

# Sistemas Expertos en meteorología

Carlos Lentisco Sánchez  
Ingeniería de Telecomunicaciones  
Universidad Carlos III de Madrid  
Av. de la Universidad, 30 28911 Leganés (Madrid)  
100060695@alumnos.uc3m.es

Tania Romero Rodríguez  
Ingeniería de Telecomunicaciones  
Universidad Carlos III de Madrid  
Av. de la Universidad 30 28911 Leganés (Madrid)  
100066707@alumnos.uc3m.es

## RESUMEN

In this paper, we describe the formatting guidelines for ACM SIG Proceedings.

## Categorías y Descripciones de Temas

[**Inteligencias Artificial**]: Sistemas expertos y aplicaciones meteorológicas

## Términos Generales

Meteorología, Medidas, documentación, diseño y teoría.

## Palabras clave

Inteligencia, meteorología, sistemas expertos, predicción meteorológica.

## 1. INTRODUCCIÓN

“La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica” Aristóteles define perfectamente en esta frase lo que entendemos por inteligencia, la inteligencia es un atributo que tenemos por naturaleza y el ser humano como creador se ve impulsado a dotar a sus creaciones (artificiales y no naturales) de este atributo, consiguiendo de esta forma obtener un sin fin de beneficios y aplicaciones destinados a mejorar la calidad de vida del ser humano, o por lo menos, así debería ser.

Las aplicaciones basadas en inteligencia artificial son innumerables y van desde la biomedicina o educación hasta la predicción de las condiciones meteorológicas que realizan los sistemas expertos, objeto de estudio y razón de ser de este documento.



Los fenómenos meteorológicos son ocurrencias físicas observables dentro de la atmósfera, algunos de estos fenómenos son por ejemplo lluvia, nieve, granizo o niebla. Estos eventos pueden alterar y alteran la actividad humana proponiendo en algunos casos situaciones de peligro y amenaza.

Esta es la razón que justifica la búsqueda del ser humano por predecir fiablemente las condiciones meteorológicas.

A lo largo de este documento nos introduciremos más en los sistemas expertos repasando su evolución histórica hasta nuestros días para abordar posteriormente y con mayor profundidad un ejemplo de estos sistemas. Centrándonos en el sistema Prometeo.

## 2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

El interés del ser humano por reproducir las habilidades mentales humanas se remontan muy atrás en la historia, desde la antigua Grecia (mito del coloso de Rodas) y pasando por la edad medieval (estatuas parlantes) hasta el androide Von Kempelen que jugó al ajedrez con Napoleón y el motor analítico de Charles Babbage que calculaba logaritmos.

Hemos abierto con una cita de Aristóteles y no sin un porqué, Aristóteles (322-384 antes de Cristo) fue el primero en formular un conjunto de leyes que gobernaban la parte racional de la inteligencia. Desarrolló un sistema informal para razonar con silogismos, que se podían extraer conclusiones mecánicamente a partir de una serie de premisas iniciales.

La idea de inteligencia artificial ha ido acompañada pues por la filosofía, en 1315 d.c. Ramón Lull adelantó que se podría obtener razonamiento útil mediante medios artificiales. Thomas Hobbes (1588-1679 d.c.) relacionó la inteligencia artificial con la computación numérica.

El último elemento en la discusión filosófica es la relación que existe entre conocimiento y acción, el objetivo es pues crear un agente que tome decisiones que sean razonables o estén justificadas. El algoritmo de Aristóteles (análisis basado en objetivos) se implementa 2300 años más tarde por Newell y Simon con la ayuda de su programa SRGP.

De inicio no se propone que hacer cuando varias alternativas nos llevan al mismo objetivo o que hacer si ningún camino lleva a la solución.

Las ideas filosóficas necesitan formalizarse formalmente por las matemáticas y Boole es el primero que desarrolla el concepto de lógica formal.



Aparece el teorema de incompletitud que demostró que en cualquier lenguaje que tuviese la capacidad suficiente para expresar las propiedades de los números naturales existen aseveraciones verdaderas no decidibles en el sentido de que no es posible decidir su validez con ningún algoritmo.

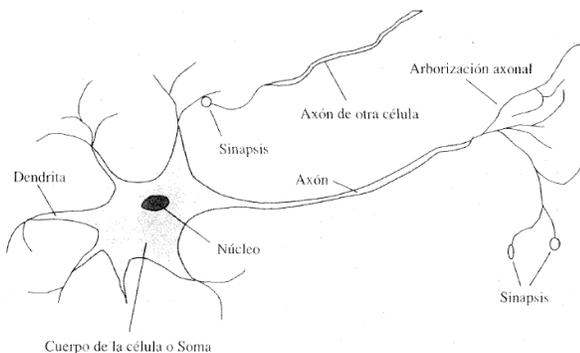
Más tarde Turing afirma que su máquina es capaz de computar cualquier función computable pero que ninguna máquina puede decidir si se producirá una respuesta dado una entrada o si por lo contrario seguirá computando indefinidamente.

Otro principio importante de cara a abordar la inteligencia artificial es el concepto de intratabilidad que dice que un problema es intratable si el tiempo que se necesita para resolverlo crece exponencialmente con el tamaño de los casos.

Además de la lógica y cálculo otro pilar básico de la inteligencia artificial se proporciona mediante la probabilidad, siendo Cardano el primero que propone el concepto en si de probabilidad. La economía empleando dicho concepto aporta su beneficio con la teoría de decisiones y juegos.

Más cerca de nuestro tiempo actual y con la Neurociencia (1861 hasta presente) se ahonda más en la IA (Inteligencias Artificial) ya que esta se basa en el estudio del sistema neurológico y en particular, del cerebro.

Santiago Ramón y Cajal que terminó acudiendo a sesiones espiritistas para intentar comprender aquello que no podía comprender utilizó la técnica de Golgi para la observación de neuronas individuales en el cerebro



La ciencia está todavía lejos en este aspecto ya que no hay ninguna teoría de cómo se almacenan recuerdos individuales.

La conclusión increíble de todo esto, por si no es ya de por si increíble, es que una colección de pequeñas células genera razonamiento, acción y conciencia. Los cerebros generan inteligencias.

A pesar de que una computadora puede ejecutar una instrucción en un nanosegundo (mucho más rápido que una neurona) el cerebro acaba siendo 100.000 veces más rápido en su conjunto.

Más cercano a nuestra época y en el 1940 introducimos el campo de ingeniería computacional, para que la inteligencia artificial llegue a ser posible se necesitan dos cosas, inteligencia y un artefacto. El artefacto es la computadora y la ingeniería de computación tiene como objetivo desarrollar eficaz y eficientemente un computador inteligente. Como podemos ver la génesis de la inteligencia artificial desde sus orígenes es extensa y complicada.

La inteligencia artificial nace en 1956 y los conceptos que se deducen de ella se explican en la asignatura por lo que no ahondaremos en ellos y pasaremos a presentar los sistemas expertos.

### 3. SISTEMAS EXPERTOS

Se considera a alguien experto en un problema cuando un individuo tiene un conocimiento especializado sobre dicho problema

Podría afirmarse que para resolver un problema en la práctica habría que conocer la respuesta de antemano, ¿si no conocemos la solución como sabremos que lo hemos resuelto?

El programa DENDRAL es el primero que enfocan este problema, diseñado por Feigebaum y Lederberg encuentran una solución al problema de inferir una estructura molecular a partir de la información proporcionada por un espectro de masas. Se resolvía de la siguiente manera: generación de todas las posibles estructuras que correspondieran a la fórmula, predicción a posteriori del espectro de masas y comprobación con el espectro real.

A continuación comienza el proyecto de programación heurística (PPH) se dedico a determinar el grado con el que la nueva metodología de sistemas expertos podía aplicarse a otras áreas de la actividad humana.

Los sistemas expertos emulan el razonamiento de un experto en un dominio concreto. Con ellos se busca una mejor calidad y rapidez en las respuestas dando así lugar a una mejora de la productividad del experto, en la mayoría de las ocasiones no suplen al experto pero si lo ayudan en su labor.

Para un persona sería una experiencia traumática realizar una búsqueda de reglas posibles al completado de un problema, mientras la persona responde a las preguntas formuladas por el sistema experto este recorre las ramas más interesantes del árbol hasta dar con la respuesta al fin del problema.

Estos SSEE (sistemas expertos) son aplicaciones informáticas, son una amalgama de programas cimentados sobre una base de conocimientos de uno o más expertos en un área. Estos sistemas imitan a los humanos en la resolución de problemas, que no necesariamente tienen que estar relacionados con la IA, aunque en este documento es en ese tipo de sistemas expertos en los que nos vamos a centrar.

Los sistemas expertos tienen una gran flexibilidad ya que solo basta con introducir una nueva regla sin necesidad de cambiar el funcionamiento del programa.

Otra de las ventajas de este tipo de sistemas es la gran cantidad de información que manejan, manejar tal volumen de información es una tarea compleja para el analista humano.



Un SE se basa en conocimiento declarativo (hechos sobre objetos) y de control (información sobre el seguimiento de una acción).

Este tipo de sistemas tienen una serie de requisitos para poder ser considerados eficaces.

En primer lugar deben ser capaces de dar explicaciones sobre los razonamientos a los que llegan. Cada regla debe tener su explicación y debe estar basada en hechos.

En segundo lugar, un SE, debe ser capaz de adquirir conocimiento fruto de la experiencia. Es decir, tiene que ser capaz de modificar los conocimientos almacenados si la experiencia indica que no son correctos del todo.

Las partes básicas de un SE, como ya se vio en clase, son la base de conocimientos, la base de hechos, el motor de inferencia, los módulos de justificación y la interfaz de usuario.

Existen diversos tipos de SE atendiendo al modo de llegar a la solución de los problemas que se plantean. Están los sistemas basados en reglas previamente establecidas (lógica difusa), los basados en casos (CBR, razonamiento basado en casos) y los basados en redes bayesianas (razonamiento basado en la estadística y en el teorema de Bayes).

Algunos ejemplos importantes dentro del ámbito de los SSEE son DENDRAL (como se cito antes), XCon, Mycin, CLIPS, Prolog...

#### **4. SISTEMAS EXPERTOS EN EL ÁMBITO DE LA PREDICCIÓN METEOROLÓGICA**

Este documento ha comenzado con una cita de Aristóteles, este filósofo griego no solo reflexionó sobre la inteligencia sino que también fue el primero en hablar de la meteorología. Él acuñó ese término que proviene del griego meteoron (referente a objetos altos en el cielo). De esta forma, sin saberlo, Aristóteles trabajó en dos temas muy diferentes a priori que, en la actualidad, están muy relacionados y que están siendo tratados en este documento.

Aunque fue Aristóteles quien acuñó el término meteorología, fue su discípulo Teofrasto quien habló por primera vez de previsiones del tiempo basadas en experiencias vividas y recopiladas.

Sin embargo, fueron necesarios algunos avances técnicos para que se llegara a poder medir la temperatura ambiental con un termómetro (Galileo 1607), la presión con un barómetro (Torricelli 1643), la velocidad del viento con un anemómetro (Hooke 1667) o la humedad con el higrómetro de cabello

(Saussure 1781). Y es que hasta que no existieron estos aparatos de medida la predicción meteorológica era imprecisa y, en demasiadas ocasiones, arbitraria y localizada ya que las previsiones se basaban en sucesos meteorológicos ya pasados y en circunstancias pasadas que posiblemente podían no ser parecidas a las del momento posterior de predicción, no siempre que hay nubes en el cielo llueve, por ejemplo. Fue Benjamin Franklin el primer americano en registrar de modo seguro y detallado la condición del tiempo sobre la base diaria y hacer una previsión sobre esa misma.

El primero en realizar una explicación general de la circulación atmosférica global fue George Hadley. A este le siguieron otros estudios de Gaspard-Gustave Coriolis y William Ferrel entre otros.

No fue hasta comienzos del siglo XX cuando el progreso en la comprensión de la dinámica atmosférica dio comienzo a la creación de la moderna previsión del tiempo basada en modelos matemáticos. En 1922, Lewis Fry Richardson descubrió como simplificar las variantes de las ecuaciones de los fluidos para facilitar una previsión del tiempo sencilla mediante soluciones matemáticas. Aun con estas simplificaciones, el cálculo numérico era bastante grande.

Finalmente, en los años 50 se empezaron a mostrar factibles los experimentos de cálculo numérico con computadores. Dando lugar a la primera previsión realizada con este método usando los modelos baroscópicos.

En los años 60 la meteorología adoptó la teoría del caos y los avances matemáticos obtenidos en este campo, de esta forma se ayudó a estabilizar el límite de previsibilidad del modelo atmosférico (efecto mariposa).

Otro hito importante en la meteorología es el lanzamiento de satélites meteorológicos. El primero fue el TIROS-1, lanzado en 1960, que marcó el inicio de una difusión global de la información climática.



Y así llegamos hasta el día de hoy, en el que el uso de computadores y modelos matemáticos para la previsión del

tiempo están totalmente afianzados y en el que los satélites juegan un papel crucial a la hora de saber como se desplazan las tormentas, ciclones,...

En la actualidad existen muchos y muy diversos SSEE relacionados con los fenómenos atmosféricos. Algunos de ellos son: Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH), pronóstico de vientos en el Mediterráneo (MEDEX), pronóstico de ciclones tropicales, análisis del tipo de nubes en imágenes satelitales, estudio de imágenes satelitales para clasificar el hielo marino y Prometeo diseñado para la generación y distribución automática de la predicción a partir de modelos matemáticos, entre otros. Este último se tratara en este documento con una mayor extensión y profundidad. Además, existen sistemas expertos que, basándose en los datos meteorológicos recogidos por otros sistemas, llevan a cabo labores de otra índole como puede ser por ejemplo facilitar a los conductores información meteorológica en tiempo o real o ayudar a los órganos gestores de tráfico para un uso más dinámico y en tiempo real de los datos meteorológicos.

### 4.1 Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH)

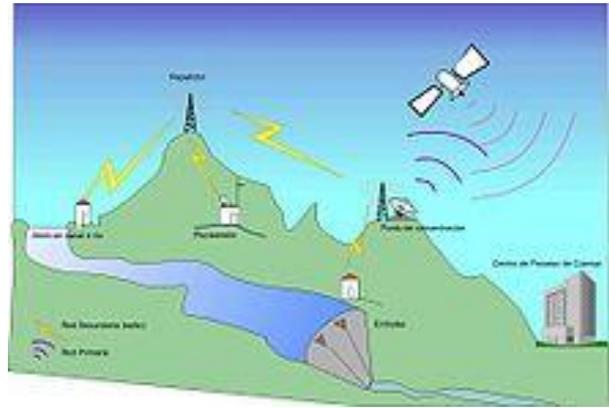
El SAIH es una red de recogida de datos de precipitación y de control de caudales circulantes.

En la zona del mediterráneo son especialmente útiles estos sistemas porque las crecidas de los ríos son muy comunes (existe una creciente ocupación humana de las vegas y riberas fluviales) y muy repentinas. Estas inundaciones causan grandes daños, tanto materiales como humanos, económicos o sociales, por lo que se puso de relieve la necesidad de medidas eficaces de previsión, predicción y control de las crecidas de los ríos.

Sin embargo, esto no es sencillo, existen dos problemas principalmente: hay un tiempo muy corto para avisar a la población expuesta al riesgo y una escasa información hidrológica en los momentos clave. Se hacen necesarios datos en tiempo real o incluso poder preveer mediante modelos el comportamiento de las cuencas.

El primer sistema de este tipo que se creo en España fue el de la Confederación Hidrográfica del Júcar en 1984 tras el desastre del embalse de Tous (el cual se podría haber prevenido con un buen sistemas automático q trabajara con los datos como hace el SAIH).

Los datos captados por los sensores del sistema se almacenan en los puntos de control. A su vez, estos puntos de control transmiten la información vía radio y vía satélite al Centro de Proceso (para el caso del SAIH del Júcar este centro se encuentra en Cuenca). El centro de proceso es una sala de control del SAIH donde se centralizan las labores de gestión y mantenimiento de la información que se recibe y, en el caso de España, se suele situar en la sede de la Confederación correspondiente. Para el caso del Júcar la sede de la Confederación del Júcar está en Cuenca.



### 4.2 Pronóstico de vientos en el Mediterráneo (MEDEX)

MEDEX (MEDiterranean EXpert system) es un paquete software que usa tecnologías de inteligencia artificial para predecir la creación, continuación y fin de vientos huracanados. Este software hace uso de sistemas expertos que simulan la experiencia de un meteorólogo de aproximadamente 25 años de experiencia en el Mediterráneo para hacer frente a la imprecisión inherente a este tipo de conocimientos. Pero, ¿por qué surge la idea de MEDEX?

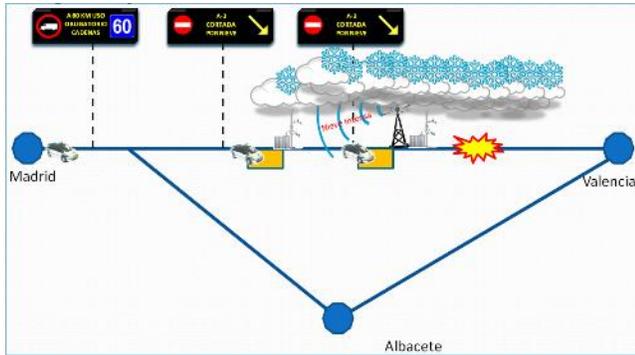
La zona del mediterráneo, como ya se ha indicado anteriormente, es una de las de más difícil pronóstico principalmente debida esta circunstancia a la topografía montañosa que lo rodea. La predicción de los vientos aleatorios de esta zona requiere muchos años de experiencia y de muchos datos los cuales no se tienen. De esta forma, MEDEX es diseñado como un sistemas de predicción (que proporciona probabilidades de eventos de vientos huracanados para complementar las decisiones de pronóstico de sistemas) y un sistema de aprendizaje (fue entrenado con la experiencia de 25 años en el mediterráneo y aprende con la utilización de los usuarios).

MEDEX hace uso de sistemas expertos y de tecnologías de conjuntos difusos. Las reglas que siguen sus sistemas expertos en sus inicios fueron derivadas por Brody y Nestor (1980). La ayuda de los sistemas difusos, cuyas respuestas no son si o no, sino rangos de 0 ("absolutamente no") a 4 ("definitivamente si"). Las reglas están expresadas en términos de lógica difusa, de forma que los umbrales son reemplazados por conjuntos difusos. Finalmente, las salidas difusas son porcentajes (de 0 a 100%) que indican la probabilidad de la predicción

### 4.3 Meeteosafety

El proyecto Meeteosafety pretende mejorar la seguridad vial en las carreteras españolas haciendo un uso inteligente de la información recibida por parte de los sistemas meteorológicos existentes.

Está liderado por el Instituto de Robótica y Tecnologías de la Información y la Comunicación (IRTIC) de la Universidad de Valencia (UV) y también está financiado, en parte, por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Se inició en el 2008 y la creación del prototipo final se llevo a cabo a finales del 2010, la cual está en fase de implantación en este momento.



Este proyecto cuenta con dos líneas de actuación:

- Actualización dinámica y en tiempo real de los paneles luminosos de carretera, para que los usuarios tengan en cada momento la información meteorológica. El sistema experto Meteosafety trata los datos provenientes los diferentes sistemas meteorológicos para ofrecer dichas predicciones.
- Análisis de las acciones a tomar para reducir las consecuencias de los fenómenos meteorológicos adversos (envío de datos al Centro de Gestión de Tráfico, por ejemplo)

Además de estos dos frentes de actuación se pretende aprovechar el conocimiento adquirido para asesorar a los organismos responsables de carreteras y analizar la influencia de los factores meteorológicos sobre la accidentalidad de las mismas y así poder ofrecer soluciones.

Para facilitar la implantación de este innovador sistema los trabajos se han basado en los estándares y tecnologías que ya existen en el mercado.

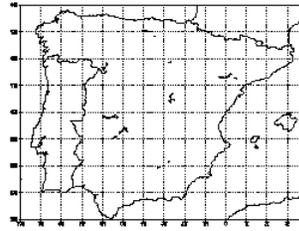
La integración de estos sistemas expertos va a ayudar a realizar un gran avance para la seguridad de los conductores y para la gestión eficaz del tráfico y de las carreteras,

## 4.4 PROMETEO: Sistema Experto basado en redes Neuronales

### 1. Introducción

Prometeo, de la estirpe de los Titanes, fue según la mitología el creador de la humanidad, que este hizo con barro y agua. Es por tanto un buen nombre para definir a este sistema experto ya que el ser humano se ve atraído a dotar de inteligencia (al igual que Prometeo) los sistemas consiguiendo de estos beneficios prácticos para la humanidad.

Este sistema utiliza las predicciones a baja resolución de los modelos numéricos sobre el grid peninsular y busca configuraciones análogas en las serie diaria 1979-1993 de la base de datos ERA (del Centro Europeo de Meteorología). Estas configuraciones análogas permiten entrenar una red neuronal utilizando como salida los datos locales de cualquier observatorio del Instituto Nacional de Meteorología obteniendo, de esta forma, un sistema para mejorar la resolución de los modelos numéricos.



Los modelos actuales de predicción meteorológica se basan en la integración numérica de un conjunto de ecuaciones diferenciales de compleja resolución. El tiempo de cómputo necesario que tenemos que asumir como coste es tan elevado que el tamaño de la rejilla no es suficiente para dar pronósticos locales que se adecuen a las propias características de la zona.

Un ejemplo de esto es el Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio cuya rejilla no permite obtener un pronóstico meteorológico a una resolución menor a 100 Km.

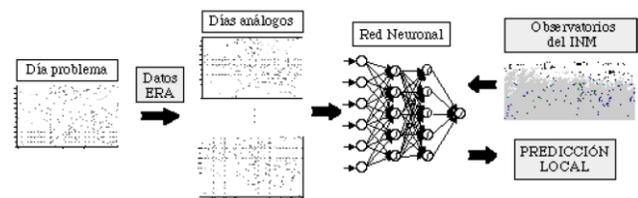
A pesar de ello contamos con un registro completo de las características de los "microclimas" gracias al I.N.M (Instituto Nacional de Meteorología).

Nos encontramos con el problema de tener diferencias no despreciables en los patrones climáticos de estaciones cercanas observando que los patrones de correlación son muy diferentes y mostrando la limitación de los modelos numéricos a la hora de realizar pronósticos de forma local.

## 2. Sistema Prometeo

El proceso de inferencia se basa en dos etapas: se realiza un cálculo de analogías entre la salida del modelo numérico para el día problema y los datos recogidos por ERA que hemos comentado anteriormente, obteniéndose un conjunto de días análogos.

Posteriormente se infieren pronósticos a mayor resolución en base a los datos numéricos y registros para los días análogos obtenidos utilizando un modelo de regresión múltiple y una red neuronal.



En la figura anterior podemos ver las etapas que se realizan para llegar finalmente a la predicción meteorológica, vamos a ir documentando progresivamente dichas etapas.

La recogida de datos ERA (datos que utiliza Prometeo) consiste en la producción de un re-análisis a partir de los datos recogidos mediante diversos medios.

Con los datos obtenidos se construyen las condiciones iniciales para introducir en el modelo numérico del CEPPM obteniendo predicciones sobre la evolución temporal de la atmósfera.

Una vez hecho esto debemos calcular un conjunto de días análogos para un día problema, para obtenerlos se compara el estado de la atmósfera del día problema con los estados que tenemos de ERA. El número de variables asociadas con el grid del modelo es demasiado grande por lo que seleccionamos variables representativas que satisfacen nuestros objetivos.

Las variables tienen en cuenta el comportamiento de la atmósfera en la escala sinóptica (global) y el comportamiento en la mesoescala (local).

La discrepancia de dos días se obtendría en base a la distancia euclídea de los vectores numéricos resultantes de la mesoescala y la escala sinóptica en los días analizados.

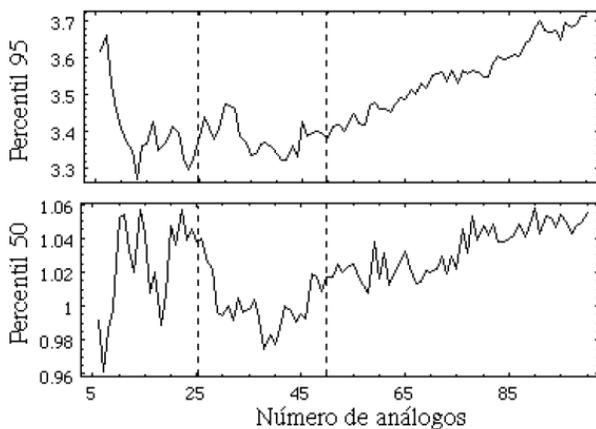
### 3. Modelos de regresión y redes neuronales

Una vez obtenidos los días análogos como hemos visto anteriormente se puede obtener un pronóstico local donde tengamos un observatorio del INM, para ello lo que realiza es la extracción de una relación entre los valores del modelo numérico como son la dirección del viento o temperatura y el valor a pronosticar y registrado en el observatorio.

Para ello lo más sencillo es utilizar un modelo de regresión múltiple para obtener una relación lineal óptima entre las variables.

Sin embargo en la figura siguiente podemos ver la necesidad de obtener un modelo no lineal que nos permita más flexibilidad en el modelo.

Otro problema importante es determinar el número óptimo de análogos. Si usamos un conjunto reducido no obtendremos buenos resultados de estimación. Por otra parte, si usamos un conjunto muy amplio corremos el riesgo de ocultar la dinámica particular del conjunto de observaciones.



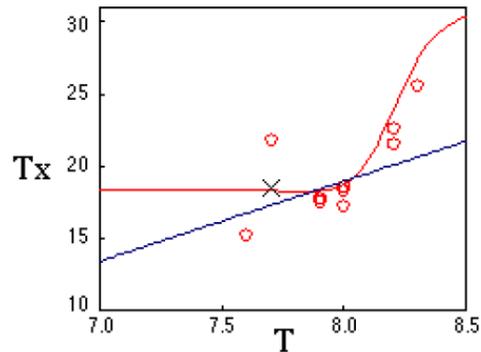
Se ve aquí por tanto la importancia de las redes neuronales en estos sistemas expertos.

Vamos a profundizar un poco en este concepto para tener más claro en qué consiste una red neuronal y como se aplica al caso de nuestro estudio.

Como hemos comentado brevemente el cerebro humano tiene  $10^{11}$  de neuronas y  $10^{14}$  sinapsis (conexiones) en el sistema nervioso, esto implica que por razones físicas somos capaces de mejorar el tiempo de conmutación de las neuronas, el problema es que las neuronas naturales mejoran la conectividad en un orden de 1000 veces superior.

Vamos a explicar con mayor detalle los modelos de regresión y redes neuronales desde un punto de vista más matemático.

Los modelos de regresión estudian las relaciones entre una serie de variables (independientes) 'xi' y otras variables dependientes o de respuesta denotadas por 'y' en función de los valores de las 'xi'.



$$\eta = \sum_{i=0}^N \beta_i x_i$$

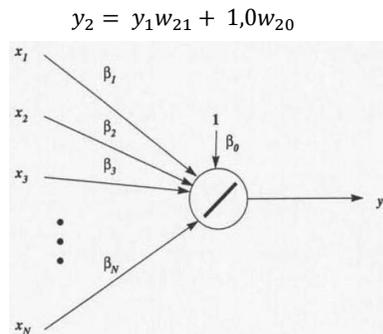
Donde:

$$\eta = h(\mu)$$

$$E(y) = \mu$$

Donde h(.) es la función que liga las componentes  $\beta_i$  son los coeficientes, N es el número de variables independientes y  $\beta_0$  es la pendiente.

Como hemos comentado lo más sencillo es utilizar un modelo lineal, este modelo lineal se puede implementar como un modelo una red neuronal simple. La red neuronal tiene una unidad de sesgo constante a 1, una entrada 'x' y una salida:



El modelo lineal tiene por lo tanto 3 componentes, la variable aleatoria  $y$  (con media  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ ), un componente que relaciona las variables independientes (observaciones) ' $x_i$ ' con el predictor lineal  $\eta$  y una función que relaciona la media con el predictor lineal.

Como hemos comentado lo más sencillo es utilizar un modelo de regresión múltiple lineal, este es una generalización de lo que acabamos de contar si se considera que la variable aleatoria se distribuye como una normal y la función  $h(\cdot)$  asume que es la identidad.

El modelo quedaría por lo tanto de la siguiente forma:

$$y_p = \beta_0 + \sum_{i=1}^N \beta_i x_{pi} + \varepsilon_p$$

Donde  $\varepsilon_p \sim N(0, \sigma^2)$ . El objetivo es encontrar los coeficientes  $\beta_i$  que minimizan la suma de cuadrados de los errores.

Este problema es equivalente al de una red neuronal con una sola capa donde los  $\beta_i$  son los pesos y la función de activación es la identidad.

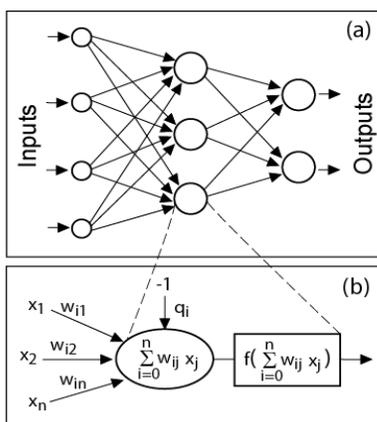
El problema es que necesitamos un modelo no lineal que nos de la flexibilidad que nos falta.

Para ello la función de activación debe ser una función no lineal, el modelo quedaría de la siguiente forma:

$$y_i = f\left(\sum_i \beta_{ji} f\left(\sum_k \alpha_{ik} x_{kp}\right)\right)$$

Donde como ya sabemos ' $x_{ip}$ ' son las entradas e ' $y_i$ ' las salidas.

Cada procesador realiza una actividad muy simple: valor sigmoidal de la combinación lineal de las actividades recibidas por la neurona:



#### 4. Salidas del sistema

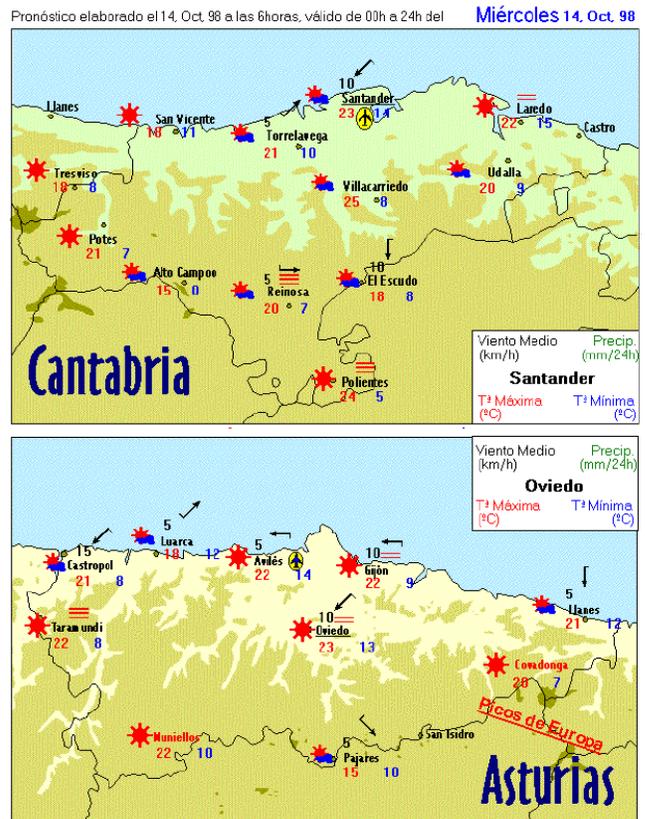
A continuación vamos a mostrar las salidas del sistema PROMETEO para un par de predicciones entre distintas comarcas

como pueden ser Cantabria y Asturias. Estas comarcas se encuentran en el territorio norte de la península Ibérica pero deben mostrar sus diferencias locales como se sobreentiende.

Los pronósticos se actualizan cada 12 horas y tras la supervisión de un experto se envían a una página web.

Como podemos ver en la figura anterior tenemos múltiples variables de salida que contienen el estado de las rachas de viento, niebla, nubosidad, lluvia si la hubiere, granizo, o el estado de la marea.

Mostramos aquí los resultados:



#### 5. CONCLUSIONES

A lo largo de este documento hemos hecho una introducción a la inteligencia artificial cuya primera piedra pone Aristóteles en su obra Metafísica, hemos visto la parte más histórica de la inteligencia artificial viendo su evolución hasta nuestros días.

Hemos justificado por lo tanto la razón de ser de este documento y dado el porqué de la razón que hace tan importante la IA.

Una vez hecho esto nos hemos centrado en los sistemas expertos, los hemos definido y comprendido para pasar a los sistemas expertos en el ámbito de la meteorología.

Hemos visto los SEs SAIH, MEDEX y METEOSAFETY para pasar a un ejemplo práctico de esto: el sistema experto PROMETEO.

Hemos introducido PROMETEO y visto en que etapas resuelve el proceso de predicción describiendo el modelo de regresión lineal y no lineal desde el punto de vista de las redes neuronales.

Por último hemos visto algún resultado práctico del sistema Prometeo.

Visto todo lo anterior podemos concluir la importancia de la IA no solo para un proceso que puede no parecer crítico como la predicción meteorológica (realmente si es crítico y beneficioso), sino en cualquier ámbito que involucra a la especie humana.

Es por tanto una herramienta que en sí misma es altamente interesante y beneficiosa y que solo bajo un mal uso del ser humano puede ser destinada para fines pocos éticos. Es por tanto labor nuestra usar el conocimiento con fines justificados y beneficiosos para nosotros.

Desde el punto de vista meteorológico, permite evitar la sesga de vidas por catástrofes naturales y nos ha permitido comprender mejor los sistemas expertos.

El sistema PROMETEO nos resulta pues, un sistema de alta importancia que nos permite realizar predicciones locales gracias a los modelos de regresión no lineales que hemos explicado en este documento, logrando de esta forma, una buena precisión y resolución en la predicción que como su nombre indica no deja de ser eso, una predicción.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

[1] **Wikipedia**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_experto](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_experto)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Historia\\_de\\_la\\_meteorolog%C3%ADa](http://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_meteorolog%C3%ADa)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_Autom%C3%A1tico\\_de\\_Informaci%C3%B3n\\_Hidrol%C3%B3gica](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_Autom%C3%A1tico_de_Informaci%C3%B3n_Hidrol%C3%B3gica)

[2] Brody, L. R. & Nestor, M.J.R. (1980). Regional Forecasting Aids for the Mediterranean Basin (Handbook for Forecasters in the Mediterranean, Part 2) (MEDEX)

[3] Kandel, A. (1992). Fuzzy Expert Systems, CRC Press, Boca Raton, FL, 314 pp. (MEDEX)

[4] Zadeh, L.A. (1983). The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems. Fuzzy Sets Syst., 11: 199. (MEDEX)

[5] **MEDEX**

<http://www.nrlmry.navy.mil/~medex/>

[6] **SAIH**

[http://www.mma.es/portal/secciones/acm/aguas\\_continent\\_zonas\\_soc/saih/index.htm](http://www.mma.es/portal/secciones/acm/aguas_continent_zonas_soc/saih/index.htm)

[7] **METEOSAFETY**

<http://www.tecnocarreteras.es/web/items/1/6/meteosafety-un-uso-inteligente-de-la-informacion-meteorologica>

[8] **PROMETEO**

[Bishop97] Bishop, B. Neural Networks for Pattern Recognition. Clarendon Press, 1997

Juan Miguel Marín Diazaraque. Introducción a las Redes Neuronales Aplicadas

PROMETEO: Un Sistema Experto para el Pronóstico Meteorológico Local basado en Redes Neuronales y Cálculo de Analogías.

grupos.unican.es/ai/meteo/articulos/caepia99.pdf

<http://www.monografias.com/trabajos30/sistemas-expertos/sistemas-expertos.shtml#ejempl>

<http://grupos.unican.es/ai/meteo/Book.html>