulan el comportamiento de las redes neuronales biológicas, y que se han utilizado para aprender estrategias de solución basadas en ejemplos de comportamiento típico de patrones. Estos sistemas no requieren que la tarea a ejecutar se programe, ellos generalizan y aprenden de la experiencia. Las RNA no ejecutan instrucciones, responden en paralelo a las entradas que se les presenta; el resultado no se almacena en una posición de memoria. El conocimiento de una RNA no se almacena en instrucciones, el poder de la red está en su topología y en los valores de las conexiones entre neuronas.

A mediados de las 50's, McCulloch, un neurofisiólogo toma una postura radicalmente distinta a las antes tomadas sobre procesamientos de datos al sostener que las leyes que gobiernan al pensamiento deben buscarse entre las reglas que gobiernan a la información y no entre las que influyen directamente a la materia, haciendo que se abandonara un poco la línea de investigación de la Inteligencia Artificial en la imitación del cerebro a nivel celular. En 1956 se realizó un congreso en Dartmouth en un intento de unificar algunas presuposiciones sobre la Inteligencia Artificial, éste también ofrecería organización e impulso para la misma, además de definir su núcleo teórico; a partir de estas fechas, los

vectores de investigación partieron en diversas direcciones, una de ellas fue el primer programa inteligente diseñado por Shanon, Newell, Shaw y Simon, basado en un modelo de procesamiento de información que más tarde tomaría la forma de una teoría absoluta en psicología cognoscitiva. Otra línea de investigación se enfocó en la naturaleza del aprendizaje en las computadoras y a los procesos de reconocimiento de patrones visuales, como resultado de ello Selfridge y Dinneen consiguen diseñar el primer programa capaz de aprender por experiencia. De igual forma, basándose en estudios acerca de la memoria asociativa, Newell, Shaw y Simon elaboraron los primeros lenguajes adecuados para el procesamiento de información, llamados IPL-I, e IPL-II, los cuales fueron empleados para el proyecto de la "Logic Theorist Machine", primera máquina "inteligente", capaz de memorizar y aprender, incluso contaba con facultades creativas.

Una neurona es un cuerpo celular con unas 5 o 10 micras de diámetro del que salen varias ramificaciones, una más larga que las demás llamada axón y las pequeñas llamadas dendritas. Las neuronas biológicas contienen elementos similares a los de cualquier otra célula viva, además contienen factores que las diferencian tales como la capacidad de comunicarse mediante estos filamentos, con las dendritas capta la información y con el axón la emite a otras neuronas. Se estima que una neurona recibe información de miles de otras neuronas, y a su vez ésta también transmite la información de miles de ellas. Su funcionamiento se basa en transmisiones químicas y eléctricas. La señal generada por la célula y transportada a lo largo del axón es de tipo eléctrica, mientras que la que emite de las terminales axónicas hacia las dendritas de otras neuronas es de tipo químico

mediante sustancias llamadas neurotransmisores, los cuales fluyen a través de contactos plásticos denominados sinapsis. Las señales eléctricas influyen directamente a la membrana celular que separa el plasma intracelular del fluido intersticial que se encuentra fuera de la célula controlando su permeabilidad. Todas las especies iónicas pueden traspasar la membrana excepto los iones orgánicos que tienen un tamaño relativamente mas grande, así que el líquido contenido dentro de la neurona tiene una composición antagónica respecto al líquido en el exterior de ésta. El fluido contenido dentro de la célula es aproximadamente 10 veces más rico en iones de potasio (K), y el de fuera de ella es 10 veces más rico en iones de sodio (Na). La diferencia iónica del interior respecto con el exterior produce un potencial eléctrico aproximado de 70 a 100 milivoltios negativa en el interior de la célula, lo que se conoce como potencial de reposo. (FREEMAN; 1991:10) En el proceso de llegada de las señales provenientes de otras células a través de las sinapsis con otras neuronas actúa acumulativamente bajando el potencial de reposo. Al sufrir un decremento la carga eléctrica, la permeabilidad de la membrana sufre una modificación al llegar hasta cierto valor en donde comienza una entrada masiva de iones de Na que invierten la polaridad de la membrana. (HILERA; 2000: 48). Al experimentar una inversión en la polaridad del voltaje llamada potencial de acción, la membrana cierra el paso a los iones de Na y abre el paso a los iones de K hasta llegar al grado donde el equilibrio en reposo queda restablecido. El potencial de acción se propaga a lo largo del axón activando la emisión de los neurotransmisores en las terminales axónicas. Como antes se ha mencionado, las sinapsis son uniones entre las terminales axónicas de una neurona con las dendritas de otra.

Existen dos tipos de sinapsis: las excitadoras, cuyos neurotransmisores provocan disminuciones de potencial en la membrana de la célula postsináptica, facilitando la generación de impulsos a mayor velocidad. Y las inhibitoras; los neurotransmisores de éstas tienden a estabilizar el potencial de la membrana dificultando la emisión de impulsos. “Casi todas las neuronas reciben entradas procedentes de sinapsis excitadoras e inhibitoras. En cada instante, algunas de ellas estarán activas y otras se hallarán en reposo; la suma de los efectos excitadores e inhibidores determina si la célula será o no estimulada; es decir, si emitirá o no un tren de impulsos y a que velocidad”. (HILERA; 2000: 49) Con esta información podemos llevar a cabo una comparación entre las neuronas biológicas y las artificiales, hemos visto como las señales que llegan a las sinapsis se convierten en entradas de una nueva neurona, éstas sufren una atenuación o incremento para convertirse en una especie de valor absoluto todo o nada denominado “peso”. Si el peso de una neurona es positivo se excita, y de lo contrario, si es negativo se inhibe, el efecto que se logre es una suma de las entradas ponderadas. Puesto que cada neurona se activa o no se activa, el proceso se puede comparar con una calificación escolar; si la sumatoria de las calificaciones parciales llegan a los 60 puntos la calificación es aprobatoria; si sólo llega a 59 puntos es reprobatoria, de igual forma, si la sumatoria de los pesos recibidos no llegan al umbral excitatorio de la neurona, ésta no se activa y permanece en un estado de reposo. Durante estos años la Inteligencia Artificial adopta un enfoque situacional, respecto a la resolución de problemas, como retos de Ajedrez y Damas hasta aproximadamente 1949, cuando McCulloch, junto con el matemático Walter Pitts, teorizaron el funcionamiento de las neuronas y

propusieron un modelo matemático de neurona. En este modelo cada neurona cuenta con una serie de entradas y salidas de información. Cada una de las entradas se encuentran afectadas por un peso. La activación de la neurona es calculada a partir de la suma de los productos de cada entrada; la salida es una función de esta activación. Lo principal en este sistema radica en los pesos de las diferentes entradas. De esto podemos decir, que si las entradas son modificadas por el peso y las salidas son función de estas modificaciones, entonces quiere decir que los pesos influyen de forma decisiva en la salida y por lo tanto pueden ser utilizados para controlar la salida que se desea. En principio, así fue como modelaron la primer RNA simple utilizando circuitos eléctricos, este arquetipo mas tarde serviría como plataforma para Frank Rosenblatt en 1958, quien emprendió el desarrollo de la mas antigua RNA llamada Perceptrón, este modelo tenía la “capacidad de generalizar; es decir, después de haber aprendido una serie de patrones era capaz de reconocer otros similares, aunque no se le hubieran presentado anteriormente. En el siguiente año, Bernard Widrow y Marcial Off, ambos de Stanford, desarrollaron la primera RNA aplicada a un problema real, el modelo ADALINE (Adaptative Linear Elements) empleada como filtros adaptativos para eliminar ecos en las líneas telefónicas.

En 1967, Stephen Grossberg realizó una Red que fundamentada en elementos discretos con una actividad variable de acuerdo al tiempo que satisface ecuaciones diferenciales continuas, para resolver actividades tales como el reconocimiento continuo del habla y aprendizaje del movimiento de los brazos de un robot, las investigaciones en RNA se vieron frenadas por un lapso hasta

aproximadamente 1982, cuando Marvin Minsky y Seymour Papert del Instituto Tecnológico de Massachussets lanzaron un libro titulado “Perceptrons”, el cual contenía un análisis matemático del Perceptrón y la opinión de aumentarle capas al Perceptrón de Rosenblatt haciéndolo multinivel en lugar de una sola capa. Por esas fechas, Jame Anderson construyó un modelo lineal llamado Asociador Lineal que consistía en elementos integradores lineales (neuronas) que efectuaban una sumatoria de sus entradas. Este modelo se basa en el principio de que las conexiones entre neuronas se refuerzan cada vez que se activan. Anderson desarrolló una potente extensión del Asociador Lineal, llamada Brain-State-in-a-Box (BSB) (HILERA; 2000: 5). Las explosiones de investigación no sólo tenían lugar en EEUU, ya que continuaron de la misma manera en Japón y Europa. Kunhihiko Fukushima desarrolló un poderoso prototipo de Red Neuronal especialista en el reconocimiento de patrones visuales. Teuvo Kohonen, ingeniero electrónico de la universidad de Helsinki desarrolló un modelo similar al Asociador Lineal de James Anderson. Para 1982, John Hopfield mostró una completa exposición sobre RNA ante la Academia Nacional de las Ciencias, la cual presentaba la forma en que éstas pueden trabajar y de lo que son capaces de efectuar, además, detallaba claramente una nueva Red que tenía las características de una variación del Asociador Lineal a la que llamó “Modelo de Kohonen”.

En la siguiente tabla se pueden apreciar algunas de las características más importantes de las redes que han servido de cimiento para los modelos más modernos.

En la tabla 3.2.1.1 se muestran algunas características de las RNA mas importantes.

AÑO	1957	1960	1967	1974	1977	1978	1980	1982	1985	1985	1986	1986
NOMBRE DE LA RED	Perceptrón	Adaline / Madaline	Avalancha	Back propagation	Brain-Estate-in-a-Box.	Neocognitron	Self-Organizing-Mao (SOM). Topology-Presevering-Map (TPM).	Hopfield	Máquinas de Boltzmann y Cauchy	Memoria asociativa bidireccional	Counter propagation	Teoría resonancia adaptativa (ART)
APLICACIONES MAS IMPORTANTES	Reconocimiento de caracteres impresos	Filtrado de señales. Equalizador a. Modems.	Rec. de habla continua. Control de brazos de robot	Síntesis de voz desde texto. Control de robots. Predicción. Rec. de patrones	Extracción de conoc. de bases de datos	Rec. de caracteres manuscritos.	Rec. de patrones, codif. de datos, optimización	Reconstrucción de patrones (imágenes, sonar y radar)	Rec. de patrones heteroasociativa por contenido	Comprensión de imágenes.	Patrones, sonar, radar	
COMENTARIOS	La red más antigua.	Rápida, implementación circuitos analógicos.	Ninguna red sencilla puede hacer todo esto	Red más popular. Fácil aprendizaje. Potente.	Posiblemente mejor realización que las Redes de Hopfield.	Insensible a la transformación, rotación y escala.	Realiza mapas de características de los datos	Implementación en VLSI.	Redes simples. Representación óptima de patrones.	Aprendizaje y arquitectura simples.	Combinación de Perceptrón y TPM.	Sofisticada. Poco utilizada
LIMITACIONES	No reconoce caracteres complejos	Sólo es posible clasificar espacio linealmente separa.	Difícil alterar la velocidad o el movimiento.	Mucho tiempo para el aprendizaje y muchos ejemplos.	Realización y aplicaciones no estudiadas totalmente.	Require muchos elementos de proceso, niveles y conexiones.	Require mucho entrenamiento	Capacidad y estaabilidad.	Largo tiempo de aprendizaje.	Los datos deben ser codificados	Numerosas neuronas y conexiones y escala.	Sensible a la transformación, distorsión y escala.
DESARROLLO / INVENTADA POR	Frank Rosenblat.	Bernard Widrow.	Stephen Grossberg.	P. Werbos, David Parker, David Rumelhart.	James Anderson.	K. Fukushima.	Teuvo Kohonen.	John Hopfield.	J. Hinton, Terry Sejnowsky, Harold Szu.	Bart Kosko.	Robert Hecht-Nielsen.	G. Carpenter, Stephen Grossberg

TABLA 3.2.1.1

Actualmente muchas personas tienen un concepto erróneo sobre los modelos de RNA al pensar que se basan en una metodología estadística, o que hablar de Inteligencia Artificial, es sinónimo de simuladores; sin embargo, estos sistemas son esencialmente fundamentados en el funcionamiento del cerebro humano, y podemos resumir que una RNA trabaja mediante estímulos que recibe, a los que para entrar en materia llamaremos “input” o entradas para lograr una condición estable, lo que llamaremos el estado “output” o salida, así es como va aprendiendo de su experiencia propia y tiene una característica capaz de generalizar utilizando datos históricos y reconociendo variables esenciales. Los elementos básicos, denominados neuronas, nodos o elementos procesadores, dependiendo del autor, realizan diversas funciones como evaluar las señales de entrada, sumarlas y compararlas con un valor de umbral determinado que sirve de parámetro al valor de salida. Las neuronas pueden encontrarse en tres clases: las que captan estímulos del exterior, ya sean de aparatos sensoriales o de la introducción de archivos, es decir, las que reciben los datos “input.” Están también los nodos o neuronas intermedios, a los que se transmite la información captada y se encargan de procesarla, a estos elementos se les conoce como “unidades ocultas”, ya que no tienen relación directa con los nodos de entrada ni con los de salida. Y al final del proceso tenemos a las unidades de salida, que son las responsables de emitir una respuesta. Sintetizando un poco, podemos decir que la neurona artificial recibe información de diversas fuentes. La información no le llega a la neurona en estado puro, sino que es ponderada debido a que un tipo de información tendrá diferente importancia respecto a otro. Por eso a la información X_i se le multiplica por un peso designado por W_i . Lógicamente, si hay N puntos de

información, habrá N pesos, uno por cada punto de información. Al llegar a la neurona todos los datos de las informaciones ponderados por sus pesos se suman, a este fenómeno se le conoce como la *Regla de Propagación*. Podría adoptar otras fórmulas pero la más habitual es la simple suma de todas las entradas ponderadas que toma el nombre de Potencial Sináptico. Así, entonces se puede observar que cada neurona se encuentra caracterizada por un valor numérico al que se le va a llamar valor o estado de activación, los autores Hilera y Martínez (Figura 3.2.1.2) representan un modelo de neurona caracterizando a la función de salida como f la cual transforma el estado actual de activación en una señal de salida y . Esta señal será enviada a otras de la red, al llegar a los canales de las otras neuronas, la señal sufre una modificación de acuerdo a un peso específico, señalado como w_j . Ahora, la sumatoria de las señales dentro de la nueva neurona, en este caso j se mezclan obteniendo así la entrada total: Net_j .

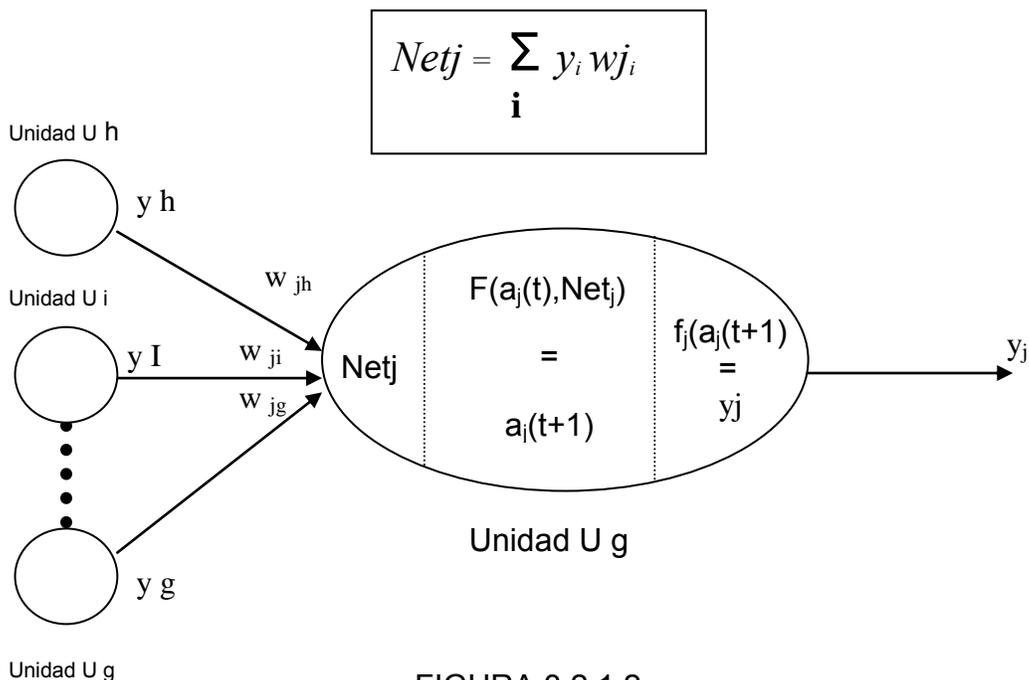


FIGURA 3.2.1.2

Se conoce como capa o nivel a un conjunto de neuronas cuyas entradas provienen de una misma fuente. Cuando el resultado de la regla de propagación supera un cierto número, anteriormente denominado umbral, entonces la neurona se activa y el número resultante de la regla de propagación se “introduce” en una función denominada *Función de transferencia*. El estado de activación de un conjunto, capa o nivel en un momento t se especifica por un vector de N números reales $A(t)$, así, cada elemento del vector representa la activación de una unidad en el tiempo t . Esquemáticamente se podría representar de la siguiente manera:

$$A(t) = (a_1(t), a_2(t), \dots, a_i(t), \dots, a_n(t))$$

Los estados de activación pueden ser de dos tipos, discretos o continuos, además pueden ser limitados o ilimitados; si son discretos, suelen tomar un conjunto pequeño de valores binarios. En notación binaria, un estado activo se indicaría con el número 1 y se caracteriza por la emisión de un impulso por parte de la neurona, lo que sería el potencial de acción, asimismo, un estado pasivo se indica con un 0, lo cual significa que el estado de la neurona es el reposo. En otros términos, la regla de propagación hace que se sumen todos los datos que han llegado a la neurona; otra fórmula con la que se podría describir es la siguiente:

$$H_i(t) = \sum_{j=1}^N X_j * w_j$$

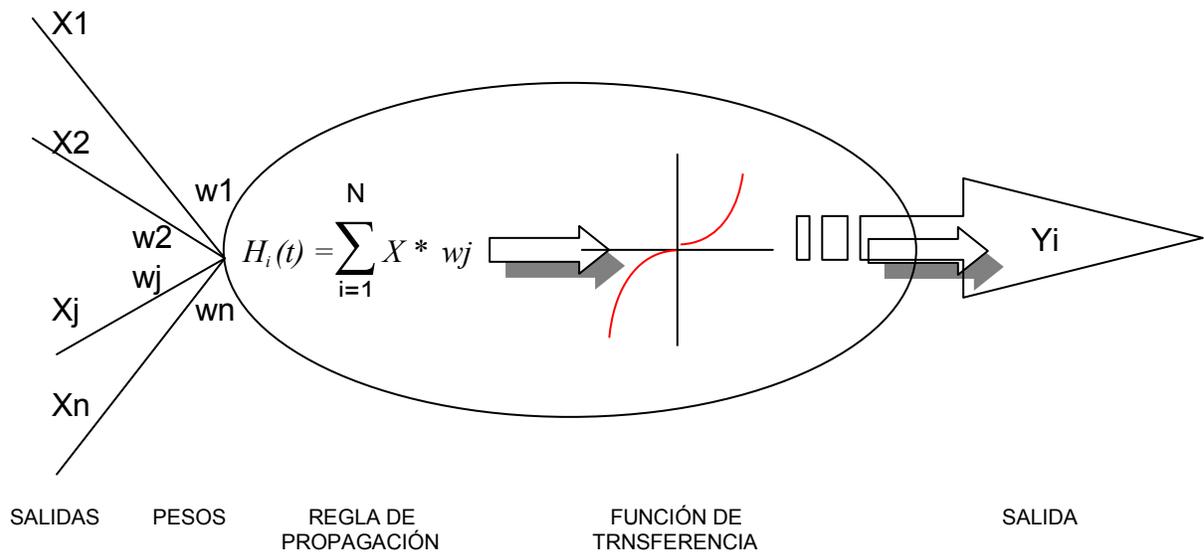
Y esquemáticamente se podría explicar con la figura 3.2.1.3:

Donde:

$H_i(t)$ es el potencial sináptico de la neurona i en el momento t .

X_j es la entrada de datos procedentes de la fuente de información j .

W_j es el peso sináptico asociado a la entrada X_j .



ESQUEMA 3.2.1.3

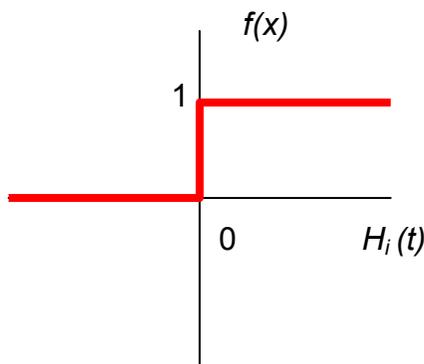
En el esquema 3.2.1.3 se puede observar el proceso de una neurona artificial, ya que se aprecia el flujo de información de las entradas; una vez estando en ella, la regla de propagación trabaja efectuando el cálculo; si el resultado de ésta supera cierto número al que anteriormente nos referimos como umbral, entonces la neurona se excita y el número resultante de la regla de propagación se introduce a una función denominada “de transferencia”, de lo cual podríamos decir que:

$H_i(t) > \theta$ entonces $f[H_i(t)]$

Si la neurona es activada, la regla de propagación inserta su resultado (umbral) a una función. ¿Cuáles son estas funciones? Algunas funciones de transferencia típicas que determinan a estas neuronas son la Función Escalón, Función Lineal, Función Sigmoidea (tangente y logarítmica) y Función Gaussiana.

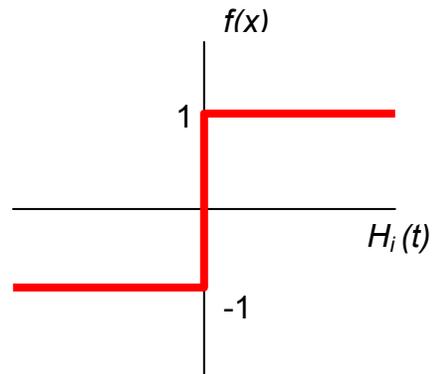
La primera de ellas, también conocida como función umbral, es utilizada en redes con salidas binarias: 0, 1. La neurona se activa cuando el valor del potencial postsináptico es mayor o igual a cierto valor umbral.

En el siguiente ejemplo el umbral es cero. Cuando la función de propagación supera el valor cero, la función tomará valor uno. En caso contrario la función tomará el valor cero como se observa en los esquemas 3.2.1.4 y 3.2.1.5.



Sea	$f(x) = 1$ cuando $H_i(t) \geq 0$
Y	$f(x) = 0$ cuando $H_i(t) < 0$

ESQUEMA 3.2.1.4

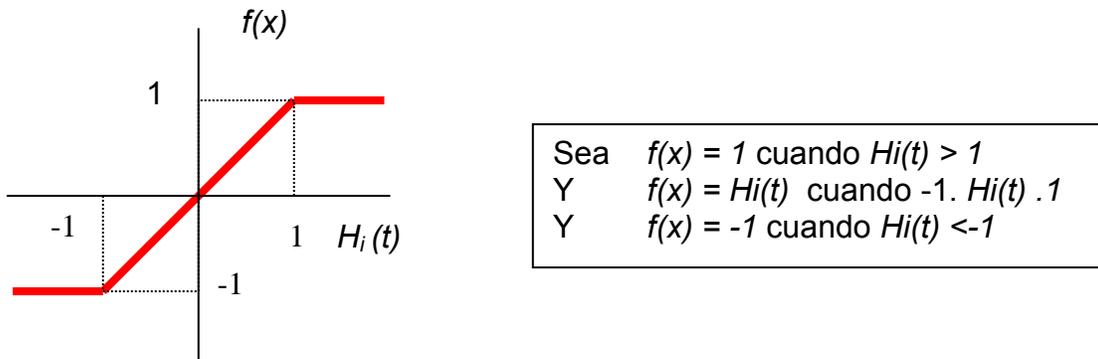


Sea	$f(x) = 1$ cuando $H_i(t) \geq 0$
Y	$f(x) = -1$ cuando $H_i(t) < 0$

ESQUEMA 3.2.1.5

En ambos casos el umbral es cero; en caso de que fuera diferente a cero, el escalón se vería desplazado. Otra función de transferencia es la llamada función lineal y mixta, existen autores que le dan el nombre de función de identidad. Esta

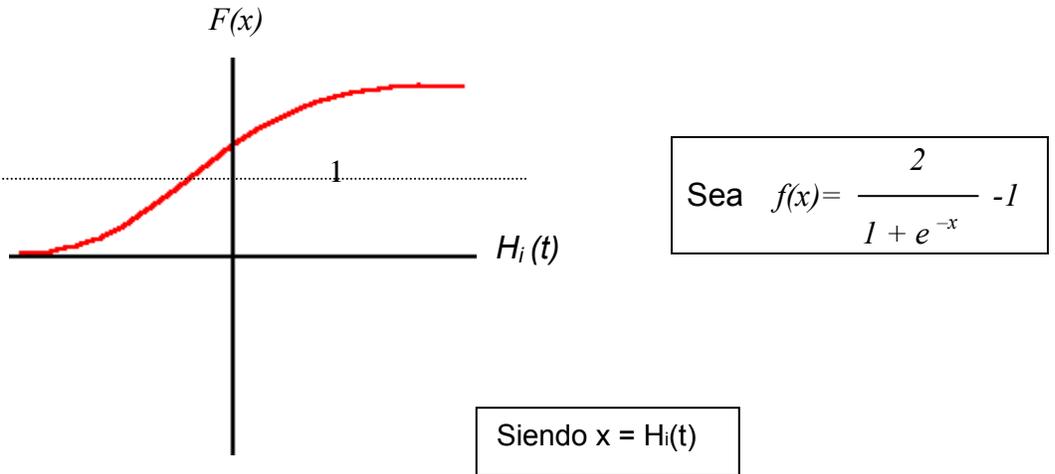
función responde a la expresión $f(x) = H_i(t)$. Una variación de la función lineal sería la función lineal a tramos donde la salida de la neurona sería la función identidad siempre y cuando el valor del potencial postsináptico estuviese dentro de un rango de valores. Al estar fuera del rango la función se torna constante. Por ejemplo el esquema 3.2.1.6.



ESQUEMA 3.2.1.6

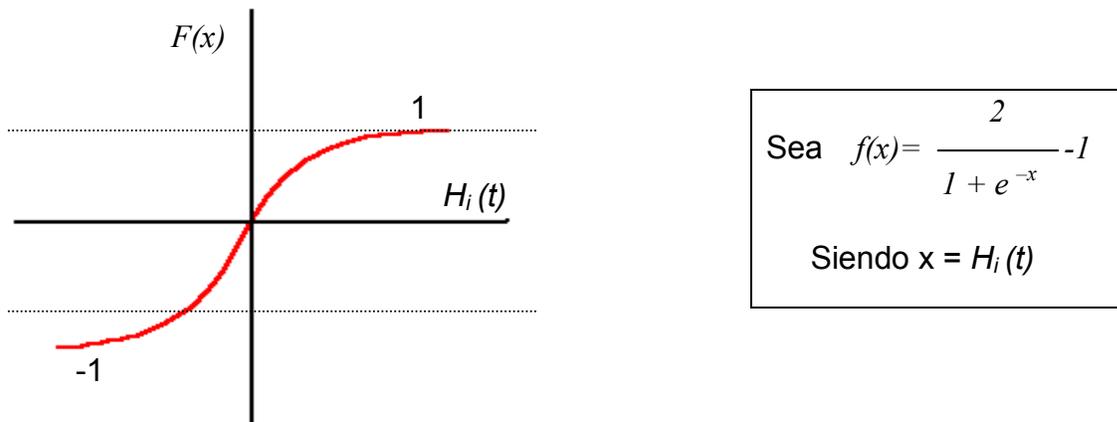
En el esquema 3.2.1.6 se aprecia como la función pasa a ser la función identidad a partir de que la función de propagación tome el valor -1 hasta el valor $+1$. Fuera de este rango la función se torna constante con un valor de -1 desde $-\infty$ hasta -1 y con un valor de $+1$ desde $+1$ hasta $+\infty$.

La siguiente función a tratar es la logarítmica sigmoidea. La salida de esta función siempre será continua en el rango entre cero y uno. Con esta familia de funciones se pueden utilizar datos continuos o digitales proporcionando salidas exclusivamente continuas. Véase el esquema 3.2.1.7



ESQUEMA 3.2.1.7

Función Tangente Sigmoidea: es una de las funciones más utilizadas en las RNA por su flexibilidad y el amplio rango de resultados que ofrece. Las ventajas de utilizar una tangente sigmoidea frente a una sigmoidea reside en que la segunda sólo ofrece resultados en el rango positivo entre cero y uno, en cambio la tangente sigmoidea da resultados entre -1 y 1 , por lo que se amplía a los números negativos los posibles resultados. La función tiene una tipología como se muestra en el esquema 3.2.1.8



ESQUEMA 3.2.1.8

3.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS RNA

Una neurona por sí sola no tiene la capacidad para realizar un proceso lógico; por lo tanto requiere de trabajo en forma colectiva en conjunto con más de ellas; así es como se agrupan para realizar trabajos de cálculo lógico en RNA. Una Red Neuronal generalmente se compone de tres capas; una de entrada, una oculta, que es la que procesa la información y la capa de salida. Cada una de las capas contendrá un número determinado de neuronas en función del diseño que haya decidido el analista y del tipo de trabajo que vaya a realizar la red. Todas las neuronas que contiene una capa se conectan con todas las neuronas de la siguiente capa como se muestra en el diagrama 3.2.2.1.

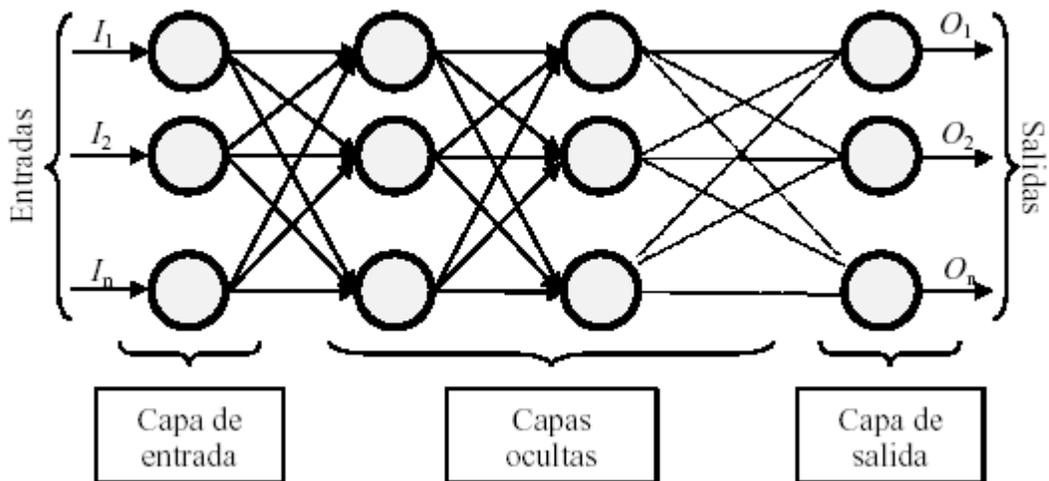


DIAGRAMA 3.2.2.1

De esta manera, cuando una neurona obtiene un resultado, lo envía a todas las neuronas de la capa siguiente. De esta forma, el resultado será ponderado por cada neurona por el peso sináptico. Cada aplicación requiere de cierta

especialidad respecto al diseño de la red, o cual requiere de la combinación de las diferentes características que determinan el tipo de arquitectura. A continuación se señalaran algunos de los modelos típicos. Todo el proceso que realiza la red, desde que se ingresan los datos hasta que entrega el resultado final, puede ser representado matricialmente.

En el esquema 3.2.2.2, la matriz de entrada es representada por X, la matriz de pesos sinápticos por W y la matriz H representa los potenciales sinápticos de cada neurona oculta.

$$(X_1 X_2 X_3) \times \begin{pmatrix} W_{1,1} & W_{2,1} & W_{3,1} & W_{4,1} \\ W_{1,2} & W_{2,2} & W_{3,2} & W_{4,2} \\ W_{1,3} & W_{2,3} & W_{3,3} & W_{4,3} \end{pmatrix} = (H_1 H_2 H_3 H_4)$$

$$f(H_1 H_2 H_3 H_4) = (Y_1 Y_2 Y_3 Y_4)$$

ESQUEMA 3.2.2.2

Redes Monocapa. La única forma en la que se pueden establecer conexiones entre neuronas en este tipo de redes es en forma lateral, ya que es sólo una capa la que constituye la red; sin embargo estas conexiones pueden estructurarse en una modalidad llamada autorrecurrente, lo cual consiste en que la salida de una neurona se encuentra conectada a su propia entrada.

Topología Crossbar. Una topología de clase Crossbar está constituida por una matriz de terminales (de entrada y de salida) o barras que se cruzan en determinados puntos, los cuales tienen previamente asociado un peso. La

representación de Crossbar suele utilizarse como etapa de transición cuando se pretende implementar físicamente una red Monocapa, puesto que es relativamente sencillo desarrollar como hardware una estructura de tal naturaleza si se sustituyen las barras cruzadas por cableado físico, y los puntos de conexión, resistencias cuyos valores representarían los pesos de la red.

Redes Multicapa. Este tipo de redes disponen de conjuntos de neuronas agrupadas en varias capas. Si se requiere distinguir la capa a la que pertenece una neurona será necesario observar el origen de las señales que recibe a la entrada y de igual forma el destino de la señal de la salida. Generalmente las neuronas de una capa reciben señales de entrada de otra capa anterior, más cercana a las entradas de la red, y envían señales de salida a una capa posterior, más cercana a la salida de la red. A estas conexiones se les denomina conexiones hacia delante o feedforward.

Existe una variación en esta modalidad que se caracteriza por contar con conexiones de las salidas de neuronas pertenecientes a capas posteriores con las entradas de las capas anteriores, a estas conexiones se les denomina conexiones hacia atrás o feedback.

Redes Feedforward. En términos generales, podemos establecer que lo que determina que una red sea clasificada como Feedforward es que todas las señales neuronales se propagan hacia delante a través de las capas de la red. En ninguna situación existen conexiones hacia atrás (ninguna salida de neuronas de una capa i se aplica a la entrada de neuronas de capas $i-1$, $i-2$,...), y

normalmente tampoco autorrecurrentes ni laterales salvo algunas excepciones propuestas por Kohonen en las que existen unas conexiones implícitas muy particulares entre las neuronas de la capa de salida.

¿Qué pasa si se lleva a cabo una combinación? Fue una idea llamada llevada a cabo en 1972, (*Temporal Associative Memory (TAM)*) lo cual dio lugar a una nueva clasificación: Feedforward / Feedback. La clase Feedforward / Feedback efectivamente mezcla los dos tipos de conexiones antes señalados, ya que la información se traslada tanto hacia delante, como hacia atrás entre las neuronas.

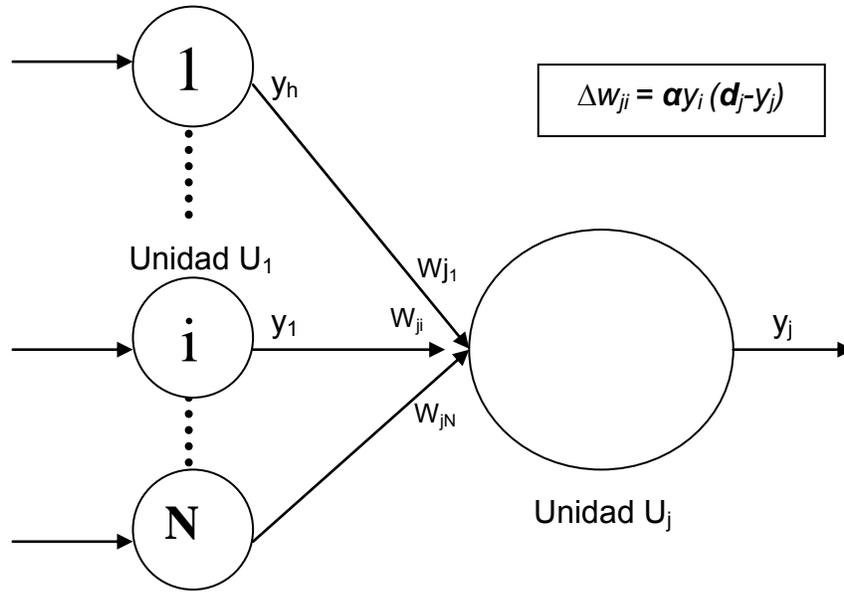
A principios del capítulo se habla sobre conocimiento; ¿cómo se logra éste? Obviamente se logra mediante el aprendizaje. En los seres humanos existen teorías psicológicas, filosóficas y fisiológicas, pero después de todo, parte de su sustento aún está colmado de simples conjeturas, pero en los sistemas de RNA se cuenta con métodos concretos de el aprendizaje artificial, y también se cuenta con una definición más objetiva del mismo con relación a la disciplina, podemos decir que es un proceso a través del cual una RNA transforma sus pesos en respuesta a cierta información de entrada. Las modificaciones causadas durante el proceso de aprendizaje se pueden ver destruidas, cambiadas y creadas. La creación de una nueva conexión implica que el peso de la misma pasa a tener un valor distinto de cero. De la misma forma, una conexión se destruye cuando su peso pasa a ser cero. ¿Cómo se efectúan las modificaciones que sufren los pesos? O ¿cómo se logra que una red comience a aprender determinada información? Para analizar este proceso se hará una pequeña retrospectiva hasta llegar a un concepto antes

manejado. La regla de aprendizaje; en términos generales se dice que existen dos clases de reglas de aprendizaje: Aprendizaje Supervisado, y Aprendizaje no Supervisado. El aprendizaje supervisado lleva este nombre a causa de un agente externo (supervisor) que controla el proceso de aprendizaje de la red. La ausencia de éste da el nombre a la regla de no supervisión.

Redes con Aprendizaje Supervisado. Como ya hemos visto, la función de aprendizaje supervisado se realiza mediante un entrenamiento controlado por un agente externo (supervisor, maestro). Éste es el encargado de establecer la respuesta que debería generar la red a partir de una entrada determinada. El supervisor verifica la salida de la red y si ésta no cumple con los requisitos característicos de la respuesta deseada, se procederá a modificar los pesos de las conexiones, con el fin de lograr que la salida obtenida se aproxime a la deseada. El aprendizaje supervisado se logra mediante tres posibles métodos:

- Aprendizaje por Corrección de Error
- Aprendizaje por Refuerzo
- Aprendizaje Estocástico

Aprendizaje por Corrección de Error. En el proceso de aprendizaje por error se trata de ajustar los pesos de las conexiones de la red en función de la diferencia entre los valores deseados y los obtenidos en la salida de la red; es decir, en función del error cometido en la salida. Como ejemplo de un algoritmo simple de aprendizaje por corrección de error podemos señalar el esquema 3.2.2.3:



ESQUEMA 3.2.2.3

Donde:

Δw_{ji} : Variación en el peso de la conexión entre las neuronas i y j

$$(\Delta w_{ji} = w_{ji}^{\text{actual}} - w_{ji}^{\text{anterior}})$$

y_i : Valor de salida de la neurona i .

d_i : Valor de salida deseado para la neurona j .

y_j : Valor de salida obtenido para la neurona j .

d_i : Valor de salida deseado para la neurona j .

α : Factor de aprendizaje ($0 < \alpha \leq 1$) que regula la velocidad del aprendizaje.

Widrow y Hoff en 1960 plantearon un algoritmo que permite un aprendizaje más rápido y con un campo de aplicación más amplio, denominado regla delta o regla del mínimo error cuadrático (LMS Error: Least-Mean-Squared Error). Se

definió como una función que permite cuantificar el error global cometido en cualquier momento durante el proceso de entrenamiento de la red, lo cual es elemental, ya que cuanta más información se tenga sobre el error cometido, más rápido se puede aprender. Fundamentalmente, la metodología para deducir una regla de aprendizaje de una RNA se reduce en dos puntos:

1. Definición de la función de error, también denominada función de costo: mide la bondad del modelo. Mientras más pequeña sea, más eficiente es el modelo. Lógicamente depende de los pesos sinápticos, que son las incógnitas a resolver en el entrenamiento.
2. Optimización de la función de error. Se busca un conjunto de pesos sinápticos que minimicen la función de error, esta búsqueda se realizará mediante un proceso iterativo denominado *Descenso por el Gradiente*.

(Gráfico 3.2.2.4)

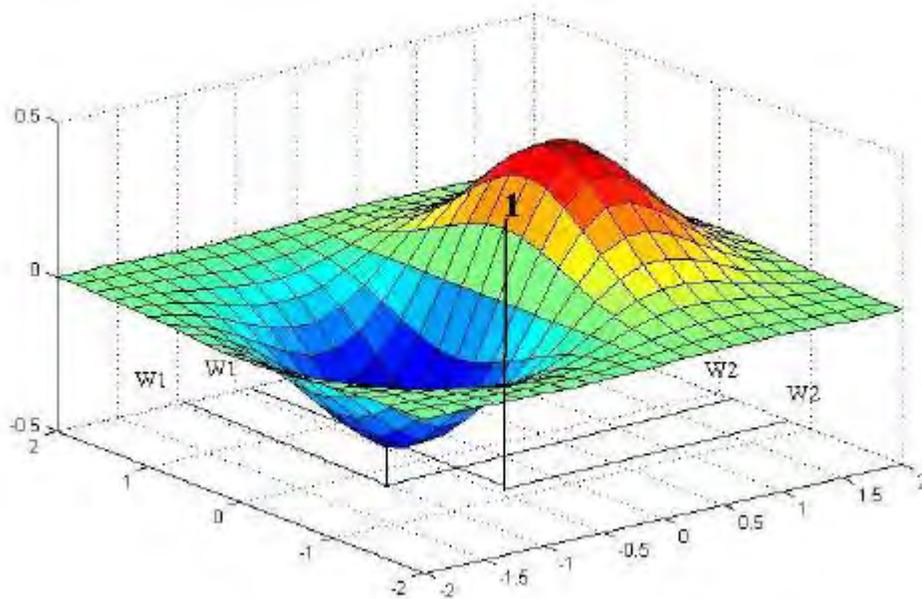


GRÁFICO 3.2.2.4

En La figura 3.2.2.4 se realiza una aproximación gráfica del descenso por el gradiente. El punto uno representa a un conjunto de pesos (en este caso, sólo dos, para simplificar: W_1 y W_2). Se calcula el sentido de la máxima variación de la función de error y se toma el camino opuesto. Esta máxima variación viene dada por el Gradiente de la función de error en el punto uno. Lógicamente, al tomar la dirección contraria del gradiente apuntaremos hacia un mínimo, que seguramente será local. El proceso se itera hasta que se alcance ese mínimo; es decir, la variación de los pesos depende de su gradiente, pero además, a éste se le multiplicará por un número infinitesimal para que la variación sea pequeña, ya que de otro modo, si ésta fuese grande tenemos el riesgo de que en una variación nos pasemos del mínimo y volvamos a estar en una colina. Por tanto la el conjunto de pesos en el momento $t + 1$ será igual al valor de esos pesos en el momento t menos el gradiente por un número infinitesimal que se llama ratio de aprendizaje y nos definirá el tamaño de cada iteración.

Aprendizaje por Refuerzo. Igualmente básico, pero un tanto más lento es el Aprendizaje por Refuerzo es un proceso que consiste en la idea de no disponer de un ejemplo completo del comportamiento deseado; es decir, de no indicar durante el entrenamiento exactamente la salida que se desea que proporcione la red ante una determinada entrada. En esta regla la función del supervisor a indicar mediante una señal de refuerzo si la salida obtenida en la red se ajusta a la deseada (éxito = + 1 o fracaso = -1), y en función de ello se ajustan los pesos basándose en un mecanismo de probabilidades. Como muestra de un algoritmo por refuerzo mostraremos el llamado Linear Reward-Penalty o L_{R-P} (algoritmo

lineal con recompensa y penalización) el cual se aplica en redes con conexiones hacia delante con dos capas cuyas neuronas de salida presentan una función de activación estocástica.

Aprendizaje Estocástico. La metodología del Aprendizaje Estocástico consiste en efectuar cambios aleatorios en los valores de los pesos de las conexiones de la red y evaluar su efecto a partir del objetivo deseado y de distribuciones de probabilidad.

“En el aprendizaje estocástico se suele hacer una analogía en términos termodinámicos, asociando la Red Neuronal con un sólido físico que tiene cierto estado energético. En el caso de la red, la energía de la misma representaría el grado de estabilidad de la red, de tal forma que el estado de mínima energía correspondería a una situación en la que los pesos de las conexiones consiguen que su funcionamiento sea el que más se ajusta al objetivo deseado.

Según lo anterior, el aprendizaje consistiría en realizar un cambio aleatorio de los valores de los pesos y determinar la energía de la red (habitualmente la función energía es una función denominada Lyapunov) Si la energía es menor después del cambio; es decir, si el comportamiento de la red se acerca al deseado, se acepta el cambio. Si por lo contrario, la energía no es menor, se aceptaría el cambio en función de una determinada y establecida distribución de probabilidades.” (HILERA; 2000: 81)

Redes con Aprendizaje no Supervisado. Otro nombre con el que se les conoce a las redes de aprendizaje no Supervisado, es de Aprendizaje Autosupervisado, las cuales no requieren de dominio externo para realizar adecuaciones en los pesos de las conexiones entre sus neuronas. La red no obtiene ninguna señal por parte del entorno que le indique que la salida creada en respuesta a una determinada entrada es o no correcta; por lo cual se dice esta clase de redes tienen la capacidad de auto organizarse. ¿Cuál es el fin de que estas redes cuenten con un aprendizaje Autosupervisado? El objetivo principal, es que por si solas encuentren las características, regularidades, correlaciones o categorías que se puedan establecer entre los datos que se presenten en su entrada. Puesto que no hay un supervisor que indique a la red la respuesta que debe generar ante una entrada concreta. Por tanto, la red efectúa una clasificación de categorías asociando datos que se le han mostrado a la red anteriormente con los datos de entrada, al establecimiento de categorías se le llama clusterización (clustering). Una variación de la categorización es el prototipado. En este caso, la red obtiene prototipos representantes de las clases a las que pertenecen las entradas.

Los algoritmos que habitualmente se utilizan para lograr Aprendizaje no Supervisado son:

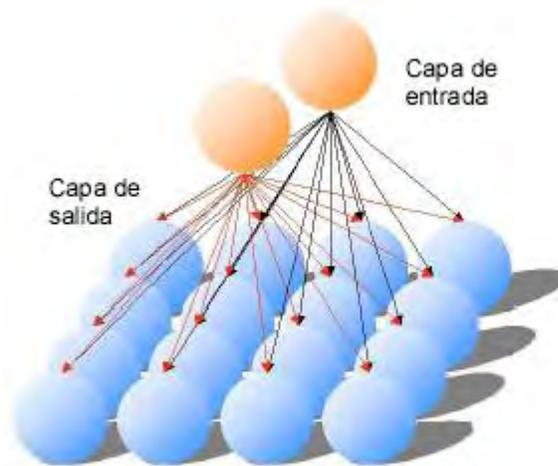
- Aprendizaje Hebbiano
- Aprendizaje Competitivo y Cooperativo

Aprendizaje Hebbiano En honor a su creador Donald O. Hebb en 1949 se le ha dado su nombre, y esencialmente postula que: Cuando un axón de una celda *A* está suficientemente cerca para cómo conseguir excitar a una celda *B* y repetida o persistentemente toda toma parte de su activación, algún proceso de crecimiento o cambio metabólico tiene lugar en una o ambas celdas, de tal forma que la eficiencia de *A*, cuando la celda *A* activa el *B*, aumenta. Por celda, Hebb entiende un conjunto de neuronas fuertemente conexas a través de una estructura compleja. La eficiencia podría identificarse con la intensidad o magnitud de la conexión; es decir, con el peso. De esto podemos decir que el aprendizaje hebbiano consiste en ajustar los pesos de las conexiones de acuerdo con la correlación (multiplicación en el caso de los valores binarios +1 y -1) de los valores de activación (salidas) de las dos neuronas conectadas:

$$\Delta w_{ji} = y_i * y_j$$

Este algoritmo explica cómo es que mientras dos unidades sean activas (positivas), se produce un reforzamiento de la conexión. Por el contrario, cuando una es activa y la otra pasiva (negativa) se produce un debilitamiento de la conexión. Se trata de una regla de Aprendizaje no Supervisado, pues la modificación de los pesos se realiza en función de los estados (salidas) de las neuronas obtenidos tras la presentación de cierto estímulo (información de entrada a la red), sin tener en cuenta si se deseaba obtener o no esos estados de activación.

Aprendizaje competitivo y cooperativo. Otro modelo cumbre es denominado aprendizaje competitivo y cooperativo por que las neuronas llevan a cabo una especie de competición para realizar una tarea previamente asignada esto se hace con el fin de que cuando se presente a la red cierta información de entrada, sólo una de las neuronas de salida de la red, o una por cierto grupo de neuronas, se active (alcance su valor de respuesta máximo). Aquí es donde las neuronas efectúan su competición para activarse, quedando finalmente una, o una por grupo, como neurona vencedora (winner-take-all unit), anulando así resto, que son forzadas a sus valores de respuesta mínimos. En el siguiente esquema 3.2.2.5 se puede observar a una neurona de la capa de entrada ejerciendo influencia sobre los pesos de los nodos de la capa de salida con líneas rojas.



ESQUEMA 3.2.2.5

Existen varias taxonomías y criterios de clasificación en las RNA uno de ellos se basa en considerar si la red puede aprender durante su funcionamiento habitual o si el aprendizaje supone la desconexión de la red; es decir, su

aprendizaje ON LINE, mientras que el segundo es lo que se conoce como aprendizaje OFF LINE. La clase de asociación que relaciona la información de entrada y salida también puede manejarse como clasificación; como hemos visto, las RNA son sistemas que almacenan cierta información aprendida; esta información se registra de forma distribuida en los pesos asociados a las conexiones entre neuronas, así que se podría aproximarse a cierto concepto de memoria que almacena ciertos datos como consecuencia del aprendizaje de la red y que podrían ser leídos a la salida como respuesta a los estímulos que provoquen la información de entrada, comportándose entonces la red como lo que habitualmente se conoce por memoria asociativa; es decir, cuando se aplica un estímulo (dato de entrada) la red responde con una salida asociada a dicha información de entrada.

Las dos formas principales de asociar la información entre entrada / salida. Como primer término, hablaremos de la heteroasociación, la cual consiste en que la red aprende parejas de datos $[(A_1, B_1), (A_2, B_2), \dots (A_N, B_N)]$, permitiendo que cuando se presente determinada información que corresponda a una entrada A_1 , la red responda generando la correspondiente salida B_1 . El otro tipo de asociación responde al nombre de Autoasociación, en la cual la red aprende ciertas informaciones $A_1, A_2, \dots A_N$, de tal forma que cuando se le presenta una información de entrada realizará una Autocorrelación, respondiendo con uno de los datos almacenados, el más parecido al de la entrada. De esto se deriva el nombre de las redes Heteroasociativas y Autoasociativas.

Redes Heteroasociativas. El principio de flujo de asociaciones determina una de las características principales de las redes heteroasociativas, y es que como mínimo deben contar con dos capas de neuronas, la primer capa es utilizada para captar y retener la información de entrada y otra para mantener la salida con la información asociada. Ya que si no se contara con 2 capas como mínimo, se perdería la información inicial al obtenerse el dato asociado.

Redes Autoasociativas. La peculiaridad básica de las Redes Autoasociativas es que asocian una información de entrada con el ejemplar mas parecido de los almacenados conocidos por la red. A diferencia de las Redes Heteroasociativas, éstas pueden ser implementadas con solamente una capa de neuronas, la cual empezará reteniendo la información inicial presentada a la entrada, y terminará representando la información autoasociada. Si se quiere mantener la información de entrada y salida, se deberían añadir capas adicionales; sin embargo, la funcionalidad de la red puede conseguirse en una sola capa. Las Redes Autoasociativas generalmente se utilizan en tareas de filtrado de información con el fin de reconstruir de datos eliminando distorsiones o ruido.

Si se desea clasificar las RNA basándose en la representación que le dan a los datos de entrada y de salida, se dividen en analógicas, binarias y mixtas, en las primeras se trata de valores reales continuos normalmente estarán normalizados y su valor absoluto será menor que la unidad. Cuando esto ocurre, las funciones de activación de las neuronas serán también continuas, del tipo lineal o sigmoideal. En el caso de las redes binarias, o también conocidas como “de

valores discretos" $\{0,1\}$ de entrada y salida las funciones de activación de las neuronas serán del tipo escalón.

Las RNA presentan numerosas características que las asemejan a las del cerebro. Por ejemplo: *capacidad de aprender de la experiencia, generalizar de casos anteriores a nuevos caso, abstraer características esenciales a partir de entrada que presentan información irrelevante*, etc., algunas otras características importantes son:

- Aprendizaje Adaptativo. Es una de las características más atractivas de las RNA, la cual consiste en aprender a realizar ciertas tareas mediante un entrenamiento con ejemplos ilustrativos.

Las RNA son sistemas *dinámicos auto adaptables*. Adaptables debido a la capacidad de auto ajuste de las neuronas y dinámicos por su capacidad de estar constantemente cambiando para adaptarse a las nuevas condiciones. Una red no necesita un algoritmo para resolver un problema, ya que ella puede generar su propia distribución de pesos en los enlaces mediante el aprendizaje, aunque existen redes que siguen aprendiendo a lo largo de su vida. (después del periodo de entrenamiento)

- Auto organización (Generalización). Consiste en la modificación de la Red Neuronal Artificial completa para llevar a cabo un objetivo específico. Esta autoorganización provoca la *generalización* que es la facultad de las RNA de responder apropiadamente cuando se les presentan datos o situaciones

a los que no habían sido expuestas con anterioridad durante el entrenamiento. El sistema puede generalizar la entrada para obtener una respuesta. Esta característica es muy importante cuando se tienen que solucionar problemas en los cuales la información de entrada es poco clara; además, permite que el sistema dé una solución aún cuando la información de entrada esté incompleta.

- Tolerancia a fallos (Memoria Distribuida). Una RNA, es capaz de seguir funcionando adecuadamente a pesar de sufrir lesiones con destrucción de neuronas o en sus conexiones, al ser un sistema distribuido, no obstante en un programa tradicional un pequeño fallo en cualquier punto puede invalidarlo todo y dar un resultado absurdo o no dar ningún resultado. Hay dos aspectos distintos respecto a la tolerancia a fallos:

- Las redes pueden aprender a reconocer patrones con ruido, distorsionados, o incompletos. Esta es una tolerancia a fallos respecto a los datos.
- Las redes pueden seguir relacionando sus funciones (con cierta degradación) aunque se destruya parte de la red

La razón de esto, es que las RNA tienen su información distribuida entre las conexiones de las neuronas, existiendo cierto grado de redundancia en este tipo de almacenamiento.

- Procesamiento en paralelo. Se sabe que las neuronas biológicas trabajan en paralelo; en el caso de las redes artificiales es obvio que si usamos un

solo procesador no podrá haber proceso en paralelo real; sin embargo hay un paralelismo innato, lo esencial es que la estructura y modo de operación de las RNA las hace especialmente adecuadas para el procesamiento paralelo real mediante multiprocesadores (se están desarrollando máquinas específicas para la computación neuronal).

Hoy día es necesario realizar procesos con datos muy rápidamente, en este aspecto las RNA, son muy aptas debido a su implementación paralela.

- Fácil inserción dentro de la tecnología existente. Debido a que una RNA puede ser rápidamente entrenada, comprobada, verificada y trasladada a una implementación hardware de bajo costo, es fácil insertar RNA para aplicaciones específicas dentro de sistemas existentes. De esta manera, las RNA se pueden utilizar para mejorar sistemas y cada paso puede ser evaluado antes de acometer un desarrollo más amplio.

El progresivo desarrollo de la tecnología nuevamente sugiere el concepto de evolución; lo percibimos en la forma y velocidad de procesar grandes volúmenes de información en los métodos cada día más sofisticados. Destaca también de forma importante una especial atención en la predicción del destino. Corporaciones colosales utilizan Lógica Difusa para predecir la bancarrota, gabinetes de gobierno manejan Algoritmos Genéticos para asignar sus presupuestos. Tal parece que la tendencia de los sistemas inteligentes es extenderse ampliamente tanto en aplicaciones financieras, como en cualquier

tópico imaginable por breve que parezca su consideración con la exigencia humana. En el capítulo siguiente se diseñarán dos sistemas reticulares; uno de arquitectura Feed / Forward similar al Perceptrón Multicapa construido por Frank Rosenblat en 1957, y otro de tipo Elman autorrecurrente. Ambas se diseñarán en primer término en español estructurado en el lenguaje MATLAB® Versión 7.0. El objetivo de dichas redes, será predecir las tendencias y variaciones de activos financieros como acciones y productos derivados permitiendo al inversionista actuar de la forma más conveniente, ya que se contará con información muy aproximada acerca del futuro bursátil de tales instrumentos.

4. PREDICCIONES CON REDES NEURONALES ARTIFICIALES

4.1 PRONOSTICOS BURSÁTILES UTILIZANDO RNA

Como se ha visto anteriormente, las RNA son excelentes herramientas de cálculo y predicción utilizadas en varias disciplinas. En el campo financiero, una aplicación se da en el análisis técnico. Los expertos financieros se basan en gran medida en estudios principalmente chartistas de las series de valores de mercado, lo cual ha generado conceptos útiles pero en diferentes formas parciales, tales como los promedios móviles. Una red neuronal puede combinar diferentes índices representativos en forma no lineal; es decir, de la no dependencia de una variable respecto a su propio pasado y a partir de una evolución histórica de precios y volúmenes de negociación lograr una mejor predicción. Las RNA pueden también ser entrenadas con datos históricos de tipo fundamental, técnico y de mercado a fin de realizar una selección de variables particulares y así efectuar pronósticos más precisos.

En el presente capítulo se pretende estructurar dos algoritmos mediante Redes Neuronales en el software de MATLAB[®] versión 7.0 que calcule la tendencia de los precios y movimientos de las acciones de Microsoft Corp. Para el desarrollo de la red, se utilizarán datos históricos provenientes del Media General Financial Services del International Stock Prices and International Indices Prices Provided by Interactive Data Corporation.

4.1.2 MATLAB

MATLAB[®] es un programa interactivo para computación numérica y visualización de datos. Es utilizado por Ingenieros de Control en Análisis y Diseño, posee además una extraordinaria versatilidad y capacidad para resolver problemas en matemática aplicada, física, química, ingeniería, finanzas y muchas otras aplicaciones. Está basado en un sofisticado software de matrices para análisis de sistemas de ecuaciones permitiendo resolver complicados problemas numéricos sin necesidad de escribir un programa.

MATLAB[®] es un entorno de computación y desarrollo de aplicaciones orientado para llevar a cabo proyectos en donde se encuentren implicados elevados cálculos matemáticos y la visualización gráfica de los mismos, así mismo integra análisis numérico, cálculo matricial, proceso de señal y visualización gráfica en un entorno completo donde los problemas y sus soluciones son expresados del mismo modo en que se escribirían tradicionalmente. El nombre de MATLAB[®] proviene de la contracción de los términos MATrix LABoratory y fue inicialmente concebido para proporcionar fácil acceso a las librerías LINPACK y EISPACK, las cuales representan hoy en día dos de las librerías más importantes en computación y cálculo matricial.

MATLAB[®] es un sistema de trabajo interactivo cuyo elemento básico de trabajo son las matrices. El programa permite realizar de un modo rápido la resolución numérica de problemas en un tiempo mucho menor que si se quisiesen resolver estos mismos problemas con lenguajes de programación tradicionales

como pueden ser los lenguajes Fortran, Basic o C. En la actualidad existe un alto nivel de su implementación en escuelas y centros universitarios, así como en departamentos de investigación y desarrollo de muchas compañías industriales nacionales e internacionales. En entornos universitarios, por ejemplo, MATLAB[®] se ha convertido en una herramienta básica, tanto para los profesionales e investigadores de centros docentes, como una importante herramienta para la impartición de cursos universitarios, tales como Sistemas e Ingeniería de Control, álgebra lineal, proceso digital de imagen, señal, etc. En el mundo industrial, MATLAB está siendo utilizado como herramienta de investigación para la resolución de complejos problemas planteados en la realización y aplicación de modelos matemáticos en ingeniería.

4.1.3 ENTORNO DE TRABAJO

Los usos más característicos de este lenguaje los encontramos en áreas de computación y cálculo numérico tradicional, prototipaje algorítmico, teoría de control automático, estadística, análisis de series temporales para el proceso digital de señal, etc. Como caso particular puede también trabajar con números escalares, tanto reales como complejos. Una de las capacidades más atractivas es la de realizar una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones. MATLAB[®] tiene también un lenguaje de programación propio. Para ciertas operaciones es muy rápido, cuando puede ejecutar sus funciones en código nativo con los tamaños más adecuados para aprovechar sus capacidades de vectorización. MATLAB[®] dispone en la actualidad de un amplio abanico de

programas de apoyo especializados, denominados Toolboxes, que extienden significativamente el número de funciones incorporadas en el programa principal.

Estos Toolboxes cubren en la actualidad prácticamente casi todas las áreas principales en el mundo de la ingeniería y la simulación, destacando entre ellos el proceso de imágenes, señal, control robusto, estadística, análisis financiero, matemáticas simbólicas, redes neurales, lógica difusa, identificación de sistemas, simulación de sistemas dinámicos, etc. Además también se dispone del programa Simulink que es un entorno gráfico interactivo con el que se puede analizar, modelizar y simular la dinámica de sistemas no lineales.

4.1.4 NEURAL NETWORK TOOLBOX

En el presente caso práctico, se trabajará con el Toolbox Neural Network de MATLAB® V.7.0. Este toolbox proporciona funciones para el diseño, inicialización, simulación y entrenamiento de los modelos neuronales de uso más extendido en la actualidad: Perceptrón, redes lineales, redes de retropropagación, redes de base radial, aprendizaje asociativo y competitivo, aplicaciones autoorganizativas, aprendizaje de cuantización vectorial, redes de Elman y redes de Hopfield.

Mediante la inclusión de un amplio abanico de funciones y procedimientos escritos para MATLAB®, el usuario puede a través del Neural Network Toolbox efectuar el diseño de arquitecturas complejas, combinando los modelos que ya

están proporcionados por defecto en el toolbox. Asimismo, el usuario puede definir sus propias funciones de transferencia e inicialización, reglas de aprendizaje, funciones de entrenamiento y estimación de error para usarlas posteriormente con las funciones básicas. El toolbox, aporta las facilidades y prestaciones gráficas de MATLAB® para el estudio del comportamiento de las redes: visualización gráfica de la matriz de pesos y vector de desplazamiento mediante diagramas de Hinton, representación de errores a lo largo del entrenamiento, mapas de superficie de error en función de pesos y vector de desplazamiento, etc. Estos gráficos resultan muy útiles en el estudio de la convergencia y estabilidad de los algoritmos de aprendizaje. El toolbox incluye un manual de introducción al campo de las redes neuronales junto con una colección de demostraciones y aplicaciones didácticas, útiles para el estudio y la profundización en las cuestiones fundamentales de los paradigmas de redes neuronales básicos. Asimismo, se proporcionan las referencias bibliográficas más significativas referidas a los distintos modelos que aparecen en la aplicación. Este toolbox, tiene por tanto una orientación diferente a aquellos destinados a campos como el de sistemas de control u optimización donde la terminología, fundamentos matemáticos y procedimientos de diseño están ya firmemente establecidos y se han aplicado durante años. Se pretende que sea utilizado para la valoración y creación de diseños neuronales en la industria y sobre todo en educación e investigación. Esta herramienta tiene el soporte de MATLAB® 7.0 y SIMULINK®.

La librería de SIMULINK® contiene modelos de capas de redes neuronales de cada tipo de neurona implementada en el toolbox de redes neuronales. Es

posible por tanto diseñar sistemas SIMULINK® para simular redes neuronales creadas usando esta herramienta. Simplemente, las capas se conectan de acuerdo con la arquitectura de la red y se proporcionan como entrada a la caja de diálogo de cada capa, la matriz de pesos apropiada y el vector de desplazamiento. Usando el generador de código C de SIMULINK® es posible generar automáticamente el código correspondiente a un diseño neuronal. Dentro de las aplicaciones básicas de este toolbox, cabe destacar las siguientes:

- Industria aeroespacial y automoción: *Simulación, sistemas de control y auto pilotaje.*
- Banca, defensa: *Reconocimiento de patrones, procesamiento de señales, identificación de imágenes, extracción de características y compresión de datos.*
- Electrónica: *Control de procesos, análisis de errores, modelado no lineal, síntesis de voz y visión por ordenador.*
- Economía: *Análisis financiero y análisis predictivo.*
- Industria: *Control de procesos, identificación en tiempo real y sistemas de inspección.*
- Medicina, robótica: *Control de trayectorias y sistemas de visión.*
- Reconocimiento y síntesis del habla, telecomunicaciones: *Control de datos e imágenes, servicios de información automatizada, traducción del lenguaje hablado en tiempo real, diagnosis, sistemas de enrutamiento, etc.*

4.1.5 DISEÑO, DESARROLLO Y APLICACIÓN DEL SOFTWARE

El paso número uno en la solución de cualquier problema es su reconocimiento e identificación. En el planteamiento de este problema puede definirse su estilo respecto a la resolución que se busca; al hablar de pronosticar el comportamiento de una variable criterio en función de una o más variables predictoras, y cuando el propio criterio está constituido por variables cuantitativas, quiere decir que se trata de un problema de predicción o estimación, ya que no se trabajará con variables cualitativas o categoriales, en tal caso, sería un problema de clasificación. La arquitectura del algoritmo requerirá de las variables cuyos atributos son netamente de análisis técnico; son las variables con más influencia en correlación sobre los valores que representan la tendencia del mercado. Una de las características más determinantes de dicha tendencia es la fuerte dependencia respecto al activo subyacente que en este caso lo constituye la propia empresa.

Estructurando un poco las partes del problema, tenemos que la tendencia se encuentra afectada por dos factores; variables de los títulos, y variables de la empresa, las primeras corresponden al análisis técnico, y las segundas al análisis fundamental. Dado que los algoritmos se diseñarán para trabajar únicamente con variables de tipo técnico, se carecerá de un control sobre los precios de las acciones a falta de la información que proporcionan los análisis de tipo fundamental de las variables que afecten la entidad; sin embargo, en lo respectivo a las variables estrictamente relacionadas a los títulos, se pretende precisar el

curso y las directrices que seguirán eventualmente las acciones. Para efectos de la red, el archivo de datos históricos que servirá de fichero no contiene en su totalidad los datos que se requieren, por lo que será necesario modificarlo calculándolos a fin de que se cubran los requerimientos del algoritmo que se construirá. Las variables contenidas originalmente en el fichero son los siguientes:

1. *Fecha (DATE)*: es la fecha diaria de los movimientos realizados.
2. *Precio de apertura (OPEN)*: Es el valor de cada acción con que empezó a cotizar al principio de cada día.
3. *Precio máximo del día (HIGH)*: Es la cotización más alta que alcanzó durante todo el día cada acción.
4. *Precio mínimo del día (LOW)*: Es la cotización más baja que alcanzó durante todo el día cada acción.
5. *Precio de cierre (CLOSE)*: Es el valor con el que cerró al término del día cada acción
6. *Volumen de contratos (VOLUME)*: Es la cantidad de contratos que se negociaron cada día.

DATE	OPEN	HIGH	LOW	CLOSE	VOLUME
08/10/2003	29.36	29.36	28.68	28.82	46989100
07/10/2003	29.01	29.37	28.92	29.14	52356800
06/10/2003	29.15	29.30	28.91	29.19	34047600
03/10/2003	29.16	29.46	28.93	29.08	57303000
02/10/2003	28.45	28.75	28.19	28.5	38143600
01/10/2003	28.03	28.63	27.81	28.52	58375900
30/09/2003	28.59	28.61	27.75	27.8	63333700
29/09/2003	28.41	28.91	28.10	28.83	47380300
26/06/2003	28.27	28.78	28.14	28.19	49864700

TABLA 4.1.5.1

Los datos que se calcularán para completar las exigencias de la red en base a los anteriores, serán los siguientes:

7. *Tendencia diaria del precio de apertura (T.D.P.A.):* es la asignación de valores lógicos conocidos como “clases” que únicamente servirán como parámetros auxiliares de comportamiento en los comandos del programa. Se asignará un número 1 si el valor de ese día ha aumentado en relación al precio del día anterior, un número 2 si el precio se mantuvo igual y un número 3 si el valor disminuyó.
8. *Tendencia de cada tercer día del precio de apertura (T.P.A.3):* de igual forma los valores tendrán la misma asignación que en la variable anterior, únicamente que estos valores serán con relación al segundo día; no al anterior.
9. *Tendencia diaria del volumen (T.D.V):* Se utilizarán las mismas condiciones de parámetros auxiliares de comportamiento; un número 1 si el volumen de ese día ha aumentado en relación al día anterior, un número 2 si se mantuvo igual y un número 3 si ha disminuido.
10. *Tendencia de cada tercer día del volumen (T.D.V.3):* mismas condiciones, sólo que en relación a un tercer día.
11. *Valor de la prima diaria (PRIMA):* A falta de una tasa de interés en el fichero original, se determinará una tasa diaria restando el precio máximo de cada día, el precio mínimo, y dividiendo el resultado entre el precio mínimo; al valor resultante se le denominará “Prima”

12. *Valores máximos como datos objetivo (DATOS OBJETIVO)*: La red deberá guiarse mediante patrones objetivo; es decir, los ejemplos más óptimos respecto a los cuales tiene que basar su predicción. Estos se determinarán calculando el precio más alto de cada columna.

T.D.P.A.	T.P.A.3	T.D.V.	T.V.3	PRIMA	DATOS OBJETIVO	
3				0.0237099	Apertura	USD 29.76
1		1		0.00311203	Máximo	USD 30
1	3	3	3	0.00830163	Mínimo	USD 29.52
3	1	1	1	0.00795022	Cierre	USD 29.96
1	3	3	1	0.00922313	Volumen	182602400
1	3	1	1	0.00791082	Prima	0.04833006

TABLA 4.1.5.2.

Diariamente, dependiendo de la oferta y la demanda que propician los precios de ejercicio, hay variaciones en el volumen de contratos, en el valor de la prima, y por consecuencia, en las tendencias de los precios. Los datos a utilizar son a partir del 9 de octubre de 2002 hasta el 8 de octubre de 2003. Teniendo en cuenta que el algoritmo trabajará con 12 variables que contienen 250 datos cada una, se manejará una cantidad de 3000 datos, de los cuales se creará un subconjunto de 1500 con los que se realizarán las iteraciones necesarias durante la fase de entrenamiento o aprendizaje. En dicha fase, se producirá una variación de los pesos sinápticos; es decir, en la intensidad de interacción entre las neuronas que representen cada una de las 12 variables, lo que equivale en un análisis de regresión múltiple a calcular los coeficientes de las funciones de ajuste.

Una vez descubiertas las relaciones entre las 12 variables se formarán patrones de comparación con los datos objetivo de la variable No. 12. Los datos del fichero, casi en su totalidad, son hasta cierto punto homogéneos respecto a sus cifras, a excepción de la variable "Volumen" que cuenta con un promedio de ocho cifras, por lo que las cantidades son demasiado grandes con respecto a las cantidades de la columna "Prima" por lo que se procederá a escalar los datos a fin de homogenizarlos dividiendo la columna "Volumen" entre 10×10^{-6} , y de la misma forma, se multiplicará la columna "Prima" por 10^3 . Considerando que en las aplicaciones de series temporales, la arquitectura más adecuada es la de las redes recurrentes, se utilizará un modelo de tipo Elman en comparación con un modelo Feed-forward. La red de tipo Elman es una red neuronal recurrente simple, que es utilizada para mapeamientos de entrada-salida de patrones con dependencias temporales. Esta red típicamente posee dos capas, cada una compuesta de una red tipo Backpropagation, con la adición de una conexión de realimentación desde la salida de la capa oculta hacia la entrada de la misma capa oculta, esta realimentación permite a la red de Elman aprender a reconocer y generar patrones temporales o variantes con el tiempo.

La red de Elman generalmente posee neuronas con función transferencia sigmoideal en su capa oculta, en este caso tansig y neuronas con función de transferencia tipo lineal en la capa de salida, en esta caso purelin, la ventaja de la configuración de esta red de dos capas con este tipo de funciones de transferencia, es que puede aproximar cualquier función con la precisión deseada mientras que esta posea un número finito de discontinuidades, para lo cual la

precisión de la aproximación depende de la selección del número adecuado de neuronas en la capa oculta. Para la red de Elman la capa oculta es la capa recurrente y el retardo en la conexión de realimentación almacena los valores de la iteración previa, los cuales serán usados en la siguiente iteración; dos redes de Elman con los mismos parámetros y entradas idénticas en las mismas iteraciones podrían producir salidas diferentes debido a que pueden presentar diferentes estados de realimentación.

Esta red tiene una sola capa escondida de neuronas no lineales con retroalimentación propia y para con los otros nodos de la misma capa. El modelo Feed-Forward es de los más usados en clasificación de datos, por un lado, están las unidades de entrada, su valor de activación depende del medio, del otro, las unidades de salida, en medio sin conexión al medio se tienen las unidades ocultas.

En el siguiente gráfico se muestra un algoritmo gráfico de este tipo utilizado para clasificar naranjas y manzanas de acuerdo a su peso, dimensión ocupada, textura y peso, de esta forma, la combinación mas óptima en la sumatoria de las variables servirá como base para ejercer una decisión sustentada en base a los parámetros que presentan cada una de las frutas, y a medida que entrene mas al clasificar una mayor cantidad de frutas se hará más preciso y al mismo tiempo flexible para ambas clasificaciones.

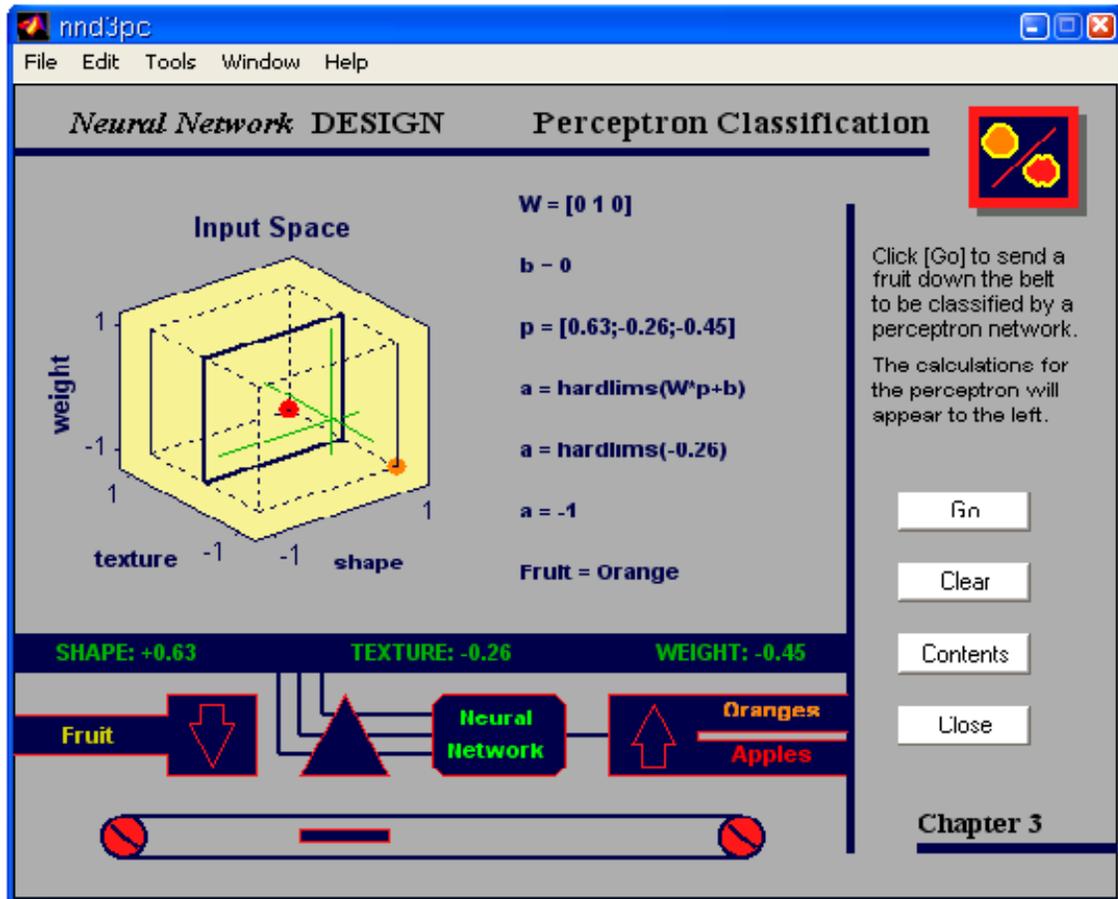


GRÁFICO 4.1.5.3.

Ambas contarán con una estructura neuronal de 7 neuronas en la capa de entrada, 5 en la capa oculta 3 en la capa de salida. MATLAB® está disponible para un amplio número de plataformas: estaciones de trabajo SUN®, Apollo®, VAXstation® y HP®, VAX®, MicroVAX®, Gould®, Apple Macintosh® y PC AT compatibles 80386 o superiores. Opera bajo sistemas operativos UNIX, Macintosh y Windows. En este caso se utilizará el sistema operativo Windows® XP Versión 5.1. MATLAB® se puede arrancar como cualquier otra aplicación de Windows® 95/98/NT/XP, haciendo clic dos veces en el icono correspondiente en el escritorio

o por medio del menú **Start**. Al arrancar MATLAB® se abrirá una ventana del tipo de la indicada en la Figura 4.1.1 en la cual aparece el **prompt** (aviso) característico de MATLAB (»). Esto quiere decir que el programa está preparado para recibir instrucciones.

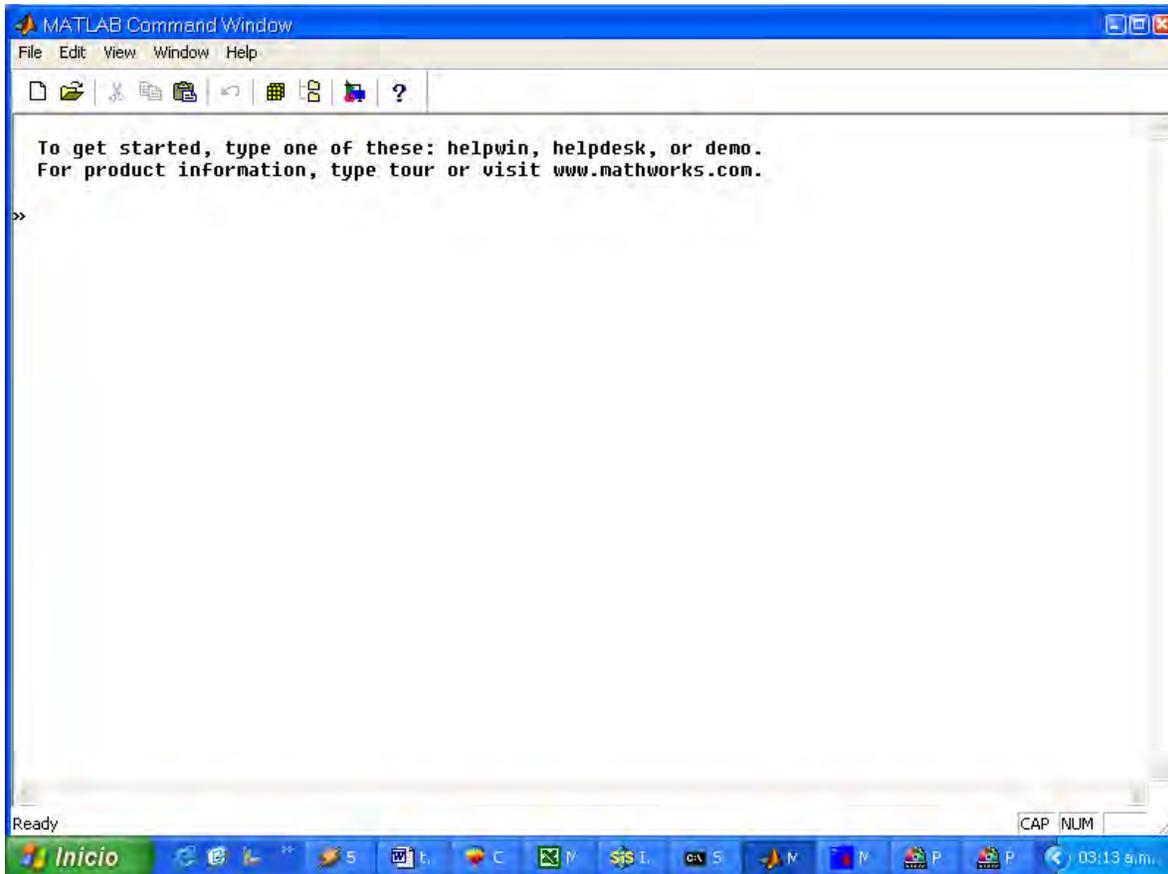


FIGURA 4.1.5.1

A continuación se procederá a cargar el con el comando **Open** que se encuentra dentro del menú **File** el código previamente elaborado que constituyen los algoritmos, al que se le dará el nombre de "net_tendencia". En el encabezado de dicho código se señalan las rutas de los archivos que tienen los datos de los precios:

```
addpath 'C:\matlabR11\work\rafa\util'  
addpath 'C:\matlabR11\work\rafa\datos'
```

En la siguiente parte se señalan las asignaciones bajo las cuales trabajarán ambas redes:

```
-----asignaciones-----  
fold=10;      % numero de folds para la validación  
clases=3;    % 3 clases por 252 ejemplos  
tipo=1;      % 1 feed-forward, 2 recurrente2  
ten=1;       % 1 tendencia diaria, 3 tendencia c/3 días  
PCA=1;       % 1 se aplica PCA 0 no se aplica  
-----
```

En la primera línea se asigna el número de folds, esto es una técnica estadística-matemática que se utiliza frecuentemente en la validación de datos masivos y acelera el proceso de entrenamiento con más precisión. En la línea número dos, se indica el número de “clases” que fueron los valores lógicos que se mencionaron con anterioridad para evaluar las tendencias de cada variable. Como se trata de una comparación entre dos redes, en la línea número dos, se muestra cada una de ellas, mismas que tienen un número indicador asignado; la red Feed-forward tiene el número uno, y la red de tipo Elman tiene el número dos. En caso de que se quiera trabajar con una y luego comparar los resultados con la otra, únicamente se cambiará el dígito de la palabra “tipo”. En la cuarta línea, se puede ver el tipo de tendencia con el que trabajará la red; éstas pueden ser con tendencia diaria o de cada tercer día. El Análisis de Componentes Principales (PCA) se usa en varias aplicaciones científicas como paso intermedio para análisis ulteriores, siendo un método estadístico de simplificación y reducción de la dimensionalidad de un conjunto de datos con numerosas variables. En la última

línea se le asignara el número 1 si se quiere trabajar con dicha técnica y el cero si no. Los siguientes parámetros indican la activación o desactivación de cada uno de las cuantificaciones determinadas en las asignaciones anteriores.

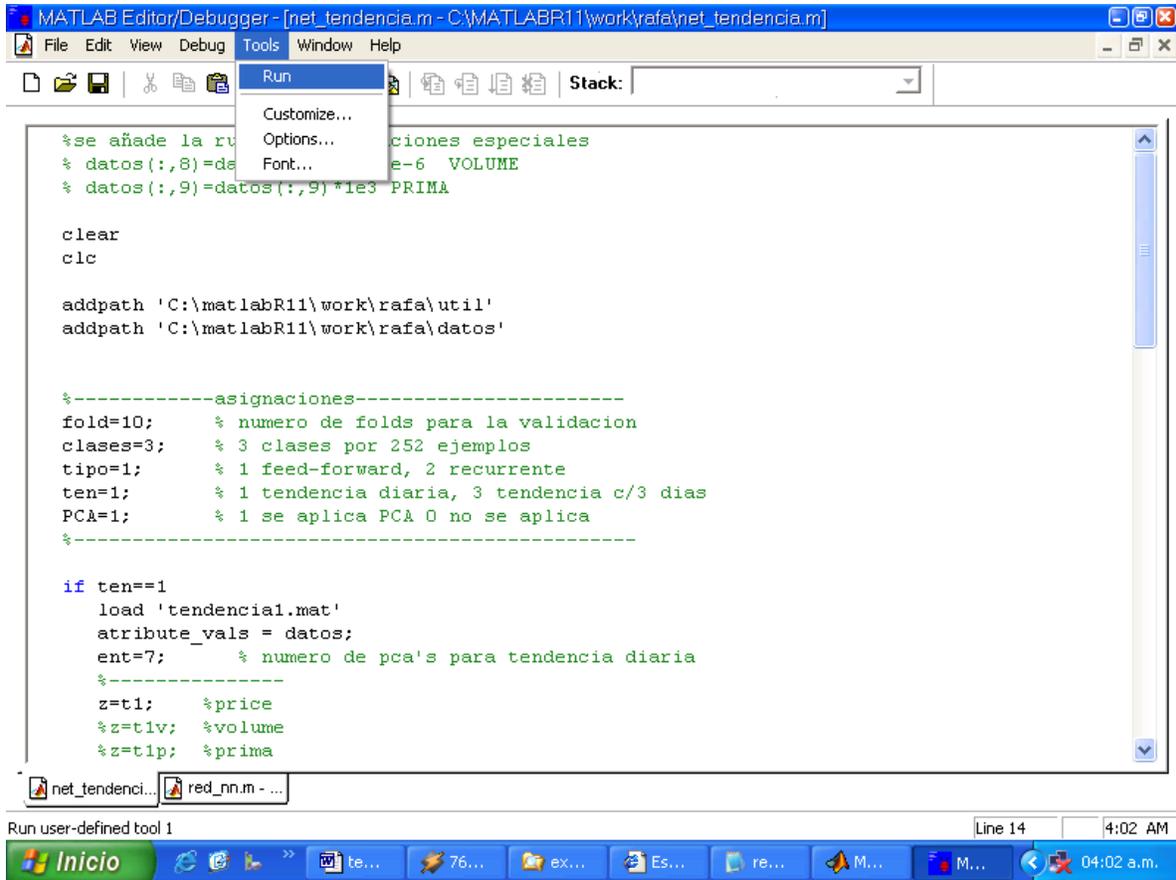
El archivo “net_tendencia” no trabaja por si sólo; éste se basa en otro archivo al que llamaremos “red_nn” que es en el que se crean y se entrenan las redes. Este archivo recibirá los parámetros que indiquen el tipo de red, los valores de entrada y de salida de los ejemplos de entrenamiento y los valores de entrada de los ejemplos de prueba, y regresa la predicción de los valores de salida de los ejemplos de entrenamiento. Los resultados de predicción, podrán mostrarse en forma resumida en una matriz llamada “matriz de confusión” en la que aparecerán las clasificaciones de los datos por clases.

En una explicación de la matriz de confusión, en apoyo con el siguiente esquema (4.1.5.2), podemos decir que en la primer fila, 5 datos de la clase uno, se clasificaron en la clases uno, cero datos de la clase uno, se clasificaron como de clase dos, un dato de la clase 1 se clasificó como de clase 3 de un total de 6 datos. En la segunda fila, se clasificaron un dato de la clase dos, como de la clase uno, cuatro datos de la clase dos, como de clase dos y dos datos de la clase dos, como de clase tres. Tercer fila: cero datos de la clase tres como de la clase uno, cero ejemplos de clase tres como de clase dos y finalmente seis ejemplos de la clase 3, como de la clase 3. Con esto, podemos decir que la clasificación correcta es la que se forma de manera diagonal, de izquierda a derecha empezando por la parte superior.

	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Clase 1	5	0	1
Clase 2	1	4	2
Clase 3	0	0	6

Clasificación correcta

El paso siguiente una vez cargados ambos códigos y añadidas las rutas de acceso correctas a los datos, es efectuar una depuración final para evitar posibles errores al ejecutarlo posteriormente. La depuración se realizará en el código principal denominado “net_tendencia” con el comando *Set/Clear Breakpoint* ubicado dentro del menú *Debug* a fin de localizar con más rapidez los puntos rotos (son los puntos en los que se detiene la ejecución del programa), la flecha amarilla indica la sentencia en que está detenida la ejecución; cuando el cursor se coloca sobre una variable aparece una pequeña ventana con los valores numéricos de esa variable en el código; es decir los errores de escritura, en caso de que se hubiera localizado algún error, el depurador lo marcará con un punto rojo, a continuación se utilizará el comando *Clear All Breakpoints* localizado también dentro del menú *Debug*. Esto eliminará todos los breakpoints que haya en el fichero. A continuación se ejecutará el programa con el comando *Run* localizado en el menú *Tools*.



ESQUEMA 4.1.5.2

Lo anterior generará una ventana adicional donde producirá la graficación de los cálculos correspondientes a las iteraciones de entrenamiento donde se podrán apreciar los resultados obtenidos. En la ventana principal del programa se plasmarán numéricamente todos los patrones que se utilizaron, así como los resultados obtenidos.

4.1.6 RESULTADOS

El objetivo de los algoritmos, es pronosticar las tendencias de las series temporales; la manera como se ha operado, es alimentando las redes con un

subconjunto del total de datos históricos a fin de que con éste, la red sea capaz de predecir el comportamiento de los precios por la misma cantidad de los datos restantes del archivo histórico, por tal motivo, la forma de comprobar si han funcionado adecuadamente los algoritmos es comparando con el segundo subconjunto los resultados obtenidos en base al primero. La cantidad de datos históricos y el grado de precisión, son directamente proporcionales; mientras se cuenta con un número más elevado de datos, las redes llevarán a cabo un proceso de aprendizaje que en el futuro le proporcionará mayor precisión, más flexibilidad, tolerancia a fallos, e incluso adquirirá la capacidad cada vez más acentuada de trabajar con datos inconsistentes y con ruido, término que se le da a la información en cierta manera borrosa o contaminada. La forma en que aprenden los algoritmos es validando las tendencias 1,2 o 3 de alza, baja y estabilidad y la forma en que está asociada con los precios de cada variable.

La manera de interpretar los resultados, como ya se ha mencionado, es comparando los pronósticos del segundo subconjunto que se hayan logrado con la información del primero, para lo cual nos auxiliaremos con el número de aciertos y fallos en cada una de las clases (las clases son de tres tipos: 1, tendencia a la alta de la acción, 2: tendencia estática y 3, tendencia a la baja) descritas en las matrices de confusión que arroje el programa al término de cada ciclo de épocas, nombre que se les da a los ciclos de entrenamiento. La graficación del programa, permite ver la discrepancia entre el margen de los datos meta, denominado goal, y que se indica con una línea recta negra, y la línea de entrenamiento de color azul (training). La línea referente al parámetro goal, indica la tendencia del segundo

conjunto de datos; es decir, el programa, para efectos de comparación en las gráficas, estructura una línea recta siempre de los datos objetivo, a fin de que al efectuar el pronóstico, se pueda apreciar más fácilmente el margen de error en el que incurrió y cuáles fueron las variaciones del mismo.

El eje de las abscisas de la gráfica (x), se trazará en base al número de épocas en que se haya logrado el máximo acercamiento a los valores de los datos objetivo. En el eje de profundidad, al que en este caso pudiésemos señalarlo como eje Z, se indican los valores de probabilidad que se tendrá con respecto a un pronóstico preciso. Y en el eje de las ordenadas (Y), se simbolizan los valores exponenciales de error real en el que está incurriendo la predicción. En base al análisis de todos los parámetros, se determinará si es necesario continuar con más iteraciones o si el algoritmo requiere de una cantidad para obtener una mejor predicción.

En la siguiente gráfica (4.1.6.1) se muestran los resultados obtenidos con la red de tipo Elman. Esta arquitectura arrojó, un resultado de 232 datos (instancias) clasificados correctamente de un total de 250, lo que significa que con los datos del primer subconjunto, acertó en las variaciones del segundo subconjunto en cuanto a clasificación con probabilidad aproximada es del 92.8% en la precisión de los precios con un número de 350 épocas, asimismo, arroja la siguiente matriz:

108	0	9
2	0	0
7	0	24

Lo que quiere decir que del segundo bloque de ejemplos, acertó en la predicción de la clase 1 con 108 y falló con 9, en la clase 2, acertó con 0 y falló con 2, y en la tercer clase, acertó con 24 y falló con 7.

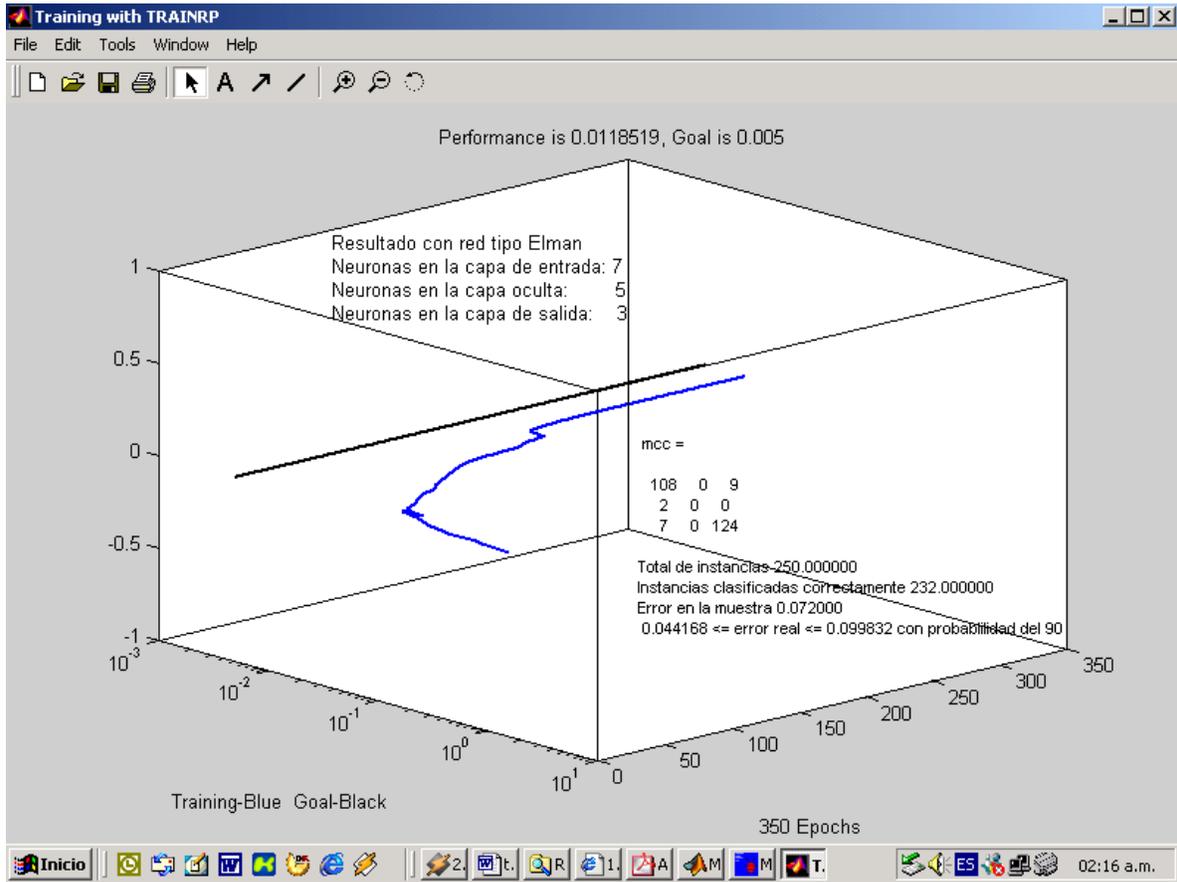


GRAFICO 4.1.6.1

En el gráfico siguiente, (4.6.1.2) se evalúan los resultados obtenidos de la red Feedforward, en donde se puede apreciar un resultado casi idéntico respecto al error estándar, con una probabilidad del 90%. Estos resultados se han obtenido en 312 ciclos de entrenamiento, lo que quiere decir que obtuvo los resultados aproximadamente en un 30% de tiempo menos que la red de tipo Elman.

109	0	8
2	0	0
7	1	23

La matriz, en este caso señala que del segundo bloque de ejemplos, acertó en la predicción, de la clase 1 con 109 y falló con 8, en la clase 2, acertó con 0 y falló con 2, y en la tercer clase, acertó con 23 y falló con 8.

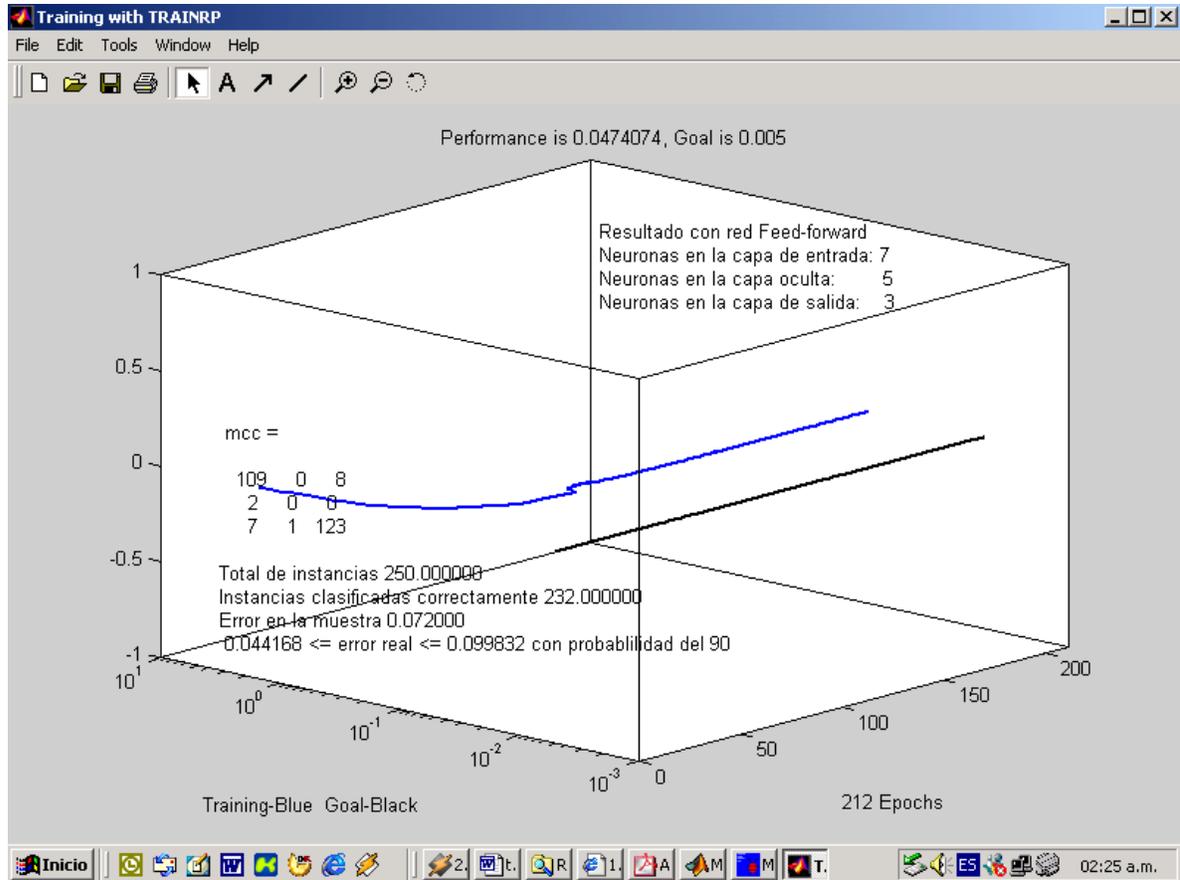


GRAFICO 4.1.6.2

4.1.6 RESULTADOS

El objetivo de los algoritmos, es pronosticar las tendencias de las series temporales; la manera como se ha operado, es alimentando las redes con un subconjunto del total de datos históricos a fin de que con éste, la red sea capaz de predecir el comportamiento de los precios por la misma cantidad de los datos restantes del archivo histórico, por tal motivo, la forma de comprobar si han funcionado adecuadamente los algoritmos es comparando con el segundo subconjunto los resultados obtenidos en base al primero. La cantidad de datos históricos y el grado de precisión, son directamente proporcionales; mientras se cuenta con un número más elevado de datos, las redes llevarán a cabo un proceso de aprendizaje que en el futuro le proporcionará mayor precisión, más flexibilidad, tolerancia a fallos, e incluso adquirirá la capacidad cada vez más acentuada de trabajar con datos inconsistentes y con ruido, término que se le da a la información en cierta manera borrosa o contaminada. La forma en que aprenden los algoritmos es validando las tendencias 1,2 o 3 de alza, baja y estabilidad y la forma en que está asociada con los precios de cada variable.

La manera de interpretar los resultados, como ya se ha mencionado, es comparando los pronósticos del segundo subconjunto que se hayan logrado con la información del primero, para lo cual nos auxiliaremos con el número de aciertos y fallos en cada una de las clases (las clases son de tres tipos: 1, tendencia a la alta de la acción, 2: tendencia estática y 3, tendencia a la baja) descritas en las matrices de confusión que arroje el programa al término de cada ciclo de épocas,

nombre que se les da a los ciclos de entrenamiento. La graficación del programa, permite ver la discrepancia entre el margen de los datos meta, denominado goal, y que se indica con una línea recta negra, y la línea de entrenamiento de color azul (training). La línea referente al parámetro goal, indica la tendencia del segundo conjunto de datos; es decir, el programa, para efectos de comparación en las gráficas, estructura una línea recta siempre de los datos objetivo, a fin de que al efectuar el pronóstico, se pueda apreciar más fácilmente el margen de error en el que incurrió y cuáles fueron las variaciones del mismo.

El eje de las abscisas de la gráfica (x), se trazará en base al número de épocas en que se haya logrado el máximo acercamiento a los valores de los datos objetivo. En el eje de profundidad, al que en este caso pudiésemos señalarlo como eje Z, se indican los valores de probabilidad que se tendrá con respecto a un pronóstico preciso. Y en el eje de las ordenadas (Y), se simbolizan los valores exponenciales de error real en el que está incurriendo la predicción. En base al análisis de todos los parámetros, se determinará si es necesario continuar con más iteraciones o si el algoritmo requiere de una cantidad para obtener una mejor predicción.

En la siguiente gráfica (4.1.6.1) se muestran los resultados obtenidos con la red de tipo Elman. Esta arquitectura arrojó, un resultado de 232 datos (instancias) clasificados correctamente de un total de 250, lo que significa que con los datos del primer subconjunto, acertó en las variaciones del segundo subconjunto en

cuanto a clasificación con probabilidad aproximada es del 92.8% en la precisión de los precios con un número de 350 épocas, asimismo, arroja la siguiente matriz:

108	0	9
2	0	0
7	0	24

Lo que quiere decir que del segundo bloque de ejemplos, acertó en la predicción de la clase 1 con 108 y falló con 9, en la clase 2, acertó con 0 y falló con 2, y en la tercer clase, acertó con 24 y falló con 7.

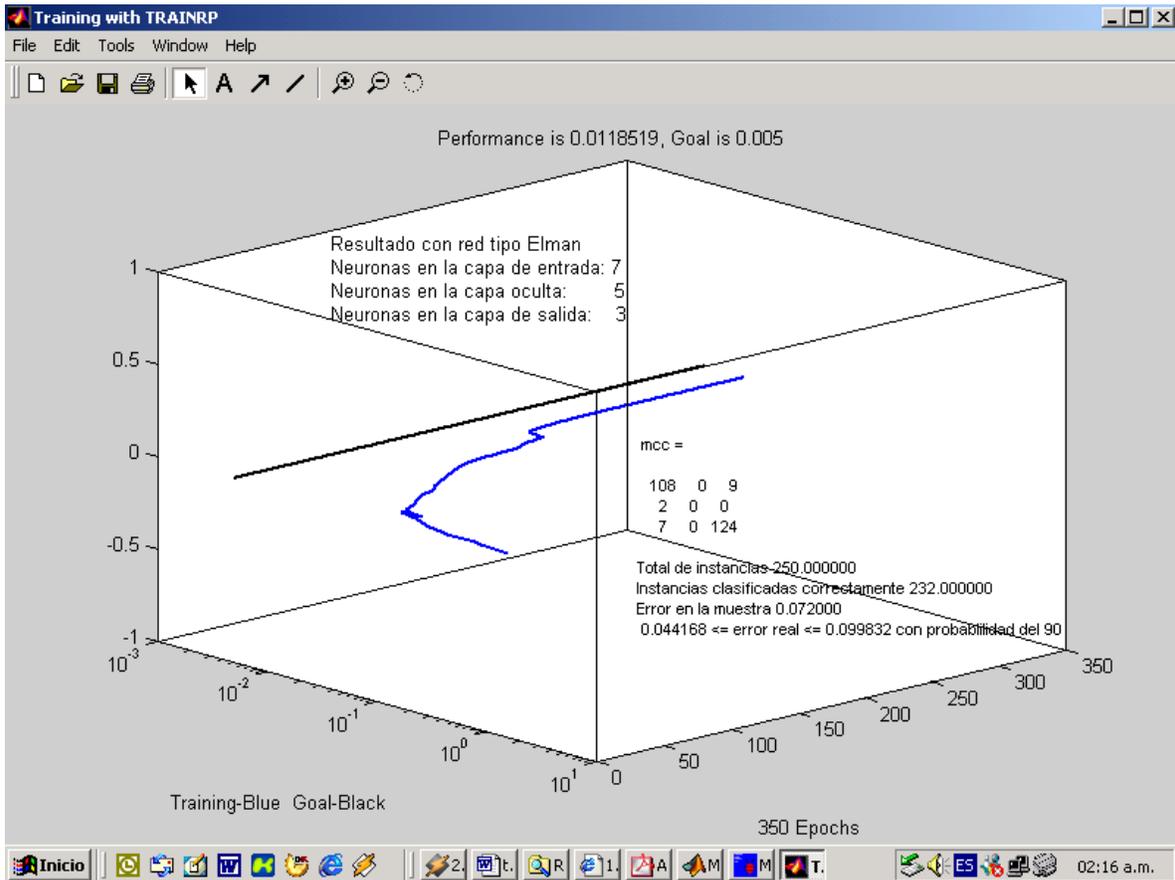


GRAFICO 4.1.6.1

En el gráfico siguiente, (4.6.1.2) se evalúan los resultados obtenidos de la red Feedforward, en donde se puede apreciar un resultado casi idéntico respecto al error estándar, con una probabilidad del 90%. Estos resultados se han obtenido en 312 ciclos de entrenamiento, lo que quiere decir que obtuvo los resultados aproximadamente en un 30% de tiempo menos que la red de tipo Elman.

109	0	8
2	0	0
7	1	23

La matriz, en este caso señala que del segundo bloque de ejemplos, acertó en la predicción, de la clase 1 con 109 y falló con 8, en la clase 2, acertó con 0 y falló con 2, y en la tercer clase, acertó con 23 y falló con 8.

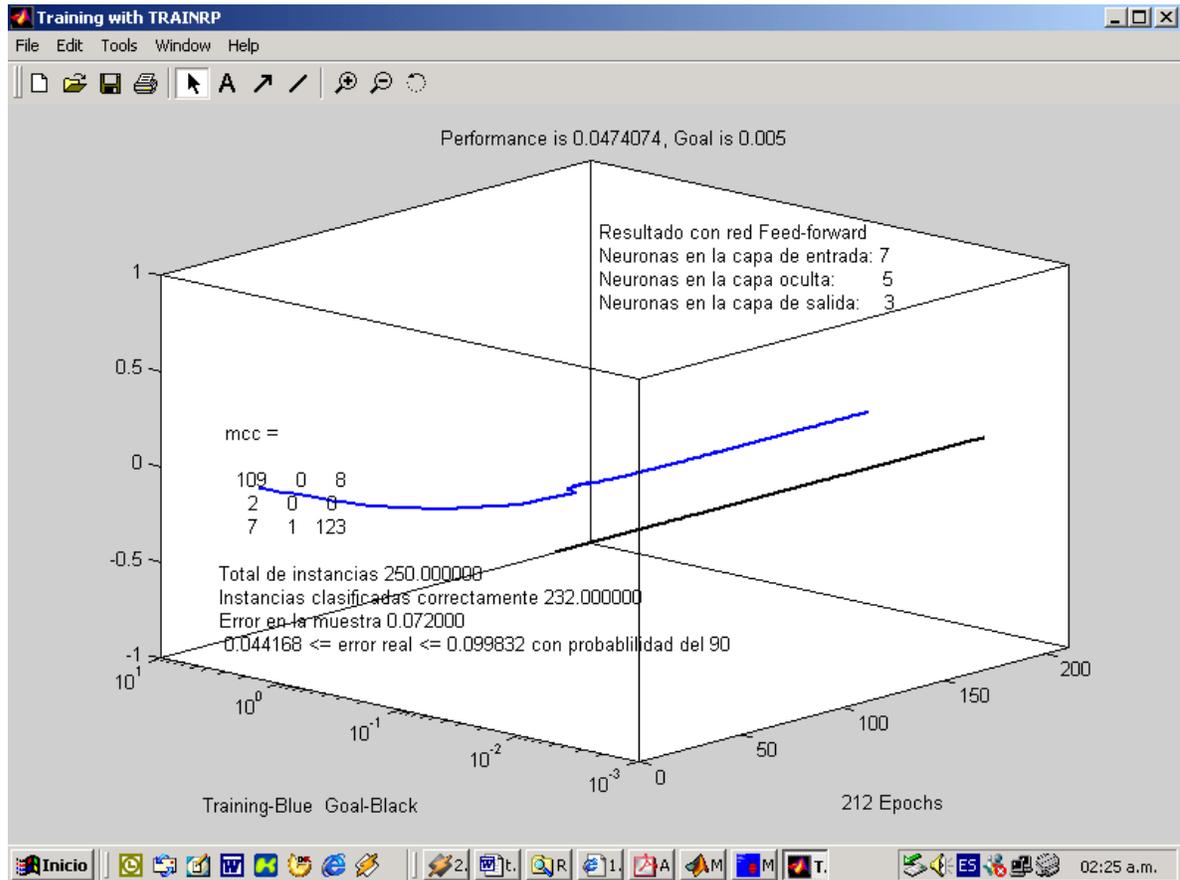


GRAFICO 4.1.6.2

CONCLUSIONES

El funcionamiento de las Redes Neuronales no radica en la estadística, sino en estudios sobre el funcionamiento del cerebro humano. Un cerebro contiene aproximadamente de un billón de unidades independientes llamadas "neuronas", cada una con alto número de conexiones con otras neuronas. Al recibir un estímulo, estas conexiones excitan o inhiben a otras neuronas hasta llegar a una situación estable. Las Redes Neuronales trabajan con estímulos de entrada para llegar a determinado resultado, son capaces de aprender de su propia experiencia y de generalizar a través de los ejemplos introducidos reconociendo variables esenciales. El nombre de "Red Neuronal" se da por tratarse de nodos llamados "neuronas", donde las interconexiones de éstas, una vez ponderadas representan el proceso de aprendizaje. El aprendizaje consiste en ajustar las ponderaciones de las interconexiones para minimizar los errores.

La arquitectura más común en las aplicaciones comerciales son las redes multi-capas de tipo supervisado (supervisado se refiere a que se conocen tanto los datos de entrada como los resultados). Esta como anteriormente se ha mencionado, recibe el nombre de perceptrón. Mediante un algoritmo de retropropagación se minimiza el error cuadrático medio entre el valor real del resultado y el valor al que se quiere llegar a través de un proceso iterativo. Una de las desventajas de las Redes Neuronales es que requieren la definición de muchos parámetros antes de poder aplicar la metodología, como decidir la arquitectura más apropiada, el número de capas ocultas, el número de neuronas

por capa, las interconexiones, la función de transformación, etc. La combinación de una mayor cantidad de variables permite un mejor conocimiento sobre las reacciones y comportamiento de cualquier sistema. A principios de siglo, algunos científicos clasificaron a los sistemas dinámicos en tres tipos en base a su grado de predictibilidad: determinísticos; los que son altamente predecibles, probabilísticos; los que parecen actuar y reaccionar siguiendo ciertos patrones y los sistemas caóticos, los cuales son en extremo impredecibles y parecen ser influenciados por patrones desconocidos. En el caso de los sistemas de mercados, surge una fuerte controversia respecto a su clasificación, ya que conforme pueden clasificarse como sistemas probabilísticos, también se pueden clasificar como caóticos. Esto en base a la gran cantidad de variables que afectan las tendencias y volúmenes de los títulos que operan dentro de si.

En finanzas, existen dos clase de análisis a los títulos crédito, los cuales conjugados, en la mayoría de las ocasiones resultan altamente eficaces para la predicción de dichos sistemas, así como para captar nuevos comportamientos del mercado; análisis fundamental y análisis técnico. El primero trata de valorar los factores económicos más importantes del entorno y contempla la evolución económico-financiera de las empresas. Mientras que el análisis técnico pretende predecir las cotizaciones a partir de la evolución histórica de precios y volúmenes de negociación.

En la presente investigación, se hizo un recorrido por información que quizá a simple vista no aparente una relación evidente con la contaduría y las finanzas; en el capítulo uno se analizó el concepto de finanzas, sus objetivos, los mercados

de valores y los operadores técnicos y humanos dentro de ellos, durante el capítulo segundo, se hizo retrospectiva a modo de determinar las bases que cimentaron las tecnologías de sistemas reticulares y sus fundamentos actuales, como la evolución de la especie humana y su capacidad de adaptación al medio que lo ha rodeado a fin de Identificar las bases más importantes sobre las que se sustenta el capítulo la inteligencia artificial, en particular las Redes Neuronales Artificiales y el importante papel que desempeñan como herramienta en la toma de decisiones. En el capítulo número cuatro se desarrollaron dos algoritmos mediante redes neuronales; una de ellas denominada Feed-Forward por su tipo de conexiones y la otra con una arquitectura de tipo Elman, ambas fueron elaboradas con el software MATLAB® versión 7.0. A lo largo del capítulo, se explicó brevemente el entorno del sistema, las librerías especializadas que sirvieron de base para el caso práctico, la metodología, y los resultados comparativos de una red y otra.

Literalmente, podemos decir que al lograr una probabilidad aproximada del 90% y con tan solo 250 datos, estamos hablando de una excelente herramienta como pronóstico de series temporales, y al aumentar el uso de la red, así como los datos históricos con que se trabaje, ésta se tornará más especializada y precisa respecto a la cantidad de influencia que tiene cada una de las variables sobre la tendencia de los precios de cotización.

BIBLIOGRAFÍA

INTERNET

- <http://www.geocities.com/SiliconValley/Byte/4713/E-RN1.htm>
- <http://dns1.mor.itesm.mx/~emorales/Cursos/KDD01/node7.html>
- <http://mba.uach.cl/optima2001/teoria.htm>
- [http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/act_permanentes/historia/histdeltie
mpo/mundo/prehis/t_evolu.htm](http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/act_permanentes/historia/histdeltie
mpo/mundo/prehis/t_evolu.htm)
- [http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/act_permanentes/historia/histdeltie
mpo/mundo/prehis/t_cere.htm](http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/act_permanentes/historia/histdeltie
mpo/mundo/prehis/t_cere.htm)
- http://www.cfg.uchile.cl/contenido/programas_cursos/1_2002/evolucion.htm
- <http://www.electronica.com.mx/neural/>
- <http://www.espe.edu.ec/publicaciones/investigativas/ciencia/ciencia04.htm>
- [http://www.farmaindustria.es/farmaweb/7pb43811prod.nsf/ffe914c0cc1e81c
ac1256b500036a778/7a94b0ae515312e6c1256bd4004f81fa/\\$FILE/XXIcap
5.pdf](http://www.farmaindustria.es/farmaweb/7pb43811prod.nsf/ffe914c0cc1e81c
ac1256b500036a778/7a94b0ae515312e6c1256bd4004f81fa/$FILE/XXIcap
5.pdf)
- <http://www.gc.ssr.upm.es/inves/neural/ann2/anntutorial.html>
- <http://www.imim.es/quark/Num21/021039.htm>
- [http://www.infor.uva.es/biometria/Documentos/informes_uva/EstadoArte/Est
adoArte/EstadoArte.html](http://www.infor.uva.es/biometria/Documentos/informes_uva/EstadoArte/Est
adoArte/EstadoArte.html)
- [http://www.infor.uva.es/biometria/Documentos/informes_uva/EstadoArte/Est
adoArte/node2.html](http://www.infor.uva.es/biometria/Documentos/informes_uva/EstadoArte/Est
adoArte/node2.html)
- <http://www.mat.upm.es/~grn/>
- <http://www.sciencedirect.com/journals>

-
- <http://www.sistemas-expertos.com/>
 - <http://www3.interscience.wiley.com/>
 - <http://www.link.springer.de/>
 - <http://www.ingenta.com/ucla/ucla>
 - http://www.ebsco.com/online_pu/luking/library
 - <http://www.jneurosci.org/stanford/stanford>
 - http://www.nature.com/neuro_sd19/852456
 - <http://www.neuroreport.com/sd19/sarajane>
 - <http://www.jbc.org/meteorres/euglena>
 - <http://www.pnas.org/hale/medicine>
 - http://210.119.137.155/journal/journal_main_06.html
 - <http://computer-brain.oupjournals.org/quillen/medicine>
 - <http://gateway.ovid.com/dac002/dahcfn>
 - <http://journals.cambridge.org/clemson/tigers>
 - <http://jpet.aspetjournals.org>
 - <http://scanning.org/fchbere/lope7674>
 - <http://www.accessscience.com/bmcc/science>
 - <http://www.bmn.com/kjistlibrary/86334484>
 - <http://www.co-neurology.com/DENIZ/tdeniz>
 - <http://www.geocities.com/abpblasto/links.html>
 - <http://www.hoodmeddac.army.mil/library1/passprt.htm>
 - <http://www.lib.baskent.edu.tr/edergi1.htm>
 - <http://www.neurology.org/deniz-7/deniz>

- <http://www.samed.com/ tmcuser/galen>
- <http://www.sciamarchive.org/html/login.asp nelinet/nelinetsa>
- <http://www.sciencemag.org/ ghslibrary/ghslibrary>
- <http://www.thelancet.com/herdecke/2448068>
- <http://www3.oup.co.uk/jnls>
- <http://www3.oup.co.uk/mind buhlplat/fbb>
- http://nitsuga.net.eu.org/redes_neuronaes/APEN_D.html
- <http://www.cinefantastico.com/nexus7/ia/neurocomp.htm>

LIBROS

- AKERS, Michael D. Porter, Grover L. Blocher, Eduard J. Y Mister, William G.: "Expert Systems for Management Accountants". Management Accounting [EE.UU.], marzo, 1986.
- APEX.: "Technical Overview of PLANPOWER and publicity material". Applied Expert Systems, Five Cambridge Cente, Cambs, 1986.
- ASH, Neville: "How Cash Value appraises capital projects". Accountant, octubre, 2, 1985.
- BAILEY, Andrew D., Jr., Gerlach, James H. McAfee, R. Preston y Whinston, Andrew B.: "An OIS Model for Internal Accounting Control Evaluation". ACM Transactions on Office Information Systems, vol. 1, n°. 1, enero, 1983.
- BAILEY, D. M.: "'Financial Advisor' Puts Experts' Wisdom Inside Your Mainframe". New England Business, vol. 7, n°. 18, noviembre 4, 1985.

- BIGGS, Stanley F. Y Selfridge, M.: "GC-X: A Prototype Expert System for the Auditor's Going Concern Judgment". Working Paper, University of Connecticut, enero, 1986.
- BRODERICK, John C.: "A Practical Decision Support System". Incluido en ANDREW D. BAILEY, Jr. (1988): "Auditor Productivity in the Year 2000. 1987 Proceedings of the Arthur Young Professors' Roundtable". Arthur Young Professors. Reston, Virginia, 1988.
- CAÑIBANO Calvo, Leandro: "Contabilidad. Análisis de la realidad económica". ICE. Madrid, 1982.
- DILLARD, Jesse F. Y Mutchler, Jane F.: "Knowledge Based Expert Computer Systems For Audit Opinion Decisions". Technical Report Submitted to the Peat, Marwick, Mitchell Foundation, enero, 1986.
- DION Martinez Carlos, "Curso de Lógica," Ed. Mc Graw Hill
- DUNGAN, Christopher Wright: "A Model of an Audit Judgement in the Form of an Expert System". Ph dissertation, Department of Accounting, University Illinois at Urb, Urbana, Illinois, 1983.
- SALVAT, "El origen del hombre" biblioteca salvat de grandes temas
- ESTRATEGIAS de Harvard "la mejor inversión de sus activos" Ed. promexa tomo II
- FERNÁNDEZ Blanco Matilde: "Dirección financiera de la empresa". Ediciones Pirámide, Madrid, 1991.
- FREEMAN / M SKAPURA David, "Redes Neuronales, Algoritmos, aplicaciones y técnicas de programación"

- GALLIZO, José L. y Moreno, José.: "Towards Integral Decisional Systems in Management Control". Comunicación presentada en el 15° Congreso Anual de la European Accounting Association, Madrid, 22-24 de abril de 1992.
- HARMON, Paul y King, David: "Sistemas Expertos. Aplicaciones de la inteligencia artificial en la actividad empresarial". Díaz de Santos, Madrid, 1988.
- HAYES Roth, Frederick: "Knowledge- based expert systems: the state of the art in the US". Incluido en J. FOX [Ed.]: "Expert systems: State of the Art Report". Pergamon Infotech, Maidenhead, Berkshire, 1984.
- HEATHER Francis J. Y Kelly Heather M. "Lo que si enseñan en la escuela de negocios de Harvard," grupo editorial Sayrols.
- HILERA José R. / Victor J. "Redes Neuronales Artificiales' fundamentos, modelos y aplicaciones" Ed. alfaomega
- JIH, Wen- Jang Kenny: "An Expert Prototype for Lease Accounting". Financial & Accounting Systems, vol. 7, n°. 2, verano, 1991.
- KERSCHBERG, Larry y Dickinson, John: "FINEX: A PC- based Expert Support System for Financial Analysis". Incluido en CHRISTIAN ERNST [Ed.], "Management Expert Systems". Addison- Wesley Publishing Company, Wokingham, England, 1988.
- KEYES, Jessica: "The SEC's Intelligent Search for Truth in Financial Statements", Financial & Accounting Systems, vol. 7, n° 1, Primavera, 1991.
- KOVAL, Erwin S.: "Expert Systems: valuable tools". Management Accounting [EE.UU.], marzo, 1989.

- McKELL, Lynn J. Y Jenkins, James W.: "Software Review----PLANMAN Structure----A Strategy for Compromise". Expert Systems Review for Business and Accounting, vol 1, n°. 4, septiembre, 1988.
- MICHAELSEN, Robert y Michie, Donald y Boulanger, Albert: "The technology of expert systems". Byte, abril, 1985.
- MICHAELSEN, Robert y Michie, Donald: "Expert systems in business". Datamation [EE.UU.], noviembre, 1983.
- MICHAELSEN, Robert y Michie, Donald: "Prudent expert systems applications can provide a competitive weapon". Datamation, julio, 1986.
- MICHEL, Daniel E.: "Using expert systems for the diagnosis of management control systems". Comunicación presentada en el 11° Congreso Anual de la European Accounting Association, Niza, 28 de abril de 1988.
- MOCKLER, ROBERT J.: "Knowledge- Based Systems for Management Decisions". Prentice- Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989.
- MUI, Chunka y MCarthy, William E.: "FSA: Applying AI Techniques to the Familiarization Phase of Financial Decision Making". IEEE Expert, vol. 2, n°. 3, otoño, 1987.
- MURRAY, Jerome T. Y Murray, Marilyn J.: "Expert Systems in Data Processing. A Professional's Guide". McGraw- Hill Book Com, New York, 1988.
- NEGRETE, "lógica elemental," limusa Noriega editores
- NÚÑEZ García, Carmen: "Un sistema experto para el análisis financiero: ". Actas del IV Encuentro Profesores Universitarios de Contabilidad.

Santander, 30 y 31 de mayo, 1 de junio de 1991, Universidad de Cantabria.

Santander, 1991.

- O'LEARY, Daniel E.: "The Use of Artificial Intelligence in Accounting". Addison- Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1987.
- RAUCH Hindin, Wendy B.: "Aplicaciones de la inteligencia artificial en la actividad empresarial, la ciencia y la industria. (Fundamentos- Aplicaciones)". Díaz de Santos, Madrid, 1989.
- RODRÍGUEZ Marín, Pilar: "Sistemas expertos en la gestión empresarial". Dirección y Progreso, n°. 119, septiembre- octubre, 1991.
- ROLSTON David W. "Principios de Inteligencia Artificial y Sistemas Expertos"
- RUSSEM Stuart J., NORVING Peter, "Inteligencia Artificial; un enfoque moderno"
- SÁNCHEZ Tomás, Antonio: "La tecnología de la información y el directivo de la empresa del futuro". Partida Doble, n° 29, diciembre, 1992.
- SANCHEZ Y BELBRAN Juan Pablo, "Sistemas Expertos: Una Metodología de Programación"
- SELFRIDGE, Mallory y Biggd, Stanley F.: "GCX: Knowledge Structures for Going-Concern Evaluations". Working Paper. University of Connecticut, 1988.
- SHIM, Jae K. y Rice, Jeffry S.: "Expert Systems Applications To Managerial Accounting". Journal of Systems Management, junio, 1988.
- SIERRA Molina, Guillermo J., Bonsón Ponte, Enrique, Núñez García, Carmen y Orta Pérez, Manuel: "Sistemas expertos en contabilidad y

administración de empresas. Desarrollo de aplicaciones usando Crystal".

Ra-ma. Madrid. 1995.

- STAFFORD Beer, "Cibernetica y administracion," Ed. C.E.C.S.A.
- STANSFIELD, James L. y Greenfeld, Norton R.: "PlanPower: A Comprehensive Financial Planner". IEEE Expert, vol. 2, n°. 3, otoño, 1987.
- SUÁREZ Suárez, Andrés S.: "Decisiones óptimas de inversión y financiación en la empresa". Ediciones Pirámide, Madrid, 1991.
- SYED, Jaffer R. y Tse, Edison: "A Integrated Consulting System for Competitive Analysis and Planning Control". Publishing Company, Wokingham, England, 1988.
- TIME Life, colección científica, "El Científico" Ed. Time Life
- TIME Life, colección científica, "La Mente" Ed. Time Life
- TIME Life, colección de científica, "Maquinas" Ed. Time Life
- TIME Life, colección de la naturaleza, "Evolución" Ed. Time Life
- VOX guía escolar "Informática" editorial patria
- ZACCAGNINI, J. L., Alonso, G. y Caballero, A.: "Inteligencia artificial de innovación prometedora a realidad práctica". Partida Doble, n°. 29, diciembre, 1992.