

4. METODOLOGÍA EN REDES DE NEURONAS ARTIFICIALES

4.1. *Introducción*

1. Ninguna bien definida

Siempre se sigue el proceso metodológico: Implícita o Explícitamente (aun inconscientemente). Si es explícitamente es más infrecuente saltarse pasos, involuntariamente, que pongan en peligro el éxito del desarrollo.

2. Criterios Básicos de Necesidad Metodológica. Efectividad y Confiabilidad.

3. Menor importancia en campo teórico: Oportunidad y Tiempo. Son más importantes, incluso determinantes, en el campo de las aplicaciones prácticas (empresa). No olvidar el criterio de Documentación, importante en el futuro del producto (modificar, rectificar).

4. Basada en propia experiencia y en la de otras ciencias (IC). Hemos desarrollado una metodología propia, teniendo en cuenta otras desarrolladas para áreas afines (Watterman, Maté-Pazos, etc) como la IDEAL (Identificación, Desarrollo y Alcance Tecnológico).

4.2. *Etapas de la Metodología*

4.2.1. **Identificación del problema**

Discernir entre:

- Contexto Teórico: Aquí es menos importante el criterio de falta de oportunidad, y el de tiempo no suele ser tan crítico en el desarrollo de los proyectos.
- Contexto práctico o de Aplicaciones.
- Problema de la sensibilización social: requiere un análisis más riguroso de la adecuación de la solución aportada, haciendo más imprescindible una metodología explícita.
- Una vez definido el problema, hay que plantearse cuáles son las variantes que intervienen en el mismo y sus posibles valores. A continuación, se analizan qué cosas o circunstancias aportarían o

podrían aportar algo positivo a su resolución (técnicas y métodos a utilizar).

4.2.2. Estudio Bibliográfico

Se hará una vez identificado el problema en toda su extensión analizando tanto los éxitos como los fracasos de:

- Otras técnicas aplicadas al mismo o parecido problema, o a partes del mismo.
- Problemas parecidos abordados con esta técnica por otros autores.
- Nuestras propias aplicaciones de esta técnica y métodos a problemas más o menos similares (por ejemplo diagnóstico industrial y médico).

4.2.3. Adecuación – Justificación del uso de la RNA

Determinante, ya que si la respuesta no es razonablemente positiva, implicaría la no aplicación de los Sistemas Conexionistas al problema en cuestión.

El uso de Sistemas Conexionistas sólo es justificable desde el punto de vista de que otras técnicas de computación convencional, o incluso de I.A., fallen por uno u otro motivo, no pudiendo abordar eficientemente el problema a resolver.

Así, son adecuadas a:

- Problemas donde se demostraron útiles previamente, o problemas similares.
- Problemas no abordables eficientemente con otras técnicas y métodos de computación convencional o, incluso, de I.A.
- Necesidad de rápida respuesta (tiempo real) y/o precisen gran cantidad de componentes.
- Se dispone de un mínimo de recursos computacionales (compilador y procesador superior a 486)
- La solución no requiere explicación.
- Hay suficientes ejemplos bien etiquetados y con adecuada variabilidad, incluyendo ruidos y/o contradicciones.
- No se dispone de expertos genuinos capaces de explicar su conocimiento adecuadamente (algoritmos, reglas, etc.)

4.2.4. Desarrollo – Construcción de la RNA

Previo a la implementación en sí, es conveniente hacer unas **consideraciones previas** a la implementación del Sistema Conexionista:

- Se debe intentar utilizar alguno de los modelos básicos o paradigmáticos ya que estarán más y mejor verificados y validados.
- Dos niveles de decisión: los elementos de proceso y las conexiones entre ellos. Pueden hacerse dos aproximaciones; la más común es plantearse, primero, el tipo y las características individuales de los EP, en función de los datos de los ejemplos (valores continuos, discontinuos, positivos, negativos, etc.)
 - **Elementos:** función de entrada (suma o suma ponderada), función de activación (identidad, umbral, sigmoide, etc.), función de transferencia, función de salida, salidas. Todas estas funciones vendrán determinadas por los valores de los datos que ha de manejar el sistema.
 - En segundo término se valorarán las **conexiones:** topología, dinámica y mecanismo de aprendizaje. No todos los elementos, incluso los de una capa, tienen que poseer iguales características. Es conveniente manejar este tema con cuidado para no caer en inconsistencias del sistema.

Principales factores a tener en cuenta:

- Tamaño de la red: hace referencia al número de elementos de procesamiento, de interconexiones y de redes que han de trabajar simultáneamente, pues precisan una perfecta definición y precisión entre ellas para funcionar adecuadamente de forma simultánea. Los tres factores (Eps, Interconexiones y Redes) estarán relacionadas en su número con la complejidad de los problemas a resolver).
- Rapidez de la red: se refiere al número de interconexiones procesadas por segundo (CUPS) o interconexiones por segundo (IPS). Se habla de rapidez en aprendizaje y en ejecución, cuando nos referimos al Sistema Conexionista en sus fases de aprendizaje y ejecución respectivamente. En el modo de aprendizaje, los Sistemas Conexionistas (feed-forward) son más lentos que en el operacional o en ejecución, ya que tienen el trabajo adicional de ajustar los pesos de las conexiones en cada ciclo.

- Funciones de los Eps: pueden ser distintas en cada nivel de la red. Se determinan las mejores por el método de “ensayo-error”, eligiendo la que mejores resultados ofrezca. Este método consiste en hacer una prueba con una de las posibilidades (a la que se conceda mayor credibilidad “a priori”) y, si no da el resultado esperado se prueba con otra, y así sucesivamente hasta dar con la adecuada (si existe). Para empezar, por ejemplo, sigmoides si los datos se mueven en el intervalo , e hiperbólica-tangente si están en .

Elección del modelo:

Hay múltiples maneras de poder realizar la implementación de un Sistema Conexionista, pero lo más seguro y menos problemático será disponer de uno de la docena de modelos básicos o paradigmáticos sobre el que se trabajará intentando adaptarlo al problema particular.

Esta elección depende, en gran medida, de lo que se espera que haga el Sistema Conexionista. Si nos movemos en el ámbito de la investigación, son importantes las facilidades del modelo de la RNA para poder cambiar sus parámetros, sus funciones, etc. e investigar qué sucede cuando se hacen estos cambios, y resulta menos importante la interfase con el usuario. En el ámbito de la producción interesa más, al menos en un principio, que el sistema admita modificaciones mínimas en aras de una mayor eficacia en el entrenamiento, y que la interfase sea buena. Se valorará, sobre todo, rapidez y coste.

Topología:

Se habrá de elegir el número de capas (se utiliza una RNA multicapa en problemas complejos o con gran diferencia entre los datos de entrada y salida) y de conexiones entre los elementos de las capas (mayor número a mayor complejidad; en el límite, totalmente conectadas).

Cuando son muy distintos los datos de la entrada y de la salida se precisa una representación interna de los datos, lo cual implica la existencia de más de una capa, que le servirán de intermediarios entre las entradas y las salidas.

La habilidad del Sistema Conexionista para procesar información compleja aumenta proporcionalmente al número de capas, pero se complica el entrenamiento del mismo.

También es importante seleccionar el número de elementos por capa. En las capas de Entrada y Salida están predeterminados por los datos que se aportan y por los que se esperan del sistema, pero en las capas intermedias es intuitivo. Una regla es:

$$\frac{(x+1)+(x-1)}{2} = \text{número_de_elementos_de_la_capa_}x$$

Hay que elegir entre modelos con alimentación hacia delante (F.F.) que son más rápidas y siempre alcanzan la estabilidad, o con retroalimentación (F.B.) (propriadamente dicha, lateral, y redes totalmente recurrentes, donde se forman bucles cerrados) más hábiles representando problemas no lineales. Estas últimas pueden tener problemas de estabilidad y recomputan continuamente la información hasta que alcanzan un estado estable (cuando lo alcanzan); siendo preciso, a veces, pasarle en muchas ocasiones el conjunto de entrenamiento. Las F.B. suelen usarse para representar sistemas no lineales o donde se pretenda controlar, en cierta medida, la salida de los Eps.

Si es posible, se debe empezar sin retroalimentación, a no ser que se le quieran conferir a los Sistemas Conexionistas determinadas cualidades como: desactivación progresiva de unos elementos, que el Sistema Conexionista tenga en cuenta las respuestas previas que ha dado, etc.

Aprendizaje:

Entendido como la “capacidad de modificar adecuadamente la conducta del sistema de acuerdo a las modificaciones de los estímulos y/o del entorno; y como un resultado de las experiencias pasadas para el establecimiento de nuevos patrones de respuesta a estímulos externos”.

Es algo tan fundamental e inherente a la naturaleza humana, que pocas veces nos paramos a analizar cómo sucede en la realidad; y, por otra parte, es tan complejo que los resultados son poco espectaculares y nada concluyentes, hasta la fecha, a pesar del gran esfuerzo que a él se aplica.

Según la cantidad y tipo de los datos que tengamos se elegirá entre:

- **Aprendizaje Supervisado** (off-line): regla delta, retropropagación, por refuerzo, estocástico, etc.,
- O, cuando sólo se conoce cómo debería ser el comportamiento en general, y no se dispone de un ejemplo completo del comportamiento deseado, **No Supervisado** (refuerzo de elementos activos o de Hebb,

competitivo o de Kohonen, avalancha-olvido fisiológico o de Grossberg, etc.). Si hay un conjunto de ejemplos con la respuesta adecuada a cada estímulo que se dé como entrada al sistema, se utilizará prioritariamente el supervisado. En otro caso, el no supervisado. Según la naturaleza del problema se propone una u otra “tasa de convergencia” que, cuando se alcanza, indica que se debe finalizar la fase de entrenamiento. Debe vigilarse el sobreentrenamiento, ya que hace perder la capacidad de generalización.

Puntos a tener en cuenta en el aprendizaje:

- Hay que controlar el valor de la “tasa de aprendizaje” o “ganancia”, valor de la variación que se quiere que ocurra en los pesos de las conexiones de los Eps con cada ejemplo que se pase al sistema. Esta tasa será razonablemente grande para que aprenda rápido, y suficientemente pequeño para que no oscile a ambos lados del valor de convergencia adecuado. Es conveniente que sea variable, además de en las distintas capas ya que acelera el entrenamiento, en las distintas partes de la fase de entrenamiento. Al principio que sea elevada y al final, cuando se va acercando a la convergencia, se va disminuyendo.
- Manejar adecuadamente el MOMENTUM: Acelera el aprendizaje sin incrementar la tasa de aprendizaje. Más importante en el aprendizaje “por lotes”. Consiste en que una porción de la variación del peso de la conexión previa influye en la actual. Actúa como filtro pasa-bajo ya que refuerza las tendencias generales y cancela “por si” las oscilatorias.
- Si la derivada de la función error, para una determinada conexión, tiene el mismo signo algebraico durante varios pasos del algoritmo, el parámetro ganancia para dicha conexión debería ser incrementado, reduciéndose, por tanto, el número de pasos requeridos para moverse de un sitio a otro de la superficie de error. Por el contrario, si cambia el signo de la derivada, la ganancia debería decrecer, ya que este cambio de signo significa la existencia de picos y valles en la superficie de error y con una ganancia grande se oscilaría alrededor del valle en su punto mínimo.
- Para poder aplicar los criterios es preciso que puedan existir diferentes ganancias (fases de aprendizaje) para cada conexión ajustable de la estructura y que cada parámetro de control de velocidad debe variar de

un paso a otro, debido a que la superficie de error tiene diferentes formas en un mismo espacio, por lo cual parece apropiado poder modificar la ganancia en función de estas formas diferentes.

- Inicializar aleatoriamente los pesos de las conexiones (en general).
- Ojo con los mínimos locales, ya que cesa el aprendizaje sin alcanzarse el mínimo global. Cuando se cae en un mínimo local se debe intentar: cambiar la topología (por ejemplo el número de capas), modificar parámetros de aprendizaje, modificar los pesos iniciales, el conjunto de entrenamiento o presentar los patrones en distinta secuencia.
- Puede aplicarse un término de decaimiento (regla de OJA en el aprendizaje Hebbiano) que cuanto mayor sea hará que el Sistema Conexionista recuerde menos de lo aprendido en los pasos previos.

4.2.5. Análisis de las herramientas disponibles en el mercado y selección de las más apropiadas (HW and SW)

Precio: Todo proyecto de ingeniería (tanto de investigación como empresarial) está sujeto a un presupuesto previo que no puede alterarse significativamente, lo cual le da al factor peso un peso específico decisivo a la hora de la selección de las herramientas.

Potencia: Que sea adecuada al producto a desarrollar.

Conocimiento previo por el equipo investigador: es conveniente que el equipo de desarrollo conozca, cuanto más mejor, las herramientas que ha de utilizar. Esto redundará en una reducción del tiempo de construcción y en una optimización de los recursos en cuanto atañe a la corrección de errores, alteraciones en el diseño, etc.

Portabilidad: muy importante a la hora de seleccionar las herramientas que los productos por ellas desarrollados sean, luego, ejecutables en la mayor variedad posible de computadoras, con lo que se facilitará la posterior transferencia tecnológica del producto. Elegir, si es posible, herramientas software que estén disponibles para computadoras de todo tipo: portátiles, personales, estaciones minis, vectoriales, etc.

Facilidades de modificación: es conveniente utilizar herramientas flexibles y que permitan las mayores capacidades de modificación en todas las variables del Sistema Conexionista para adecuarlo al problema concreto a

abordar. Son más aconsejables las herramientas más flexibles. Lo más flexible son los lenguajes de programación.

Amplitud de posibilidades de modificación: sin perder de vista el punto anterior, son preferibles las herramientas software que traen prefijado el mayor número posible de paradigmas de Sistemas Conexionistas básicos.

Facilidad de control de los procesos: sobre todo en el entrenamiento.

Integración con otros productos de computación: siguiendo la filosofía de la implementación de “sistemas híbridos” son convenientes herramientas que permitan integrar los Sistemas Conexionistas con Sistemas Expertos, Bases de Datos Relacionales.

Familiaridad con ellas de los futuros usuarios: siempre que sea posible, pues podrán hacer así, requerimientos más razonables si tienen idea de la potencialidad y los límites de las herramientas utilizadas.

4.2.6. Instalación de las herramientas HW y SW

- Mejor seguir las especificaciones del fabricante en los manuales del producto. Es importante controlar versiones y compatibilidad con normas de seguridad establecidas para evitar funcionamientos inadecuados posteriores.
- Suele ser un proceso sencillo y rápido.
- Observar fielmente las indicaciones del fabricante.

4.2.7. Construcción de la RNA

Este es el momento en que hay que ponerse en la computadora a implementar los requerimientos específicos iniciales de los apartados previos de la metodología, en concreto los referentes a topología, dinámica, tipo de aprendizaje, etc.

Comenzar por las aproximaciones más sencillas para ir complicándolas a medida que el sistema requiera mayor complejidad, de esta forma se va a facilitar la realización de estudios posteriores que pueden sugerir cambios en las selecciones previas, gracias a un análisis secuencial de dichas aproximaciones.

4.2.8. Preparación de los datos

Datos de entrada y salida, (deseados y computados). Su preparación constituye el punto clave del proceso de entrenamiento (o, al menos, uno de

los puntos clave de este proceso). A veces, es necesario normalizar algunos valores de estos datos para adecuarlos a las funciones seleccionadas para los elementos.

4.2.9. Construcción de los conjuntos de prueba y entrenamiento

Obviamente, en este punto nos estamos refiriendo a procesos de aprendizaje con un algoritmo supervisado, ya que en los otros no existen estas fases, de entrenamiento y ejecución.

Es conveniente para obtener resultados más objetivos, que sean distintos los elementos de ambos, que son más confiables los resultados así obtenidos que si se reutilizan algunos de estos datos (dependiendo del número de casos disponible el conjunto de entrenamiento va desde el 20-30% de los datos disponibles hasta el 85-90%, dejando los restantes para el de prueba). Cuanto menor sea el porcentaje utilizado en el conjunto de entrenamiento, mayores serán las dificultades del entrenamiento, pero, por el contrario, será mejor el posterior proceso de verificación. Hay que tener en cuenta que, a partir de un tamaño, las mejoras del proceso de entrenamiento gracias a su aumento pueden no compensar en tiempo y esfuerzo.

Utilizar el mayor número posible de casos típicos y alguno atípico o especial o incluso que sea contra ejemplo para proporcionarle una mayor capacidad de generalización y no se centre, únicamente, en los casos típicos.

4.2.10. Entrenamiento de la red

Puede estar condicionado por dos variables con marcado carácter subjetivo en su valoración: el tiempo de entrenamiento y el porcentaje de error permitido. Ambas seleccionados entre sí y con la capacidad computacional y el número de ejemplos disponibles, por lo que no es fácil emitir normas generales sobre ellos. Además, a veces el porcentaje de error permitido depende del área del problema y de la sensibilización social a la solución del mismo.

En todo caso, hay que decidir definitivamente el grado de convergencia (error que permitimos a la red), la tasa de aprendizaje es representada por la amplitud del cambio que se quiere que ocurran en los pesos de las conexiones cuando se produce el error en la salida (puede ser gradual a medida que avanza el proceso) y el número de ciclos de entrenamiento (influye directamente en el tiempo de entrenamiento y la capacidad de generalización

que es menor, a medida que le pasemos más veces el conjunto de entrenamiento, una vez que ya está entrenado. De los que se trata es de que aprenda, generalice y no memorice los casos de entrenamiento.

Cuanto menor sea el conjunto de entrenamiento, más veces es necesario pasárselo al sistema, pudiendo alcanzar un sobreentrenamiento con la consecuente pérdida de generalización del sistema. A veces, es conveniente sacrificar algo los resultados de determinados parámetros, para mejorar otros.

4.2.11. Chequeo de resultados

Aquí ya no se vean a modificar los pasos de las conexiones; se saldrá, por tanto de modo de entrenamiento para pasar al modo de ejecución.

En dos niveles: primero con el conjunto de entrenamiento (completo o sólo con parte) y después con el conjunto de prueba.

Comprobamos la seguridad del entrenamiento y la respuesta del sistema al ruido u otros agentes distorsionantes. En el segundo nivel se hace una primera verificación del funcionamiento del sistema.

4.2.12. Análisis de los resultados

Se procede a comprobar los resultados obtenidos con el conjunto de entrenamiento y luego con el de prueba y compararlos entre si.

Si el resultado es satisfactorio se concluye el entrenamiento, al menos por ahora. Ante resultados no satisfactorios se ajustan los parámetros, se aumenta el número de ciclos o se cambia el conjunto de entrenamiento. Es común que el causante de problemas de entrenamiento del sistema conexionista sea la confección del conjunto de entrenamiento.

Análisis estadístico de los resultados. Puede hacer conveniente cambiar los elementos del conjunto de entrenamiento (eliminar redundancias, introducir ruido, etc.).

Análisis estadístico de las entradas. Se puede asumir que, cuando no se logran grandes mejoras en el sistema utilizando un mayor número de ciclos o ajustando los parámetros y las variables, lo que se debe hacer es, sin perder demasiado tiempo en las dos variables citadas, transformar directamente el conjunto de datos, que con ello, probablemente se soluciona el problema.

4.2.13. Ajuste de parámetros

Sobre todo repararemos en:

- Modo y tasa de aprendizaje, topología del sistema, dinámica, funciones de entrada, activación, transferencia o salida de los elementos, etc.
- La magnitud del ajuste dependerá (además de su necesidad en función de los resultados obtenidos) de la flexibilidad de la herramienta utilizada o si la hemos construido completamente nosotros el sistema conexionista sin utilizar herramientas, (lo cual no se aconseja como primera opción por múltiples motivos de costes y eficacia), en cuyo caso se podrán alterar todas y cada una de las variables que se hayan implementado en la construcción.

4.2.14. Validación del sistema

Control del funcionamiento del producto en su ambiente de funcionamiento preferiblemente por un equipo distinto al que lo construyó y con un conjunto de datos reales y desconocidos por el sistema conexionista.

4.2.15. Transferencia tecnológica

- Puede ser, incluso, un equipo ajeno al de desarrollo del producto.
- Proporcionar una adecuada interfaz de usuario.
- Instalación en su lugar de actuación definitivo.
- Entrenamiento del futuro usuario para su manejo para que pueda sacarle el mayor rendimiento posible al sistema.