

Sistema experto para la predicción de tormentas locales severas en Cuba. ROSET (versión 2.0)

*Gisell G. Aguilar Oro, gisell.aguilar@insmet.cu.
Mario Carnesoltas Calvo, mario.carnesoltas@insmet.cu
Instituto de Meteorología, Cuba
Lino Naranjo Díaz, MeteoGalicia, España
lino.naranjo@meteogalicia.es.*

Resumen

Se presenta un Sistema experto para la Resolución Objetiva por Sistema Experto de Tormentas (ROSET, versión 2.0) destinado a la predicción de condiciones sinópticas favorables a la formación de tormentas locales severas (TLS) en Cuba. ROSET constituye una herramienta diseñada expresamente para el apoyo de la predicción y alerta de TLS en Cuba, que por un lado es una novedad científica y por otro, abre el camino para que en un plazo razonablemente corto, el servicio de vigilancia meteorológica mejore sustancialmente su capacidad de aviso anticipado de ocurrencia de TLS.

El Sistema experto ROSET fue elaborado a partir de una base de conocimientos, creada en función de una amplia recopilación bibliográfica sobre los conceptos básicos de las condiciones de formación de las TLS y enriquecida por un análisis pormenorizado en función de su origen y del análisis de su climatología en las condiciones de Cuba, incluye una base de hechos que caracteriza la estructura de las configuraciones sinópticas, vinculadas a la formación de TLS, además de un mecanismo de inferencia mediante reglas que funcionan como interfase de usuario y se comunican a través de un sistema simple de preguntas «verdadero o falso».

Palabras claves: Sistema experto, tormentas locales severas.

Introducción

Un sistema experto (SE) se define como un software que incorpora conocimientos de expertos sobre un dominio, de manera que es capaz de resolver problemas de relativa dificultad y apoyar la toma de decisiones inteligentes en base a un proceso de razonamiento. Pueden almacenar conocimientos de expertos para un campo determinado y solucionar un problema mediante deducción de conclusiones (Cepeda *et al.*, 2004; Wikipedia, 2004).

Dentro de las ventajas que proporcionan los SE está la capacidad de trabajar con grandes cantidades de información, uno de los problemas que enfrenta el analista al depurar datos, ya que puede eliminar algunos que considera no relevantes y que en realidad pueden afectar negativamente la decisión tomada, mientras que un SE debido a su gran velocidad de procesamiento, toma en cuenta toda la información, incluyendo las no útiles, para de esta manera aportar una decisión más sólida o fundamentada (Criado, 2002; Samper, 2003; Cepeda *et al.*, 2004).

Una característica decisiva del SE es la separación entre el conocimiento por un lado y su procesamiento por el otro. A ello se añade una interfase de usuario a un componente explicativo. En la figura 1 se muestran los elementos principales que caracterizan un sistema experto y los de un programa tradicional clásico.

El SE posee cinco partes importantes (Samper, 2003):

- *Base de conocimiento.* Contiene el conocimiento de los hechos y de las experiencias de los expertos de un dominio determinado.
- *Mecanismo de inferencia.* Puede simular la estrategia de solución de un experto.
- *Componente explicativo.* Explica al usuario la estrategia de solución encontrada y el por qué de las decisiones tomadas.
- *Interfase de usuario.* Sirve para que el usuario pueda realizar una consulta en un lenguaje lo más natural posible.
- *Componente de adquisición.* Ofrece ayuda a la estructura de implementación del conocimiento en la propia base de conocimiento.

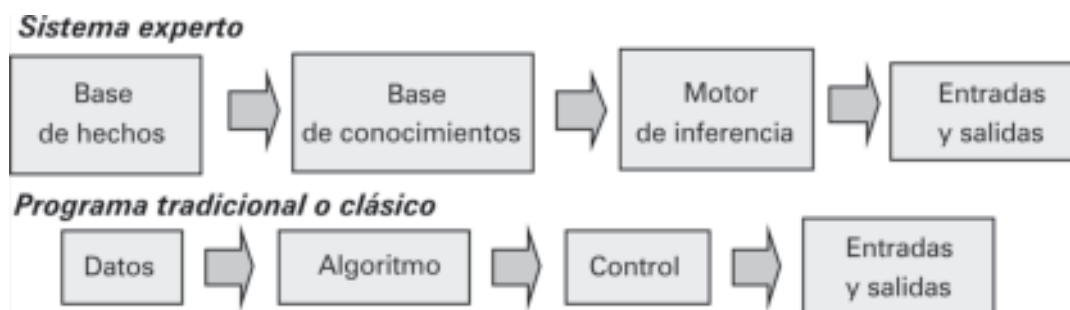


Fig. 1. Extraída de Samper (2004) elementos principales que caracterizan entre un sistema experto y un programa tradicional o clásico.

Los SE siguen una filosofía diferente a los sistemas tradicionales o clásicos. En el cuadro 1 se describen sus mayores diferencias.

El Instituto de Meteorología al introducir en 1985 en su terminología la categoría de TLS, las definió como aquellas tormentas que presentan, al menos, uno de los siguientes fenómenos: tornados, granizadas, trombas marinas, y vientos lineales de 96 km/h (25 m/s) o más (Alfonso, 1988).

Toda investigación lleva implícita una amplia búsqueda bibliográfica, en el caso de las TLS se necesita aún de un profundo estudio detallado de todo su mecanismo de formación y desarrollo. Concientes de que existen muchas partes oscuras dentro de esta temática, para el trabajo fue necesario concentrarse en un conjunto de referencias clásicas junto a otros criterios, que facilitó la creación de la base de conocimientos que posteriormente se utilizó en el sistema experto sobre tormentas, lo que se detallará más adelante en este informe.

El presente trabajo tiene como objetivo principal, el diseño de un sistema experto para la pre-

dicción de condiciones sinópticas favorables a la formación de TLS en Cuba.

Materiales y métodos

Para este trabajo se fueron desarrollando las diferentes partes que componen un sistema experto.

La base de conocimiento: comienza con un análisis de los trabajos sobre fenómenos severos en Cuba. En este caso Alfonso (1994) desarrolló la más completa estadística de TLS hasta ese momento conocida en Cuba, introduciendo además, algunos criterios para su predicción. A la luz del desarrollo alcanzado en los últimos 20 años en los conocimientos sobre las TLS en el mundo, el proyecto se centró en establecer una nueva climatología de estos fenómenos, actualizando y sometiendo a discusión los encontrados por Alfonso (Aguilar *et al.*, 2004). Esto constituyó un elemento esencial en la construcción de nuestra base de conocimiento y que de forma general pasamos a describir.

Cuadro 1. Extraída de Montes (2003) muestra las diferencias entre un sistema tradicional clásico y un sistema experto

Sistema tradicional o clásico	Sistema experto
Conocimiento y procesamiento combinados en un programa	Base de conocimientos separados del mecanismo de procesamiento
Contiene errores pequeños	Puede contener errores de cierta consideración
No da explicaciones, los datos sólo se usan o escriben	Una parte del SE lo constituye el módulo de explicación
Los cambios son tediosos	Los cambios en las reglas son fáciles
El sistema sólo opera completo	El sistema puede funcionar con pocas reglas
Se ejecuta paso a paso	La ejecución usa heurística y lógica
Necesita información completa para operar	Puede operar con información incompleta
Representa y usa datos	Representa y usa conocimiento

Base de conocimiento

La base de conocimiento utilizada para la elaboración del SE ROSET la constituye un conjunto de conceptos sobre los eventos de las TLS, y en función de su origen, se enriquece no sólo en la amplia bibliografía estudiada, sino también en el análisis de la climatología de los diferentes eventos severos. Teniendo en cuenta lo anterior, se establecieron criterios sobre las condiciones favorables para la formación de TLS, zona de origen y frecuencia de ocurrencia, entre otras.

Esta base de conocimiento no es más que la familiarización de un conjunto de conceptos de los eventos de TLS en función de su origen, enriquecida por una amplia bibliografía estudiada y el análisis de la climatología de los diferentes eventos severos. De esta manera se establecieron criterios sobre condiciones sinópticas favorables para la formación de TLS.

Base de hechos

La base de hechos para este estudio lo constituyen todas las situaciones meteorológicas a escala sinópticas de los días que se han reportado la ocurrencia de TLS. En ellas intervienen un conjunto de factores que, de acuerdo con la base de conocimiento, serán los mecanismos que definen condiciones favorables para algún tipo de TLS. Este es un aspecto que fue considerado para la definición de las configuraciones sinópticas, agrupando un número de casos con similares características.

Este proceso permitió el desarrollo de algunas estadísticas básicas de los campos para lo cual se dividieron en dos períodos, el poco lluvioso y el lluvioso. De esta forma para cada período se han establecido algunos parámetros básicos como mapas de correlación vinculados a la ocurrencia de determinados fenómenos severos.

Reglas para el mecanismo de inferencia

Un aspecto crucial dentro del mecanismo de inferencia que lleva a la toma de decisiones dentro de un SE es el establecimiento de reglas que enlacen la situación bajo análisis (nuevo hecho) con la base de hechos a través de la base de conocimientos. Estas reglas son el soporte lógico de todo el sistema y se basa en un razonamiento que, siguiendo las líneas trazadas por la base de conocimientos, nos lleve a una conclusión. En este caso, un ejemplo típico de regla puede ser la existencia de una cizalladura vertical de viento, su existencia o no en determinados casos y junto a su interacción con otras reglas puede llevar a confirmar o rechazar la existencia de condiciones favorables para TLS.

Con la obtención de las configuraciones sinópticas que favorecen el desarrollo de las TLS, en el período poco lluvioso en Cuba, las reglas se obtuvieron basadas en una subdivisión de estas configuraciones. En su conjunto, se dividieron en cinco grandes grupos, según el tipo de sistema predominante, tres en el período poco lluvioso, donde predominan los anticiclones, los sistemas frontales y las bajas golfigianas, mientras que de esos grandes grupos, dos de ellos se corresponden con los del período lluvioso en Cuba, predominando la vaguada tropical troposférica superior y la vaguada de niveles medios.

A partir del análisis de estas configuraciones se desarrolló un conjunto de reglas específicas que las describen, clasificadas en primera instancia en reglas básicas, aquellas que de acuerdo con la base de conocimiento son determinantes en la formación de TLS, entre ellas a manera de ejemplo, la intrusión fría en niveles medios sobre Cuba.

Por otro lado, se determinaron otras reglas denominadas secundarias, que no resultan tan importantes en la determinación de la ocurrencia de TLS, o que al menos presentan dudas sobre su influencia debido a que no están contempladas explícitamente en la base de conocimiento y más bien influyen en la caracterización detallada de cada configuración sinóptica, el incumplimiento de una regla secundaria podría no invalidar la toma de decisión, pero sí someterla a duda, en cuyo caso el sistema deberá señalarlo.

Cada regla no está vinculada de una forma simple, sino que ellas interactúan dentro del mecanismo de inferencia por lo cual es capaz de describir la no linealidad del proceso a describir.

Análisis de los resultados

Características del sistema experto «Resolución Objetiva por Sistema Experto de Tormentas», versión 2.0.

En base a la climatología de las TLS y el análisis detallado de los patrones sinópticos favorables para la ocurrencia de las TLS, se diseñó un SE que llamamos ROSET (Resolución Objetiva por Sistema Experto de Tormentas) que en su versión 2.0, cuenta con una base de hechos, base de conocimiento, motor de inferencia y entradas y salidas. En la figura 2 se muestra un esquema que une las diferentes partes que componen el SE ROSET.

SE ROSET posee un mecanismo central de inferencia que determina de manera inicial la configuración sinóptica más probable, a partir de la cual se



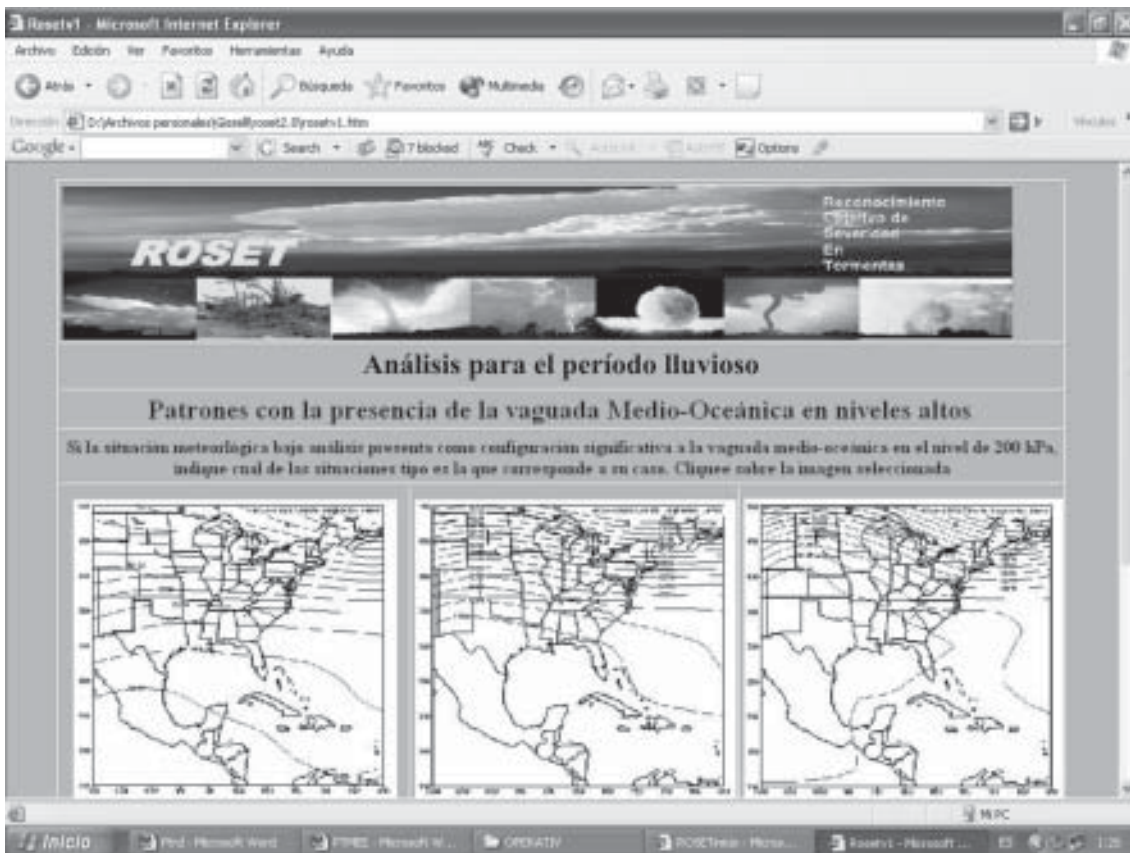
Fig. 2. Partes que componen el Sistema Experto ROSET versión 2.0.

realiza la comparación de las reglas que determinarán el nivel de riesgo de TLS. ROSET presenta un conjunto de configuraciones tipos iniciales dependiendo de la fecha de ejecución, entre las cuales el pronosticador deberá escoger la más cercana a sus condiciones originales. Posteriormente, mediante

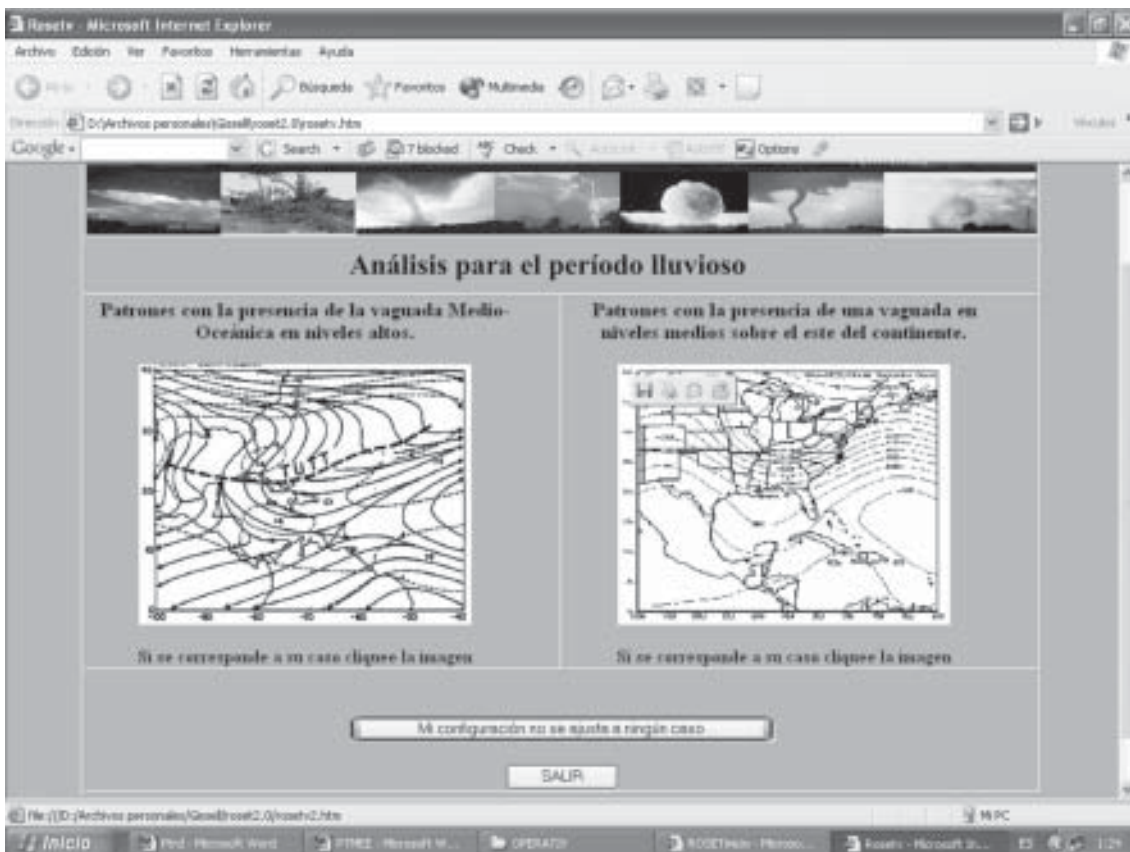
preguntas simples, determinará el patrón o la configuración sinóptica más probable (Aguilar *et al.*, 2005). Las figuras 3, 4a y 4b muestran ejemplos de las páginas de inicio del ROSET y donde se presentan las configuraciones tipo a escoger para un período dado.



Fig. 3. Página de inicio del sistema experto ROSET.



a



b

Figs. 4a y b. Inferencias iniciales del período lluvioso.

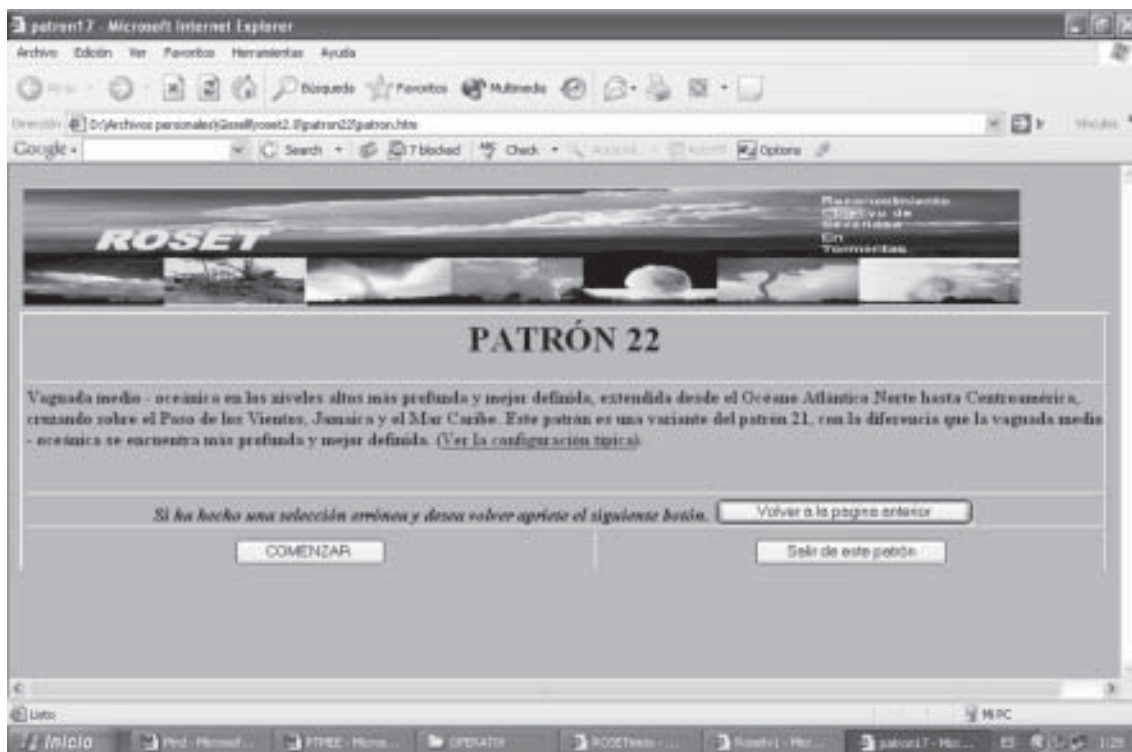


Fig. 5a. Patrón más probable seleccionado a partir de las inferencias iniciales.

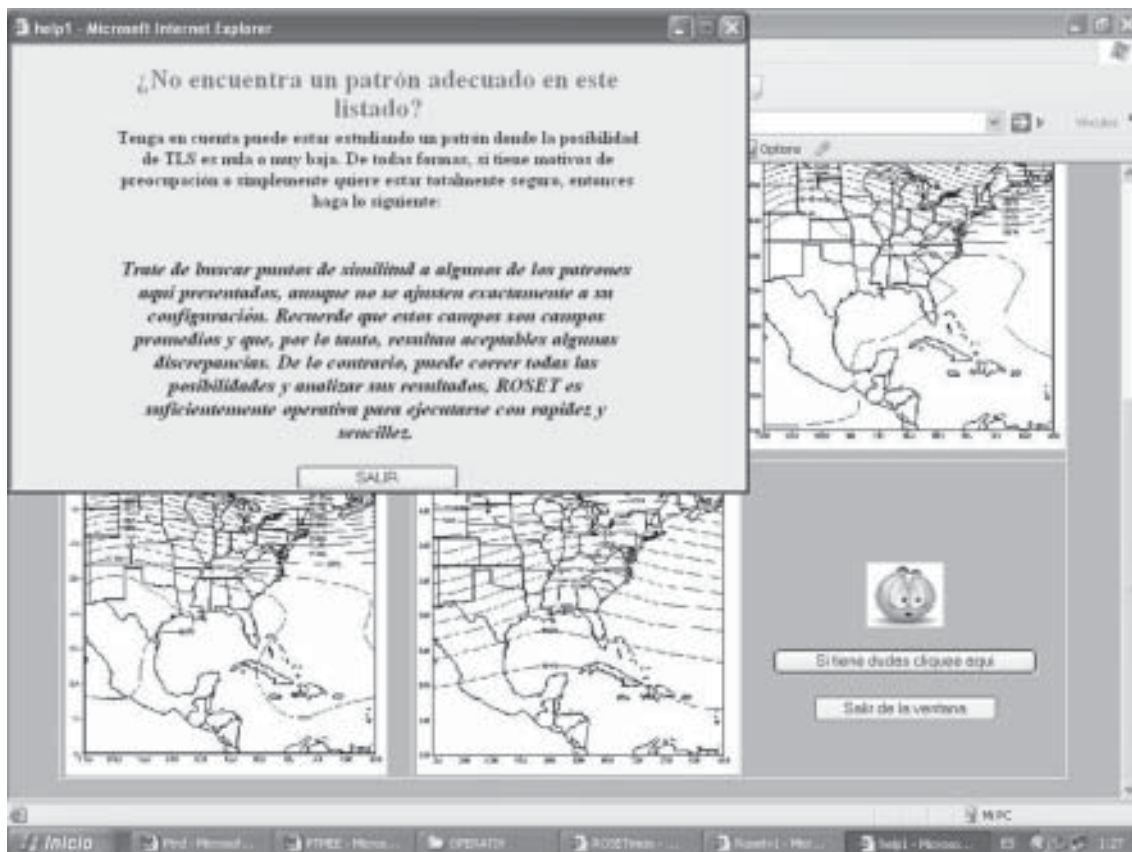


Fig. 5b. Una de las salidas del sistema cuando no se ajusta a ningún patrón de TLS.

La base de conocimiento en el SE ROSET está integrada en ficheros de texto que contienen los razonamientos basados en los conocimientos fundamentales de condiciones meteorológicas favorables para las TLS. El sistema tiene implícito una base de hechos que caracteriza la estructura de las configuraciones sinópticas, se fundamenta a través de la base de conocimiento y sirve para comparar la posible solución de un problema particular, además de contener un mecanismo de inferencia con reglas que comparan los hechos en función de la base de conocimiento. Son una interfase de usuario que se comunica a través de

un sistema de preguntas «verdadero o falso». Ver figuras 5a, 5b, y 6, ejemplo de algunas páginas del ROSET incluyendo las preguntas formuladas.

El sistema de experto ROSET presenta opciones de salidas que apoyan al analista o pronosticador a determinar la percepción del peligro en dependencia del resultado obtenido, después del análisis con respecto a las configuraciones sinópticas antes descritas que caracterizan situaciones favorables para la ocurrencia de TLS. Ejemplos de alertas emitidas por ROSET se presenta en las figuras 7a y 7b.

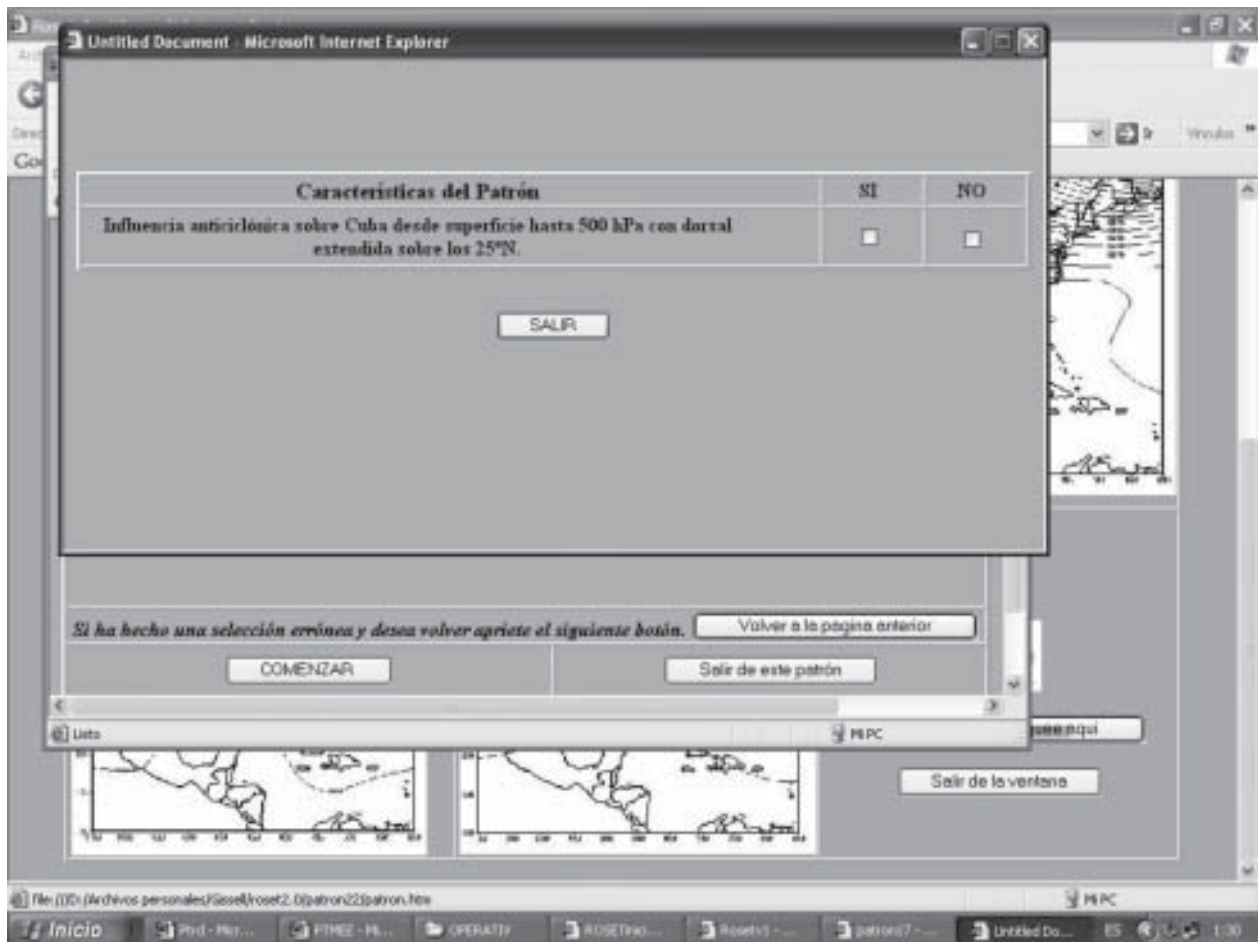


Fig. 6. Ejemplo de preguntas que se analizan de acuerdo con cada situación sinóptica.

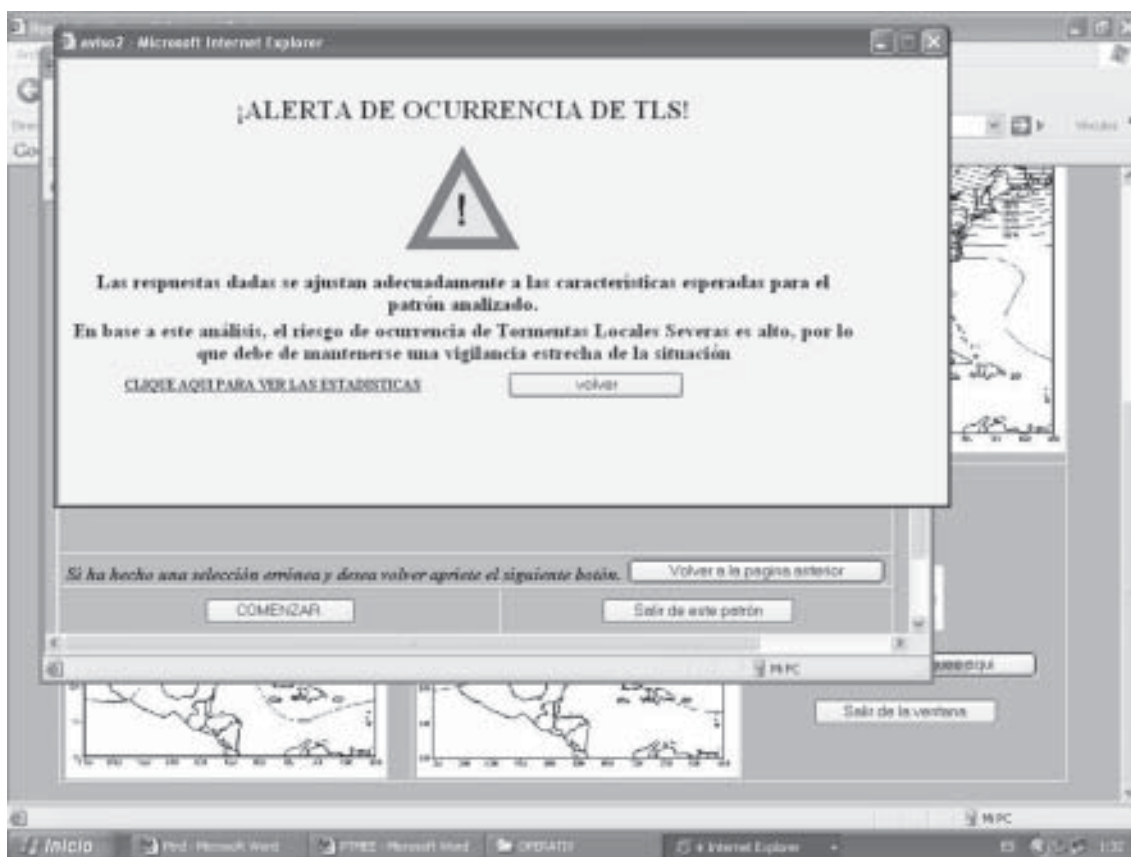


Fig. 7a. Ejemplos de alertas emitidas por ROSET.

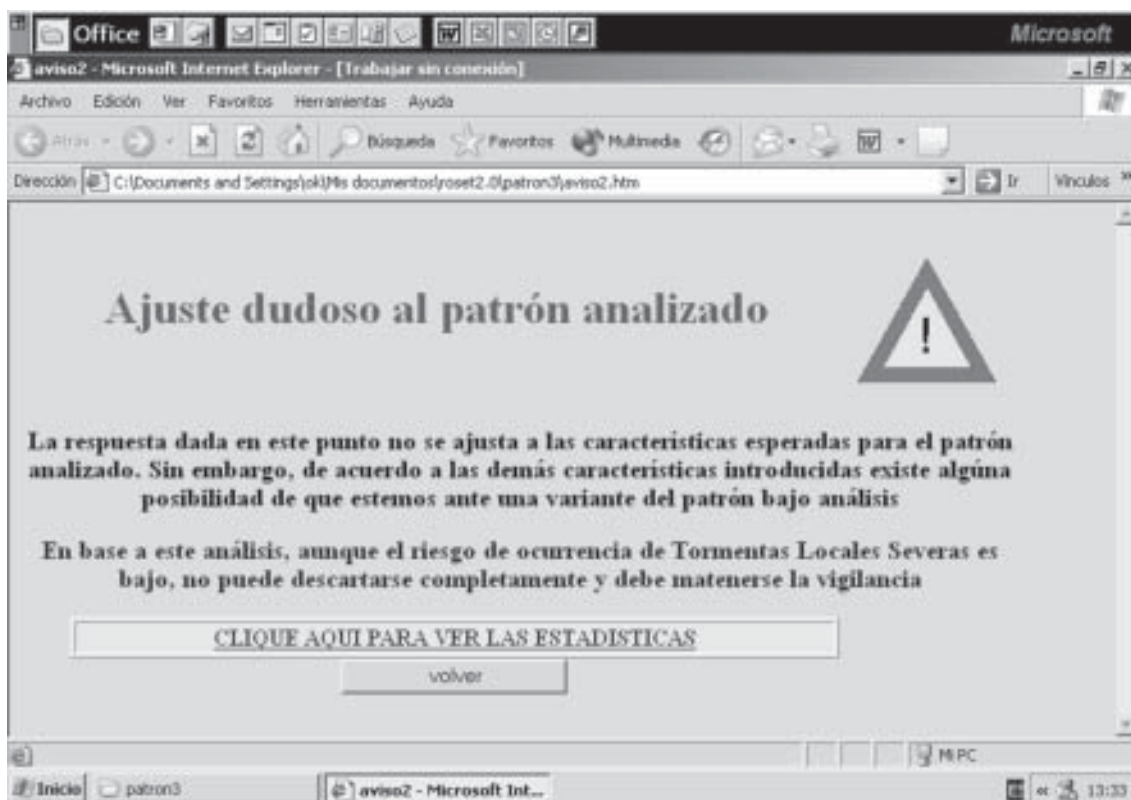


Fig. 7b. Ejemplos de alertas emitidas por ROSET.

Conclusiones

El sistema experto denominado ROSET versión 2.0, constituye la primera herramienta diseñada expresamente, para el apoyo de la predicción y alerta de TLS en Cuba. Este resultado no sólo es una novedad científica, sino que abre el camino para que en un plazo razonablemente corto, el servicio de vigilancia meteorológica mejore sustancialmente su capacidad de aviso anticipado sobre la ocurrencia de TLS. De esta forma, se cumplimentaría uno de los pocos aspectos pendientes dentro del sistema de preparación contra catástrofes de la Defensa Civil en Cuba.

Aunque el SE ROSET (Versión 2.0) puede considerarse un sistema muy simple, dentro de la filosofía de los SE, ha demostrado durante las pruebas de ajuste, una alta capacidad de identificar situaciones potencialmente peligrosas.

La estructura de la base de conocimientos empleada en ROSET, versión 2.0, se basó de manera sustancial en el estudio pormenorizado de los datos de TLS y en el desarrollo de estadísticas que completan y mejoran los existentes en estudios previos.

A partir de un análisis detallado de un sistema de configuraciones sinópticas favorables para la ocurrencia de TLS en Cuba, con un enfoque tridimensional y multifactorial de los procesos atmosféricos se obtuvo la base de hechos para la definición de las reglas de contrastación.

La característica y estructura del SE ROSET hacen que las ulteriores mejoras en la base de conocimiento y de hechos, se puedan realizar sin necesidad de reprogramaciones importantes, introduciendo o eliminando sectores de decisión dentro de los programas, que funcionan como partes independientes.

Recomendaciones

No obstante a los buenos resultados alcanzados por el SE ROSET durante su diseño y puesta a punto, deberá someterse a una etapa de ajuste y pruebas en tiempo real, estableciendo las mejoras necesarias en su estructura y completando su base de conocimiento dentro del trabajo operativo.

El sistema constituye una herramienta de apoyo al pronosticador, tal y como el SE ROSET advierte en su inicio de sesión que funciona y da criterios de acuerdo con las respuestas de la parte humana. De ninguna forma el SE ROSET sustituye al pronosticador, quien en todo momento deberá mostrar un dominio de la situación bajo estudio y cuya responsabilidad está en dar respuestas adecuadas e interpretar correctamente la información brindada por ROSET.

Bibliografía

- Aguilar, O. G.; M. Carnesoltas; C. Balseiro y L. Naranjo (2004): «Climatología de las Tormentas Locales Severas en Cuba, en el período 1987-2002». Resultados de la modelación de un caso de estudio.
- Aguilar, O. G.; M. Carnesoltas y L. Naranjo (2005): «Configuraciones sinópticas favorables para la ocurrencia de tormentas locales severas en Cuba». Resultado científico INSMET, inédito.
- Alfonso, A. P. (1988): «Climatología de las tormentas locales severas de Cuba y fundamentos para su pronóstico». Tesis presentada en opción al grado científico de candidato a Doctor en Ciencias Geográficas, Matanzas, 174 p.
- (1994): *Climatología de las tormentas locales severas de Cuba*. Cronología. Editorial Academia, La Habana, 168 p.
- Cepeda, M.; L. Díaz; G. L. Benavides y M. Cristina López (2004): «Psicología e informática». <http://www.monografias.com>.
- Criado Briz, J. M. (2002): «Introducción a los sistemas expertos». Consultado 6 de mayo de 2004 en http://ingenieroseninformatica.org/recursos/tutoriales/sist_exp/cap1.php
- Montes Cerra, M. C. (2003): «Sistemas expertos». Consultado en 06, 05, 2004 en http://dis.eafit.edu.co/labs/labgic/ARTICULOS_%20PUBLICAR/Sistemas%20expertos.doc
- Samper Márquez, J. J. (2003): «Sistemas expertos. El conocimiento al poder». Consultado en 06, 03, 2004 en <http://www.psycologia.com/articulos/arsamper01.htm>
- (2004): «Introducción a los sistemas expertos». Consultado en 06, 03, 2004, <http://www.redcientifica.com/doc/doc199908210001.html>.
- Wikipedia (2004): «Sistema experto». Consultado el 06 de marzo de 2004 en http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_experto.

Abstract

An expert system named ROSET (Resolución Objetiva por Sistema Experto de Tormentas) in its version 2.0 is presented for the prediction of synoptic patterns favorable for SLS occurrence in Cuba. ROSET is conceived as a supporting tool for the prediction, monitoring and warning of SLS in the Cuban Meteorological Service. One of its main goal is substantially improve the Meteorological Monitoring Service by increasing the capacity in releasing Early Warnings on SLS occurrence.

ROSET was developed from a knowledge basis, specially created for it and using and extensive bibliographical study on SLS, enriched by a deep analysis of the Cuban Climate. A data base of Facts was included to characterize the synoptic patterns related to the SLS formation. A set of rules acts in the inference mechanism and the users inter-phase was designed through a simple mechanism of «true» or «false» inputs.

Key Word: expert systems, severe local storms.