Sistema Experto Aplicado al Control del Espacio Aéreo

Jorge Salvador Ierache [1,2] , Ramón Garcia Martinez[1]
Centro de Ingeniería del Software e Ingeniería del Conocimiento
Escuela de Posgrado Instituto Tecnológico de Buenos Aires [1]
Facultad de Informática Ciencias de la Comunicación y Técnicas especiales Universidad de Morón[2]
Argentina
jierache@yahoo.com.ar , rgm@itba.edu.ar

Resumen: El 11 de Septiembre del año 2001 el mundo presenció con sorpresa y horror cómo muchas vidas inocentes se perdían al caer ambas torres gemelas, producto del empleo de aeronaves comerciales contra la población civil.
Un adecuado entrenamiento y asistencia a la toma de decisión en los centros de información y control aéreo contribuye a minimizar los potenciales daños que la operación de aeronaves puede ocasionar a un Estado Nación.
El presente artículo trata la aplicación de sistema experto para asistir al control del espacio aéreo específicamente en lo que respecta a la toma de decisiones relativas a la problemática de interceptación de aeronaves, sentando las bases para el entrenamiento en un ambiente interoperable.
Se describen los puntos más significativos de las etapas de conceptualización, formalización, implementación y pruebas acompañados de ejemplos a fin de brindar al lector una idea general del sistema.

Palabras Claves: Ingeniería de Conocimientos, Sistemas Expertos, Control Aéreo, Interceptación de Aeronaves, Interoperabilidad.

Abstract: On September 11th 2001 the entire world witnessed surprisingly and horrified too, how a large number of innocent citizens died while both Twin Towers collapsed as a result of the attack of commercial aircrafts against civil populations.
A suitable training and assistance to make up a decision at Information and Air Traffic Control Centers help to reduce the potential damages which the aircraft operation might cause to a Nation.
Knowledge-based upon Systems management may assist to improve the reaction cycle at an air traffic control center while certain aircrafts become potential threatens.
This article includes the application of an expert system to assist the air traffic control, specially when making up a decision referring to aircrafts interceptation, basing upon training within an interoperative environment.
Most relevant items of the stages of conceptualization, formalization, application and tests accompanied by examples are also described in order to offer a general view of the system to the reader.

Key Words: Knowledge Engineering, Expert Systems, Air Traffic Control, Aircrafts interceptation, Interoperation

1 Introducción.

Este trabajo propone la aplicación de Sistemas Basados en Conocimiento para asistir a las tareas de Vigilancia y Control del Espacio Aéreo a través de la evaluación de la situación aérea presente reportada por los sistemas de radares dedicados a la Vigilancia y Control Aéreo.
Específicamente se presenta la aplicación de un Sistema Experto para el entrenamiento y asistencia en un Centro de Información y Control (CIC) a fin de contribuir a la toma de decisiones relativa a la

interceptación de aeronaves a partir de la evaluación de la Situación de Movimiento Aéreo presente en el área de operación, la Situación General relativa al estado de aeródromos, material aéreo, radares, meteorología en el área de operación y la Situación de Interceptación relativa a la aeronave interceptora, aeronave a interceptar y el cubrimiento control brindado por la estación de interceptación que llevara acabo el control de la operación.

El proceso de toma de decisiones en un Centro de Información y Control parte del análisis de la situación aérea obtenida a través de sus sensores y ante la presencia de vuelos no identificados, vuelos ilícitos, vuelos que comprometen la seguridad de centros urbanos, centros industriales, energéticos, vuelos en áreas no autorizados; se evalúa la interceptación de la aeronave en cuestión considerando las limitaciones impuestas por las condiciones de sus sensores de vigilancia aérea, sus aeronaves interceptoras, como así también las impuestas, por el estado de aeródromo, meteorología y radioayudas a la navegación.

A fin de contribuir al logro de la interceptación, la toma de decisiones en el CIC deberá realizarse con la menor demora posible, para lo cual se requiere personal entrenado para la tarea en cuestión.

El adiestramiento del personal durante las ejercitaciones reales requiere una apropiada asignación de medios (personal, radares, aeronaves interceptoras, centros de control, etc.) a fin de alcanzar un adecuado nivel de entrenamiento para una eficaz toma de decisiones, en oportunidad de situaciones reales de trabajo.

Generalmente los distintos medios que participan en el área de operaciones se encuentran distribuidos geográficamente, por lo que se requiere normalmente la movilización de éstos durante las ejercitaciones lo que implica esfuerzos en materia de personal como así también de orden económico en lo que respecta al traslado, adecuación y puesta en funcionamiento de los sistemas participantes que conforman la situación de base para el adiestramiento integral y específicamente el adiestramiento de los jefes e integrantes del Centro de Información y Control responsables en la toma de decisiones.

Con relación a lo expuesto, se ha considerado conveniente disponer de un sistema experto aplicado al entrenamiento y asistencia a la toma de decisiones para la interceptación de aeronaves que comprometen la seguridad de centros urbanos, centros de poder de la Nación, como así también aquellas aeronaves que realicen vuelos ilícitos o comprometan la seguridad aérea.

En la sección II se describe brevemente en primer lugar un Centro de Información y Control (CIC) genérico. Luego se describen cada uno de sus componentes más significativos representados por estaciones de interceptación, estaciones de vigilancia, red de observadores del aire y finalmente las tareas más importantes que se realizan como son detección, identificación, e interceptación de aeronaves. Del CIC se distinguen genéricamente las diferencias más significativas para los procesos manuales y automatizados. Finalmente se identifican los aportes del trabajo en materia de asistencia a la toma de decisiones y entrenamiento en lo relativo a Vigilancia y Control del Espacio Aéreo.

En la sección III visto el problema planteado en la sección anterior se presenta la solución propuesta para asistir a la toma de decisiones y entrenamiento en lo relativo a Vigilancia y Control del Espacio Aéreo, orientado específicamente a la problemática del CIC en lo relativo a la interceptación de aeronaves.

En el sección IV se presenta una descripción general de la solución al problema planteado. En primer lugar se presenta brevemente la conceptualización realizada a fin de obtener una representación de los conocimientos del experto en CIC, posteriormente se formaliza la solución bajo una representación semicomputable y finalmente se detalla con ejemplos la implementación del Sistema Experto.

En la sección V se detalla un caso significativo correspondiente a una situación tipo en un CIC a fin de verificar la solución propuesta.

Finalmente en la sección VI se presentan las Conclusiones Finales y Futuras Líneas de Investigación .

2 Sistema de Vigilancia y Control del Espacio Aéreo.

Para una precisa y continua información sobre la Situacion de Movimiento Aéreo que posibilite el control y la dirección de las interceptaciones aéreas. el sistema requiere principalmente la operación de los Centros de Información y Control (CIC),Estaciones de Interceptación (EI),Estaciones de Vigilancia(EV).

2.1Centro de Información y Control (CIC):

El CIC tiene la responsabilidad del comando y control de los medios de detección e interceptación destinados a la vigilancia y control aéreo del área de operaciones. Este procesa toda la información sobre el movimiento aéreo en su área de responsabilidad, ejecutando las tareas de detección, identificación, e interceptación. El CIC constituye el medio por el cual los Jefes de zonas o sectores de operación mantienen un continuo control operativo de su poder aéreo; supervisando y coordinando el empleo de las aeronaves interceptoras.

2.2 Estación de Interceptación:

La Estación de Interceptación (EI), es aquella que dispone de un sensor activo (RADAR), con capacidad para medir altura, es decir, con un RADAR 3-D (radial, distancia, altura).Desde ella, se puede ejecutar en forma descentralizada la tarea de control (interceptación). Esto, siempre y cuando no exista capacidad de realizar el control centralizado desde el CIC del cual dependen las estaciones de interceptación. El número de estas estaciones es variable, y depende fundamentalmente del requerimiento de cobertura total del espacio aéreo que se exija en el área de operaciones.

2.3 Estación de Vigilancia.

La estación de vigilancia tiene por función complementar el cubrimiento radar de las estaciones de interceptación y extender la detección a distancias que permitan asegurar un suficiente tiempo de reacción de los propios medios de defensa. Estas estaciones se conforman normalmente con radares que sólo brindan información en dos dimensiones (radial y distancia), radares 2-D.

2.4 Explotación de la información

En todo sistema de Vigilancia y Control del Espacio Aéreo la explotación eficiente de los equipos de radar y de comunicaciones es determinante y la rapidez y certeza con que se efectúan las tareas es esencial. Existen distintos tipos de procedimientos para el tratamiento de la información, manuales que basan su funcionamiento en la actividad de diferentes operadores humanos, semiautomáticos son aquellos en que el operador humano realiza alguna de las tareas del procedimiento mediante la utilización y la asistencia de computadoras en tanto que otras las sigue haciendo en forma manual, automatizados donde la totalidad de las tareas del sistema de Vigilancia y Control Aéreo son realizadas a través de un sistema controlado por computadoras; quedando en manos del Jefe de Zona o de Sector, o aquel en quien se delegue la correspondiente autoridad sobre la decisión final en el caso de la interceptación. Los procedimientos (automatizados), son apoyados por sistemas que reciben el nombre de soporte de decisión y en una forma más común en el medio militar conocidos como sistemas de Comando, Control, Comunicaciones e Inteligencia (C3I).

Independiente del tipo de procedimiento, el CIC debe responder al cumplimiento de Las tareas de Vigilancia y Control que son: Detección. Identificación e Interceptación (Control).Por medio de la automatización se logra: Reducir drásticamente el tiempo de respuesta, mejorando el Ciclo de Reacción (CR),Reducir la probabilidad del error humano y Facilitar la toma de decisión. Si bien con los niveles de automatización actualmente en uso en los Centros de Información y Control se alcanzan facilidades en el proceso de representación de la situación aérea presente y la explotación

de la información a través de funciones para la evaluación de los parámetros que representa a cada aeronave lo que permiten que el sistema incorpore procedimientos automatizados que fundamentalmente asisten a los operadores; ya que se orientan en forma procedural especialmente a asegura la representación de información gráfica relativa al movimiento aéreo acompañada de sus parámetros(velocidad, altura, ,código identificación, actitud, etc) y tabular referente a la situación general aeródromos, meteorología, material aéreo interceptor, radares). Los actuales sistemas no incorporan el conocimiento de los expertos en el área de CIC relativo al proceso de toma de decisiones.

3 Descripción del Problema.

La interceptación de aeronaves representa un problema significativo a nivel Mundial, Regional e Interno para cada País [Perucchi, H.A 1990].La comunidad internacional trata esta problemática en Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) organismo de la Organización de las Naciones Unidas, con el objetivo fundamental de dar recomendaciones a los países miembros a fin de preservar la vida humana, evitando derribos de aeronaves innecesarios.[Doc 9433-AN/926 1990]. Regionalmente se presenta a través del accionar de vuelos ilícitos en las áreas fronterizas de los países de la región. En el marco interno de cada país, el accionar de las aeronaves que sobrevuela el espacio aéreo territorial puede comprometer la seguridad del Estado Nación, causando daños a la población civil, centros en energéticos, industriales, etc. Frente a la problemática planteada los centros de información y control aéreo llevan adelante la tarea de la vigilancia y control del espacio aéreo, siendo estos centros los responsables de la toma de decisiones relativa a la interceptación de aeronaves. En el contexto planteado representa una continua preocupación contribuir a la mejorar el Ciclo de Reacción (CR) del Centro de Información y Control Aéreo, frente a la presencia de vuelos que potencialmente deben ser interceptados. La Figura N° 1 muestra el Ciclo de Reacción del CIC conformado por la evaluación de la situación de movimiento aéreo, situación general, situación de interceptación, para determinar la acción a seguir ante la aeronave evaluada.

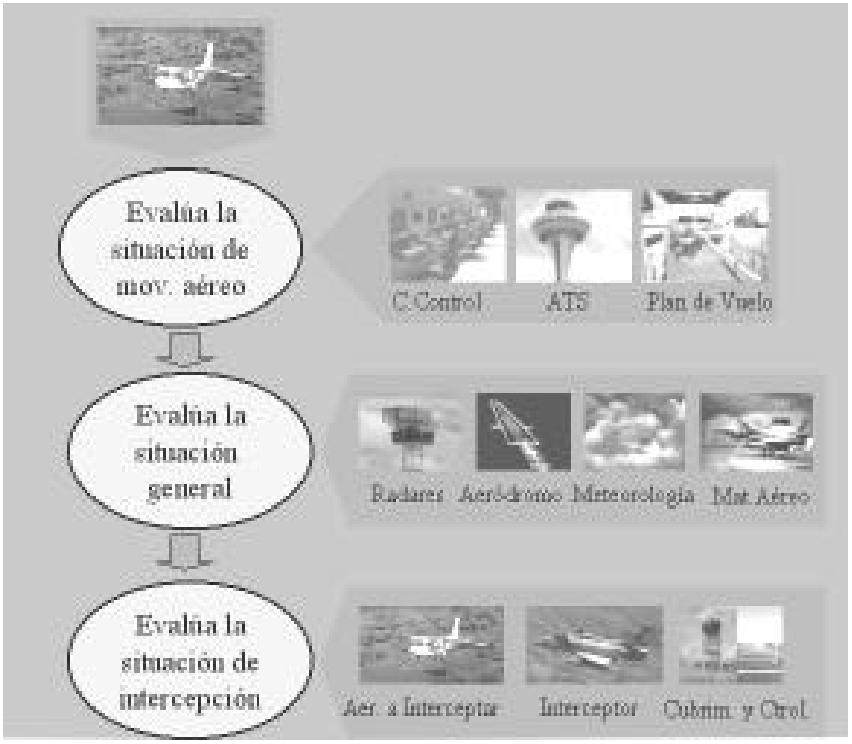


Figura Nº 1 Ciclo de Reacción C.I.C

También en este contexto es una continua preocupación contribuir a la mejora del adiestramiento del personal para una eficaz toma de decisiones en oportunidad de situaciones reales de trabajo. El sistema requiere para su explotación, de personal entrenado en la toma de decisiones en el ámbito de las operaciones que se presentan frente a aeronaves no identificadas, las que potencialmente pueden ser vuelos ilícitos y deberán ser interceptas considerando las restricciones que pudieran existir con relación al estado de disponibilidad de los medios aéreos, meteorología, sistemas de apoyo a la operación (radares, radio-ayudas a la navegación y aterrizaje, entre otros).
Para asegurar un entrenamiento integral del personal, que facilite las condiciones en que se provocan las distintas situaciones que involucran la toma de decisiones en el centro de información y control, se requiere poner en práctica el despliegue de los distintos medios que integran el sistema, es decir la movilización de unidades aéreas y de vigilancia al área de operaciones lo que implica un esfuerzo en materia de personal y en el orden económico.
Las tecnologías de sistemas de simulación de las últimas décadas, dedicados al entrenamiento, no contemplan las capacidades de interoperar entre los distintos sistemas de simulación que entrenan al personal que opera los diferentes sistemas (aeronaves interceptoras, radares, etc.) y mucho menos las posibilidades de interactuar remotamente capacidades de simulación (por ejemplo: radares) con sistemas reales (por ejemplo: aeronave en vuelo), bajo un entorno constructivo que impondrá las condiciones meteorológicas y orográficas a los sistemas participantes.
La necesidad de asegurar un entrenamiento bajo un entorno integral (en conjunción con los distintos sistemas participantes) para el personal que actúa en los Centros de Información y Control, tiene como propósito final contribuir en:

- Una adecuada capacidad de reacción del personal que tomará decisiones ante la presencia de vuelos no identificados y situaciones de vuelos que amenacen la seguridad.
- La explotación integral de la información del espacio aéreo bajo su control.
- La simulación de situaciones poco frecuentes que puedan generar condiciones críticas de operación.

4 Solución Propuesta.

Se propone como solución para contribuir a mejorar el Ciclo de Reacción, el empleo de un Sistema Experto en el CIC para la asistencia a la toma de decisiones y para el entrenamiento del personal, desarrollando un el kernel del Sistema Experto (SE) considerando ambas aplicaciones. Se efectúo un análisis de viabilidad a fin de asegurar la conveniencia de resolver el problema a través del empleo de un SE, con resultados satisfactorios. La tecnología de SE debe considerarse únicamente si el desarrollo de este es posible, esta justificado, es apropiado y si va a tener éxito en su construcción [Pazos J 1997]. Se representa genéricamente la solución propuesta a través de la Figura N° 2 para el empleo del Sistema Experto en asistencia a la toma de decisiones en un CIC.

Figura Nº 2 Sistema Experto en Asistencia a la toma de decisiones

Se observa que el diagnóstico del SE, se realiza en función de los diagnósticos obtenidos a partir de las evaluaciones de la Situación de Movimiento aéreo, Situación General y Situación de Interceptación. Se representa a través de la Figura N° 3 genéricamente la solución propuesta para el empleo del Sistema Experto en el entrenamiento del personal de un CIC .

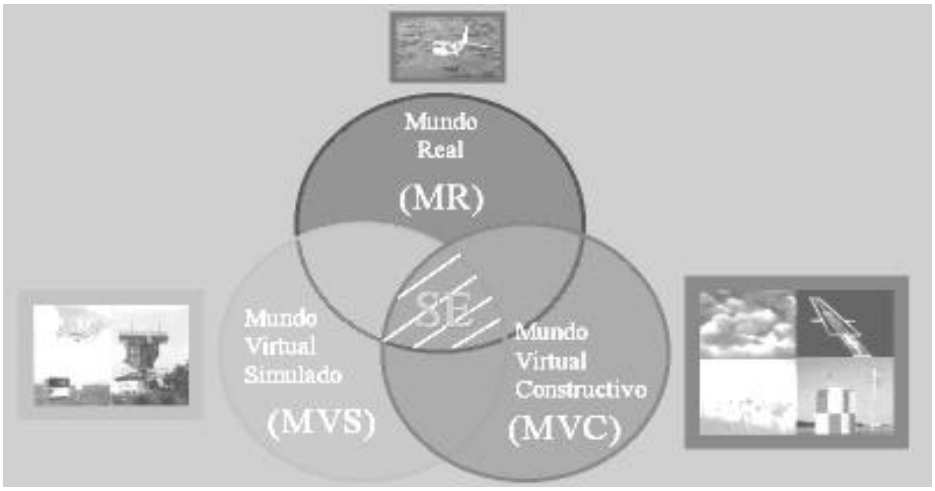


Figura Nª 3 Sistema Experto en el Entrenamiento del Personal de un CIC

Se observa que el diagnostico del SE, se basa en la interacción de los hechos provenientes de Mundos Reales, Virtuales Simulados, Virtuales Constructivos los que proveen la información necesaria para la obtención de los diagnósticos de situación de movimiento aéreo, situación general y situación de interceptación que conformaran el diagnóstico final del CIC relativo a la interceptación de la aeronave. El SE asistirá al entrenamiento de los responsables en la toma de decisión en un Centro de Información y Control considerando las restricciones que pudieran existir con relación al estado de disponibilidad de los medios de detección, interceptación, meteorología, etc. Independientemente el sistema podrá utilizarse para la asistencia a la toma de decisiones en el CIC. El Sistema podrá actuar indistintamente con eventos al mismo tiempo de un área de operaciones virtual, como también podrá actuar con eventos provenientes de sistemas del mundo real, en él convivirán ambos mundos, independientemente de las distancias geográficas de las unidades de origen o emplazamiento de los sistemas que actúen como fuentes externas de eventos.

Conceptualmente los eventos independientemente pueden provenir del Mundo Real (MR) por ejemplo aeronaves en vuelo, del Mundo Virtual de Sistemas (MVS) por ejemplo radares, Mundos Virtuales Constructivos (MVC) por ejemplo la meteorología, orografía, instalaciones de aeródromos, etc. [Holley C.D. 1993 : TRW] Esta apreciación conceptual se formula a fin de brindar un marco de crecimiento futuro para la aplicación del sistema que asegure la interoperatividad del mismo. El MVC por ejemplo puede limitar a través de la orografía las capacidades de cubrimiento de los sensores de radar pertenecientes al MVS o bien otra situación como las generadas por la meteorología pueden limitar la operación de determinados aeródromos propios del MVC. Los eventos de MR que en un determinado instante entran en juego pueden ser restringidos por las capacidades de los sistemas del MVS en lo que respecta a su acción como participantes de una situación, a modo de ejemplo una o más aeronaves en vuelo pueden o no ser detectadas por los sistemas del MVS constituido en este caso por sensores radar, los que se encuentran limitados en su cubrimiento por la orografía del MVC correspondiente al área de operación destinada a la ejercitación. El SE cubre el área específica correspondiente a la toma de decisiones relativas a la interceptación de aeronaves, facilitando el entrenamiento del personal afectado en un centro de información y control, independientemente, el mencionado Sistema Experto puede emplearse como sistema de asistencia a la toma de decisión en operaciones del CIC, si se incorporan las interfaces con los sistemas reales que brinden la información en tiempo real de la situación. El presente trabajo aporta los resultado de utilizar una metodología del área de Ingeniería en Conocimiento denominada I.D.E.A.L (acrónimo de las fases que la conforman: Identificación de la tarea, Desarrollo del prototipo, Ejecución de la construcción del sistema integrado, Actuación para conseguir el mantenimiento perfectivo, Lograr una adecuada transferencia tecnológica,según detalla Gomez A y otros [Gomez A *et al.,1997*]) que pretende ajustarse a las tendencias relacionadas con el software del futuro, presentadas por Blum, en lo concerniente a reutilización, intergración, requisitos abiertos y diversidad de modelos computacionales [Blum, B.I 1996].

4 Conceptualización.

Durante la conceptualización se determinanaron tres tipos de conocimientos a saber, los Estratégicos que especifican qué hacer, dónde y porqué hacerlo, es decir estos conocimientos fijan la secuencia de pasos que el SE deberá seguir para ejecutar su tarea, los conocimientos Tácticos de Acción u Operativos, que especifican cómo y cuándo el SE puede añadir a sus conocimientos genéricos información actual acerca del caso y los conocimientos Fácticos o Declarativos, que especifican lo que es, o se cree que es verdad acerca del mundo en general y acerca del caso particular para el cual se está ejecutando la tarea. Se realizo como primer paso la identificación de los conceptos y se registran sus atributos y valores asociados, se trabaja con conocimientos fácticos especialmente los que se describen a través de la confección de:

- Un Glosario de términos en el que se detallan el significado de los términos que usa el experto en la resolución de su tarea.
- Un Diccionario de Conceptos donde se identifican en los conceptos funcionales de mayor nivel, detallando su utilidad, sinónimos, acrónimos, los atributos que lo definen y la derivación de los datos.

- Una Tabla de Conceptos-Atributos-Valores. En la que se registran los atributos propios de cada concepto que es requerido para el modelo de la tarea del experto, detallando para cada atributo el valor o valores correspondientes.

El segundo paso para la conceptualización consistió en identificar las relaciones entre conceptos. Se trabajo con conocimientos fácticos, se representa el modelo mental que el experto tiene del aspecto estático del problema, realizando el modelo entidad relación. El modelo se muestra en la Figura 4. Modelo Entidad Relación. Una vez identificados los conceptos, atributos y sus relaciones, se realizo el tercer paso de la conceptualización el que comprende la identificación de las funciones del proceso de resolución del experto, los que se encuadran dentro de los conocimientos del tipo estratégico. La Figura 5 muestra los pasos modulares y el flujo de control de la tarea del experto a través de una gráfica en forma de árbol (árbol de descomposición funcional). La descripción de cada modulo considera su propósito, entradas y su origen, razonamiento del experto, salida y destino de la salida. Se describieron los módulos de acuerdo al siguiente detalle en función de la propuesta de Gómez [Gómez A y otros 1997]: Pasos de alto nivel que se corresponde con el primer

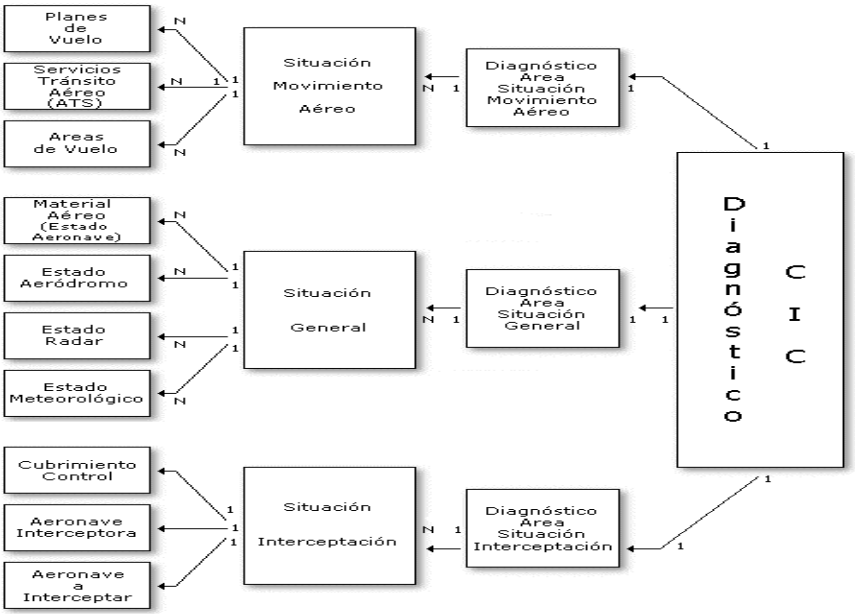


Figura 4 Modelo Entidad Relación

y segundo nivel del árbol de descomposición funcional del problema, Subpasos de la tarea que se corresponde con el tercer nivel del árbol de descomposición funcional del problema y Subpasos de bajo nivel que comprende el cuarto nivel del árbol de descomposición funcional .

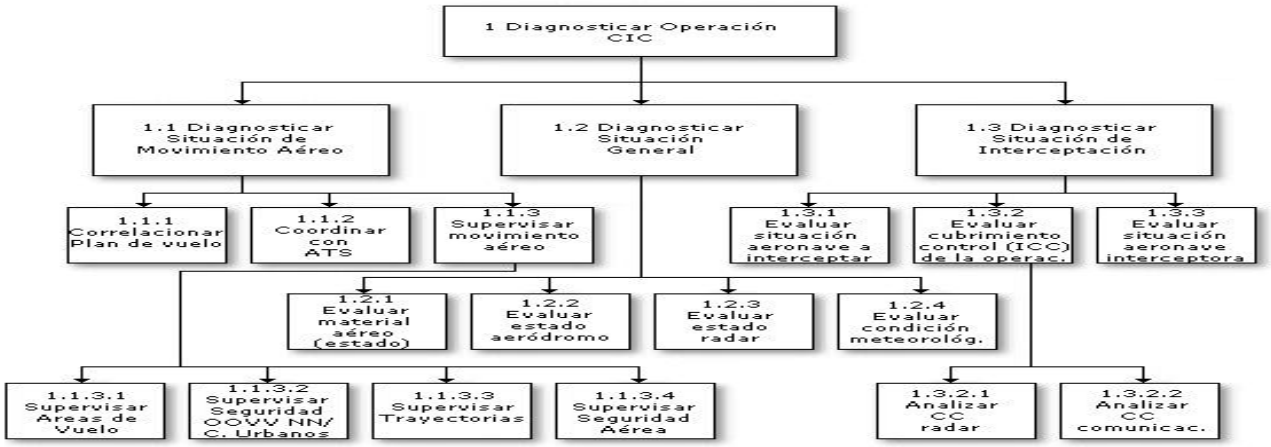


Figura 5 Arbol de Descomposición Funcional

En el paso siguiente se estudiaron básicamente las inferencias y las incertidumbres que componen los conocimientos tácticos en la creación de un modelo conceptual. Los conocimientos tácticos del experto especifican como el sistema experto puede usar hechos conocidos y las hipótesis acerca del caso, para obtener nuevos hechos o hipótesis tanto en situaciones deterministas como en condiciones de incertidumbre. finalmente este análisis a producido una definición detallada de cada paso de razonamiento (identificado en el razonamiento estratégico) que deberá ejecutar el Sistema Experto. La representación de Conocimiento Tácticos se realizó a través del empleo de Seudorreglas.El conocimiento se represento contemplando el modelo de hoja de reglas según la propuesta de Gómez [Gómez, A y otros 1997], El empleo de las hojas de reglas se realizó considerando:

1) Las palabras del Experto: En función de los conocimientos adquiridos, identificando las reglas bajo el formato **Si** " C1,C2,...Cn" **Entonces** " A1, A2,...An". en un formato claro para el experto.

2) Formulación externa de la regla: Partiendo de la identificación de las reglas del experto se formalizan las reglas considerando la categorización de conceptos realizada en el primer paso del proceso de conceptualización.

3) Nombre de la regla: Es un nombre que identifica a cada una de las reglas en la herramienta empleada para la implementación. Se han agrupado las seudorreglas en función de las siguientes áreas definidas por el experto: Diagnóstico CIC, Situación de Movimiento Aéreo, Situación General, Situación de interceptación. Se detalla a modo de ejemplo partes de las reglas educidas del experto correspondientes a una potencial situación en la que una o mas aeronaves identificadas o no se desplazan hacia un Objetivo Vital de la Nación (Centrales Nucleares ,Usinas, Represas ,etc) o hacia Centros Urbanos altamente poblados, las que pueden causar daños de magnitud a la población civil en general.

Estado de La regla	Texto de la regla
Palabra del experto	Si de la situación determinada del ploteo resulta que éste compromete la seguridad OOVVNN/C urbanos, Se recomienda la interceptación del mismo.
Formulación externa de la regla	Si Situación ploteo Diagnóstico área situación movimiento aéreo= Compromete seguridad OOVVNN/C urbanos Entonces Declaración interceptación. Diagnóstico área situación movimiento aéreo = Interceptación necesaria.
Nombre de la regla	RSMA 1.1.B.1

4 Formalización.

se realizo una representación para crear modelos formales que brinden una representación semi-interna o semi-computable de los conocimientos y conducta del experto que puedan ser utilizadas por una computadora. Se seleccionan los formalismos a utilizar en esta fase, presentándose los conocimientos formalizados sobre los cuales se aplicaran en la herramienta de desarrollo seleccionada. Considerando los formalismos de representación empleados en la fase de conceptualización y el empleo posterior de la herramienta de desarrollo Kappa-PC, se seleccionaron los formalismos correspondientes a reglas de producción para las seudorreglas ya que su estructura es la misma , marcos para la tabla concepto-atributo-valor y procedimiento para los procesos a realizar.

El formalismo de Marcos es una de las técnicas más empleadas cuando el conocimiento del dominio está organizado en base a conceptos. Minsky [Minsky,1975]. A través de formalismos de marcos se representaron los conceptos y sus atributos determinados en la fase conceptualización, los conceptos de la tabla Concepto- Atributo- Valor se formalizaron en Marcos clase, donde los atributos del concepto representan las propiedades del Marco [Gomez A 1996: Unidad 26]. Los valores de cada atributo correspondiente a las propiedades del Marco se detallaron a través de las facetas que expresan de múltiples formas los valores con los que se puede rellenar cada propiedad.

Los Marcos agregan una tercera dimensión al permitir que los nodos tengan estructuras que pueden ser valores simples u otros marcos [Guiarretano J, Riley G, 2001]. Los Marcos Clase y sus correspondientes instancias representados en el presente trabajo son: Diagnóstico CIC (DIAGCIC), Diagnóstico Area Situación de movimiento aéreo (DIASMA), Diagnóstico área Situación General (DIASG), Diagnóstico área Situación Interceptación (DIASI), Situación de movimiento aéreo (SMA), Situación General (SG), Situación Interceptación (SI), Plan de Vuelo (PV), Servicio de Tránsito aéreo (ATS), Area de vuelo Prohibida/Restringida (AR/AP), Estado Radar (ER), Material Aéreo (MA), Estado Aeródromo (EA), Estado Meteorológico (EM), Aeronave Interceptora (AI), Aeronave a Interceptar (A a I), Cubrimiento Control (CC),el Marco Diagnostico CIC, considera cada una de las facetas descriptas anteriormente. La capacidad de tratar instancias originadas en el Mundo Real (MR), en el Mudo Virtual Constructivo (MVC) y en el Mundo Virtual Simulado (MVS) simultáneamente en un entorno interoperable por parte del Sistema Experto, se considera al incorporar la propiedad mundo, la que es del tipo objeto, éste contiene la información correspondiente a fuente (MR,MVS,MVC) y origen. Esta incorporación se realiza en tiempos de formalización ya que aborda la problemática propia de la representación semicomputable del sistema, considerando en este caso el tipo de fuentes generadoras de instancias correspondientes a distintos mundos. A modo de ejemplo se muestra las instancias para los marcos clase correspondiente al área de Situación General representadas en las Figura Nº 6, la que extienden la representación general del sistema formalizado en marcos. Los marcos clase instanciados son: Estado Radar, Material Aéreo, Estado Aeródromo, Estado Meteorológico , con sus correspondientes instancias representativas de Mundo Virtual Simulado, Constructuivo y Mundo Real, sobre las cuales se soportar el concepto de Simulación Interopreable

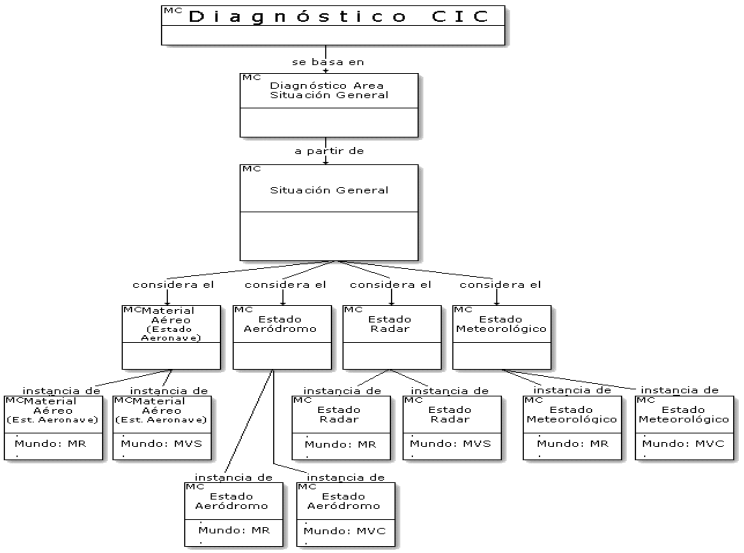


Figura Nº 6 Marcos área de Situación General

La arquitectura de un Sistema Experto se conforma por tres componentes. Estos son: la Base de Hechos (BH), la Base de Reglas (BR) y la Estrategia de Control. La Base de Hechos y la Base de Reglas forman la Base de Conocimientos (BC) del Sistema. La Base de Hechos del sistema está representada por un conjunto de datos y hechos que reflejan la situación que percibe el CIC frente a la situación presente en el espacio aéreo de su responsabilidad. Básicamente los hechos se corresponde con la Situaciones de Movimiento Aéreo, Situación General y Situación de Interceptación. La Base de Hechos presenta tres estados, éstos son :

Estado inicial: Representa la situación origen del problema representada por la Situación de Movimiento Aéreo presente (la que correlaciona planes de vuelo, coordina con los servicios de tránsito aéreo y supervisa las áreas de vuelo), la Situación General (que se basa en el estado de material aéreo, el estado de aeródromo, el estado meteorológico y el estado de radar), la Situación de Interceptación (la que se conforma a partir de aeronave interceptora, la aeronave a interceptar y el cubrimiento control brindado por los sistemas de detección radar y comunicaciones).

Estado Meta: Representado por la situación objetivo, se logra cuando el sistema alcanza el diagnóstico relativo a la operación de interceptación.

Estado Intermedio entre el Estado Inicial y Meta: El sistema se basa en la resolución de submetas antes de alcanzar la meta final, este estado se manifiesta a través del Diagnóstico del Área de Situación de Movimiento Area, el Diagnóstico del Área de Situación General, el Diagnóstico del área de Interceptación.

La estrategia de control actúa como mecanismo que examina en cada ciclo de funcionamiento los datos y hechos de la base de hecho y determina la regla que se dispara, la ejecución de reglas modifica la Base de Hechos.

Los conocimientos se representan en el sistema por un conjunto de producciones o reglas que conforman la Base de Reglas. El lado izquierdo de la regla, denominado condición o antecedente representa una lista de cosas a verificar en la BH y el lado derecho o consecuente representa un conjunto de acciones a realizar sobre la BH, siempre que todos los antecedentes sean ciertos

El conocimiento que informa para alcanzar rapidamente un estado objetivo, se denomina conocimiento de control de búsqueda [Rick E, Knight K; 1994]

Los conocimientos correspondientes al control que surgen de los conocimientos estratégicos basados en la descripción del árbol de descomposición funcional se formalizaron en Marcos, a través de un Marco clase global el que soporta la reglas que se deben aplicar en forma independiente para cada objetivo del sistema, este filtrado facilita que el motor de inferencia realice su trabajo barriendo únicamente la ramas o ramas especificas que se corresponden con el objetivo a determinar. Para tal fin se declara un slot en clase global, el cual se considera multivaluado y de tipo texto, se le declaran como valores los correspondientes a los nombres de las reglas especificas en relación al objetivo a determinar. Las reglas que se han identificado para la resolución del problema se han descripto durante la fase de conceptualización, considerando la semejanza de estas con las reglas de producción, se desarrollaron en un solo paso la formalización de estas a través de la implementación directamente en el ambiente de la herramienta de desarrollo, a modo de ejemplo se muestra a continuación la regla presentada en el punto anterior conceptualización correspondientes a una potencial situación en la que se compromete a un Objetivo Vital de la Nación o Centro Urbano altamente poblado, pudiendo causar daños de magnitud a la población civil en general.

```
If DiaSMA:SituacionPloteo #= "Compromete Seguridad  OOVVNN/CUrbano";

Then SetValue( DiaSMA:DeclaracionInterceptacion,"Interceptacion Necesaria" );
```

El Motor de Inferencia (MI) o Estructura de Control (EC), examina en cada ciclo de funcionamiento la Base de Hechos y decide qué regla ejecutar, la EC selecciona alguna regla de la BR que satisfaga la BH presente, mientras que los hechos de la BH no satisfagan una condición de terminación o se ejecute una regla de parada El MI actúa en forma independiente de la tarea o dominio en que se resuelve el problema.

4. Implementación.

La herramienta empleada fue desarrollada por Intellicorp Inc, basada en el entorno KEE (Knowledge Engineering Environment), esta herramienta facilita la implementación de sistemas que hayan sido formalizados en base a Marcos. Kappa-PC brinda un entorno de desarrollo que facilita el prototipado rápido, obteniendo aplicaciones que pueden ser reutilizadas cuando se incrementan los conocimientos y así lograr un desarrollo basado en prototipado incremental, lo que resulta consistente con el desarrollo propuesto en la Metodología I.D.E.A.L . Para la implementación del Sistema Experto se realizaron básicamente los siguientes pasos:

- Declaración de la base de conocimientos formalizada en Marcos a través del empleo de Kappa, aplicando para representar los Marcos, objetos clase y para representar los marcos instancia se han utilizados instancias de objetos.
- Se declararon los objetos clase correspondientes a las áreas de situación de movimiento aéreo, situación general, situación de interceptación. Una vez declarados los Marcos se prosiguió con la definición de las propiedades de clase de los diferentes marcos, utilizando los slots que se pueden definir en cada objeto, para cada slot se define cardinalidad, valor tipo valor permitido, monitores, herencia.
- Se efectuó la incorporación de reglas para cada una de las áreas incluyendo las correspondientes reglas de diagnóstico por área, además de incorporaron las reglas del Diagnóstico del CIC que actúan en función del resultado de los diagnósticos individuales por cada área.

- El Sistema se corresponde con la estructura de razonamiento de encadenamiento hacia atrás. Los objetivos correspondientes por orden de prioridad son: Diagnóstico Área Situación de Movimiento Aéreo, Diagnóstico Área Situación General, Diagnóstico Área Situación Interceptación, Diagnóstico CIC.
- Se desarrollaron las pantallas gráficas correspondientes a menúes de ingreso y selección de información por parte del usuario (a partir de las facilidades de la herramienta) correspondiente a situación de movimiento aéreo, información de meteorología, estado de aeródromo, material aéreo, estado radar, aeronave a interceptar, aeronave interceptora ,entre otros.
- Se desarrollaron las pantallas correspondientes a los diagnósticos del sistema experto correspondientes a las áreas de situación de movimiento aéreo, situación general, situación de interceptación y la pantalla correspondiente al diagnóstico del CIC.
- Se adecuaron conforme a las sugerencias del usuario las interfaces de presentación de resultados, como así también las pantallas correspondientes a ingresos de información.
- Se realizó una sesión de pruebas con el experto a fin de evaluar las Interfaces de usuario y una evaluación exhaustiva del sistema propiamente en lo que corresponde a su base de reglas, resultando satisfactoria la prestación brindada por el sistema experto. La implementación del modelo formalizado de conocimientos estratégicos que permiten optimizar el espacio de búsqueda, en función del árbol con los siguientes puntos:

  - Identificación del modulo en el árbol de descomposición funcional (ej: Módulo Diagnosticar Situación Movimiento Aéreo).
  - Nivel (alto nivel, subpasos de la tarea, subpasos de bajo nivel).
  - Reglas Filtradas (identificación de las reglas que intervienen).
  - Objetivo declarado (identificación del objetivo (implemetado en Kappa PC) que se corresponde con el modulo del árbol de descomposición funcional.
  - Marco Clase:Slot de Reglas Filtradas (slot multivaluado que contiene el nombre de cada regla que interviene en el atributo a inferir que representa el objetivo)
  - Función (identifica la función que resuelve el objetivo y el método de búsqueda).

Se presenta a continuación a modo de ejemplo la implementación correspondiente al Módulo 1.2 "Diagnosticar Situación General ", del árbol de descomposición funcional. El Módulo 1.2 es de alto nivel, en primer lugar se detalla en Kappa-pc la declaración del objetivo denominado GoalSG:

```
{
KnownValue?( DiaSG:SituacionOperacion );
KnownValue?( DiaSG:FactibilidadOperacion );
};
```

El diagnóstico de la Situación General es soportado por el Marco Clase DiaSG, el cual contiene los slot a inferir correspondientes a Situación de operación y la Factibilidad de la operación.

En segundo lugar se crea un el slot de cardinalidad múltiple del tipo texto en la Clase Global denominado ReglasSG el que contendrá la información de las reglas filtradas correspondientes al objetivo en cuestión correspondiente al Módulo 1.2 el que requiere que se diagnostique la Situación de Operación y la Factibilidad de la Operación.

En tercer lugar se declara la función de resolución del objetivo denominada SolveSG, la que invoca el método de búsqueda en este caso BackwardChain el que se aplica al objetivo GoalSG y emplea para su resolución un espacio de búsqueda filtrado determinado por las reglas que contiene el slot ReglasSG del marco clase Golbal.

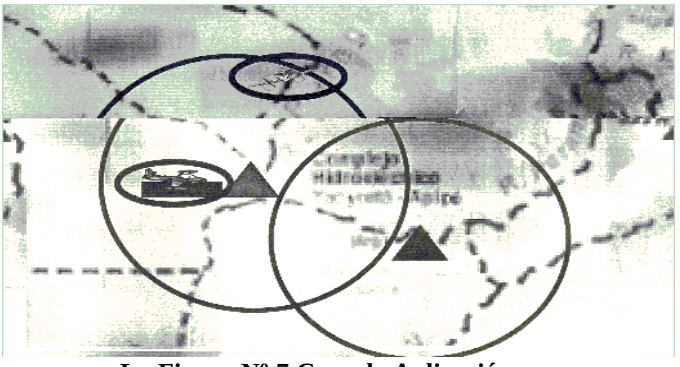
```
{
PostMessage( "Inicio de función Solve SG!" );
SetExplainMode( ON );
BackwardChain( GoalSG, Global:ReglasSG );
};
```

5 Desarrollo de un caso significativo y su evaluación..

Se presentan conforme a las sugerencias del usuario las interfases de presentación de resultados, como así también las pantallas correspondientes a ingresos de información. del sistema a través del desarrollo de un caso de ejemplo el que a su vez muestra la estructura de comprobación realizada para evaluar el comportamiento del sistema.

5.1 Presentación del caso de aplicación.

Se trata de una operación de identificación visual a través de interceptación de una aeronave no identificada que sobrevuela el área fronteriza Noreste del país. La Situación de Movimiento Aéreo presenta, una aeronave bajo el ploteo N° 002, que se encuentra en el Radial: 030°,Distancia: 65 Millas Náuticas, Derrota 150°, Velocidad 100 Nudos, Nivel de Vuelo FL 90 (9000 pies),sin código de Transponder que la identifique, conserva vuelo recto hacia la frontera. La Situación de General presente para el aeródromo de operación es de 1000 pies de Techo, Visibilidad 5 km, Radio ayudas ILS-VOR-DME, Radar en servicio, Aeronave interceptora en alerta a 3 minutos, condición de operación en el área de interceptación Diurna, Visibilidad Ilimitada. Se determina para la Situación de Interceptación que el cubrimiento control radar y comunicaciones es adecuado para la operación, que la ejecución de interceptación es posible en oportunidad, como así también realizar la ejecución de las fases correspondientes a la operación de interceptación. La Figura N°7 ilustra genéricamente la situación aérea descripta anteriormente, se puede observar la aeronave interceptora destacada en su aeródromo de operación, el cubrimiento radar del área y la presencia de una aeronave no identificada ingresado por el Norte.



La Figura Nº 7 Caso de Aplicación

La Figura Nº 8 muestra la interfaz de usuario de SMA que facilita la selección de las opciones

Figura Nº 8 Interfaz de usuario SMA

Para el ingreso de información para cada uno de lo los atributos. la Figura Nº 9 presenta el Sub-

Figura Nº 9 Sub Diagnostico área Situación de Movimiento Aéreo SMA

Diagnostico correspondiente al área situación de movimiento aéreo SMA del caso presentado .

6 Conclusiones Finales y Futuras Líneas de Investigación

6.1 Conclusiones del Trabajo

El presente trabajo constituye un aporte original en el domino de Sistemas de Control del Espacio Aéreo, para ello:

- Propone un modelo capaz de responder a la problemática de asistencia a la toma de decisiones en situaciones críticas en el CIC.
- Sistematiza y documenta con metodología de Sistemas Expertos el conocimiento requerido en un CIC.

- Determina las bases para la actuación de un Sistema Experto en ambientes de entrenamiento y asistencia a la toma de decisiones en un Centro de Información y Control Aéreo.
- Contribuye al entrenamiento de personal responsable del control, convirtiéndose en una potencial herramienta que permite evaluar las decisiones tomadas frente a una situación tipo.
- Aplica para el área de Ingeniería en Conocimiento un marco metodológico a través de la metodología IDEAL, asegurando el desarrollo y posterior crecimiento del Sistema Experto.

6.2 Líneas de Investigación y Desarrollo.

De la experiencia adquirida durante la realización del presente trabajo, surgen las siguientes propuestas:

- Adecuar dentro de las actuales normas y procedimientos de uso en ambientes de CIC los pasos que permitan rescatar nuevas y mejores heurísticas en el área de dominio del sistema.
- Construir modelos para el tratamiento de incertidumbres en el a fin de considerar factores de certeza en las reglas correspondientes a la Situación de Movimiento Aéreo y especialmente aquellas que se incorporen a futuro en relación a la Aeronave a Interceptar, ya que las variables correspondientes al ploteo no representan íntegramente las intenciones de la aeronave a futuro.
- Ampliar la capacidades del sistema con nuevas reglas y heurísticas correspondientes a las fases de pos-identificacion y recuperación de la aeronave.
- Ampliar las capacidades del sistema con nuevas reglas y heurísticas para el tratamiento de planes de vuelo y servicio de tránsito aéreo.
- Investigar la aplicación de tecnología borrosa en el domino de la aplicación.
- Investigar el posible empleo de arquitectura de Multiagentes Inteligentes a fin de asegurar la interoperatividad de los distintos actores presentes que conviven en Mundos Virtuales y Reales, para conformar un dominio de entrenamiento integral para el personal del CIC como así también para el personal de pilotos de aeronaves interceptoras, controladores radar ,entre otros, que se integran al sistema a través de sus medios de operación o de sus simuladores. Investigar el posible empleo de Sistemas Inteligentes Autónomos para el reporte automático de situaciones generadas en el Espacio Aéreo correspondientes a potenciales incidentes aéreos.

7 Referencias Bibliográficas.

Blum, B.I.1996 Beyond Programing. Oxford University Press. New York, EE.UU.

Doc 9433-AN/926.1990 Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) Manual sobre interceptación de Aeronaves Civiles.

Holley C.D. 1993: TRW "Simulator Interoperability", Journal of Air Traffic Control

Giarrataro J , Riley G 2001 Sistemas Expertos Principios y Programación. International Thomson Editores.

Gómez A. 1996: Unidad 26 Formalización .Material de magíster en Ingeniería de Software, convenio FIM-ITBA Buenos Aires Argentina.

Gómez A *et al*.,1997 Gómez, A., Juristo N., Montes C., Pazos J. " Ingeniería del Conocimiento". Editorial Centros de Estudios Ramón Areces. 1997
Kappa- PC, 1992 Kappa PC Quick Start, Intellicorp ,inc.
MinsKy M, 75 "A framework for representing Knowledge",MC graw Hill. Nueva York (Estados Unidos).
Pazos J. 1997 Análisis de Viabilidad en Sistemas basados en Conocimientos Master en Ingeniería de Software, UPM.
Perucchi, H.A 1990 "Interceptación de Aeronaves Civiles", editora AZ.
Rich E, Knight K 1994 Inteligencia Artificial. MC graw Hill. Nueva York (Estados Unidos).