

25
23



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

ACATLAN

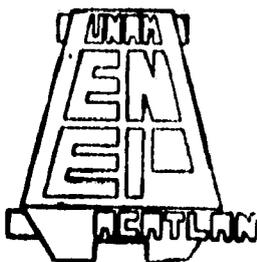


"Diseño de un Sistema Experto para el Diagnóstico y Tratamiento del Edema Cerebral causado por Traumatismo Craneoencefálico"

T E S I S
Que para obtener el Título de
**LICENCIADO EN MATEMATICAS
APLICADAS Y COMPUTACION**
p r e s e n t a n

2) **ALEJANDRO BAUTISTA CURTI**
1) **LEONEL LOPEZ LECHUGA**

Director de Tesis: **Dr. Felipe Lara Rosano**



México, D.F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Agradecimientos

Al Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.

Al Dr. Felipe Lara Rosano por su paciencia.

Al M. I. Nicolás Kemper Valverde por su amistad.

Al Dr. Tomás Reyes, Jefe de la Unidad de Cuidados Intensivos en el Hospital de Xoco, por su comprensión.

A los internos en Xoco que rotaron y que participaron en el proyecto. Lamentamos su infortunio.

A los becarios/asistentes y/o prestadores de Servicio Social del laboratorio. Los de Lógica Difusa:

Mauricio, Mónica y Angeles. Al del Kiosco: Mauricio Sanchez. Los de computadores: Roberto, Carlos

y Oscar. Las del tutorial de redes neuronales, Rosalba, Beatriz e Isabel. Los de realidad virtual:

Roberto y Adán. La de Leyes: Socorro. Las del relato: Gabriela, Vanessa, Mónica Hernández,

Adriana y Ange. La del electre: Elida. Las de cogeneración: Rosalba Juárez, Caro y Julia. Las del

hipertiroidismo: Dolores y Felicitas. La de los aviones: Selene. La de minas: Marisa. Las de Díaz

Mora: Lupita, Verónica, Graciela. El del control, Víctor. Los indecisos: Roberto, Walter, Miguel. A

los secretarías: Elena y Graciela. Los que faltaron. Gracias a todos ellos por su interés.

A los alumnos del Dr. Miranda, Jorge, Nayeli, Noemi, Gabriel, Alfonso, Keren, Perla, Lupita,

Lidia, Fernando, Jesús, Alfredo, Lorena, Yatzabeth, José, Israel, Gloria, Margarita y a las rudas

que desertaron.

A Minerva que nada más nos presentó al Dr. Miranda.

A los pacientes monitorizados, lamentamos su desgracia.

A las enfermeras de Xoco y Lomas Verdes.

A Abril por haber prestado su carro.

C.U. México a 5 de Junio de 1996

Leonel López Lechuga y Alejandro Bautista Corti

A mis padres.

A mis hermanos: Yady, Aquiles y su esposa Rebeca, Sairi y, mi sobrinin Carlos Ignacio y su papa.

A mi amiga y novia Nelly.

A mi familia entera. Abues, tias, tios, primos, primas y sobrinos.

Al Dr. Gregorio Miranda Lovera.

Al Dr. Felipe Lara Rosano.

Al M. I. Nicolás Kemper Valverde.

A todos mis profesores y sinodales.

A la sociedad que pagó mis estudios.

A mis amigos del abuso oportuno. Por orden alfabético: Alberto, Alejandro, Charly, Chavito, Hector,

Ino, Joel, Juan Carlos, Los dos Lalos, Omar, Roberto y Yors.

A la familia de Ale. Don Pedro, Doña Floren, Ivan, Abril, Lisbeth y Andrea.

A todos los universitarios que piensan que titularse es mucho, pero mucho más que un tramite. A aquellos universitarios que ven a su Universidad como un medio para resolver los grandes problemas de su raza y no como único fin de sus aspiraciones personales. A los mismos universitarios que no son guiados por el mundo, únicamente son guiados por su espíritu.

Leonel López Lechuza.

Ciudad Universitaria, México a 22 de Mayo de 1996.

A mis padres.

Con todo mi amor, mi agradecimiento eterno por su amor y apoyo, que junto con ustedes logro llegar a una de las meta más importantes de mi vida.

A mi hermana Ana Abril.

Por nuestro futuro, con la esperanza de no negarnos la oportunidad de triunfar.

A mi hermano Iván que junto con Liz nos dieron el mejor de los regalos, a mi ahijada Andrea, motivo de constante lucha y superación.

A toda la gran Fam. Bautista-Curti.

Por que cada día seamos más unidos y mejores. Gracias por todo su cariño y apoyo.

Al Dr. Gregorio Miranda Lovera.

Gracias por dejarnos entrar a su mundo.

A mi Universidad.

*Por la lucha incansable de alcanzar la Excedencia Académica.
Nuestro Futuro... Hoy.*

A mis Profesores.

Por su profesionalismo académico.

A mis amigos de la Universidad.

Por nuestra superación profesional y por una amistad más sólida.

Al Lic. Jesus David Cuellar Lozano.

Gracias compadre por brindarme tu amistad tantos años y por confiar siempre en mí.

Al Ing. Enrique Ballesteros Castillo.

Son cada vez más las cosas que tenemos en común y nos mantienen unidos. Gracias por ser mi amigo.

Y de manera muy especial el más humilde de los agradecimientos a Leonel Lopez Lechuga.

Alejandro Ulises Bautista Curti.

Junio, 1996.

INDICE

INTRODUCCIÓN.

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS EXPERTOS.....

PARTE 1. FUNDAMENTOS.....
INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA.....	I-1
DEFINICIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL ,	I-1
MANEJO DEL CONOCIMIENTO EN IA.....	I-2
Definiciones.....	I-2
Usos.....	I-3
EL DESARROLLO, CAMPO Y PERSPECTIVAS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL... I-3	
PARTE 2. SISTEMAS EXPERTOS.....	I-6
FUNDAMENTOS DE SISTEMAS EXPERTOS.....	I-6
BREVE HISTORIA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.....	I-6
GPS.....	I-6
Los primeros Sistemas Expertos.....	I-6
CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS SE'S.....	I-7
Expertez.....	I-7
Expertos.....	I-7
Heurísticas.....	I-9
Inferencia.....	I-9
Estrategias de control.....	I-10
Reglas.....	I-10
Capacidad de Explicación.....	I-11
ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.....	I-11
Base de conocimientos.....	I-12
Motor de inferencias.....	I-12
Lugar de trabajo (Blackboard).....	I-12
Interfaz con el usuario.....	I-13
Subsistema de explicación.....	I-13
Subsistema de adquisición del conocimiento.....	I-13
Subsistema de mejoramiento del conocimiento.....	I-13
EL ELEMENTO HUMANO EN LOS SISTEMAS EXPERTOS.....	I-14
El experto.....	I-14
El ingeniero del conocimiento.....	I-14
El usuario.....	I-14
EL PROCESO DE ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO EN SE'S.....	I-15
Selección del experto.....	I-15
Selección del dominio.....	I-15
Técnicas de adquisición del conocimiento.....	I-16
Adquisición y almacenamiento del conocimiento.....	I-16
MÉTODOS DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO EN SE'S.....	I-17
Representación en lógica.....	I-17
Reglas de producción.....	I-19
Objetos, atributos y valores.....	I-20
Redes semánticas.....	I-20
Frames (Marcos).....	I-22
FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.....	I-24

Desarrollo.....	I-24
Consulta.....	I-25
Mejoramiento.....	I-25
TIPOS DE PROBLEMAS DIRIGIDOS A SE'S.....	I-25
BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.....	I-26
PROBLEMAS Y LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.....	I-28

CAPÍTULO II.- DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DEL EDEMA CEREBRAL CAUSADO POR TRAUMATISMO CRÁNEO ENCEFÁLICO. .

PARTE 1. ELEMENTOS PARA EL DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DEL EDEMA CEREBRAL CAUSADO POR TRAUMATISMO CRÁNEO ENCEFÁLICO.....

DEFINICIÓN DE EDEMA CEREBRAL.....	II-2
DEFINICIÓN DE TRAUMATISMO CRÁNEO ENCEFÁLICO.	II-2
DEFINICIÓN DE HIPERTENSIÓN INTRACRANEAL.....	II-2
COMPENSACIÓN DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL	II-2
ELASTANCIA CEREBRAL.....	II-4
MONITOREO DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL.....	II-4
ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	II-4
TECNOLOGÍA ACTUAL DE MONITOREO DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL.....	II-5
Ventriculostomía.....	II-5
Perno Subaracnoideo.....	II-6
Dispositivos de Fibra Óptica.....	II-7
ESCALA DE COMA DE GLASGOW.....	II-7

PARTE 2. DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DEL EDEMA CEREBRAL CAUSADO POR TRAUMATISMO CRÁNEO ENCEFÁLICO.

DIAGNÓSTICO.....	II-10
DIAGNÓSTICO A PRIORI.	II-10
DIAGNÓSTICO A POSTERIORI.....	II-10
FACTORES PRONÓSTICOS EN EL TRAUMATISMO CRANEOENCEFÁLICO..	II-10
EVALUACIÓN DEL RESULTADO EN EL TCE.	II-11
FACTORES PREDICTIVOS.	II-11
Edad.....	II-12
Nivel de Conciencia.....	II-12
Reacción pupilar.....	II-13
Signos de lesión troncoencefálica.....	II-13
Fractura de cráneo.....	II-13
Tipo de lesión intracraneal en la Tomografía Axial Computarizada.....	II-13
Hipertensión endocraneal.....	II-14
Patología traumática asociada.....	II-14
TRATAMIENTO DEL EDEMA CEREBRAL CON LA AYUDA DEL MONITOREO DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL.....	II-15
TRATAMIENTO.	II-16
Medidas Generales De Soporte.....	II-16
Elevación de la Cabeza.....	II-18
Anticonvulsionantes.....	II-18
Sedantes y parálisis médica.....	II-18
Hiperventilación.....	II-18

Drenaje de líquido cefalorraquídeo.....	II-19
Terapia osmótica.....	II-19
Diuréticos.....	II-19
Esteroides.....	II-20
Barbitúricos.....	II-20
Lesiones de masa quirúrgicas.....	II-21
PARTE 3. EL ENCEFALOBARÓMETRO.....	II-22
DISEÑO ORIGINAL DEL ENCEFALOBARÓMETRO.....	II-23

CAPÍTULO III.- DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DEL EDEMA CEREBRAL CAUSADO POR TRAUMATISMO CRÁNEO ENCEFÁLICO.....

METODOLOGÍA USADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DEL EDEMA CEREBRAL CAUSADO POR TRAUMATISMO CRÁNEO ENCEFÁLICO: CRANIUM.....

FASE I.- INICIALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	III-1
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y VALUACIÓN DE NECESIDADES.....	III-2
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	III-4
FASE II.- ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA.....	III-6
ESTRATEGIA DE DESARROLLO.....	III-6
FUENTES DE CONOCIMIENTO.....	III-6
El experto neurocirujano.....	III-7
DISEÑO DEL SISTEMA.....	III-8
Estructura General.....	III-8
Selección del hardware.....	III-10
Selección del software.....	III-11
La ingeniería del conocimiento en CRANIUM.....	III-16
Diseño de la Base de Datos.....	III-20
La adquisición de datos y la interpretación experta.....	III-26
FASE III.- PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA : PROTOTIPO.....	III-29
ARQUITECTURA DEL SISTEMA EXPERTO.....	III-29
MENÚ PRINCIPAL.....	III-29
BASE DE DATOS.....	III-30
El reporte Total.....	III-33
El reporte parcial.....	III-34
Los Datos de la presión intracraneal.....	III-34
Los cuestionarios de proyección de datos.....	III-35
LA DESCRIPCIÓN DE LA CIRUGÍA.....	III-38
LA CONSULTA BIBLIOGRÁFICA.....	III-39
MODULO DEL MONITOREO E INTERPRETACION EXPERTA DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL.....	III-41
El monitoreo.....	III-42
La interpretación experta de la presión intracraneal.....	III-47
El manejo de la inferencia en Level 5 Object.....	III-57

**CAPÍTULO IV.- VALIDACION Y PRUEBAS DEL SISTEMA EXPERTO :
CRANIUM.**

PRUEBAS DE CRANIUM..... IV-1
PRIMERA ETAPA: Monitoreo preciso.....IV-1
 Primer caso..... IV-2
 Segundo paciente..... IV-3
SEGUNDA ETAPA: Prueba y validación de la base de conocimientos.....IV-4
 Primer caso..... IV-4
 Segundo caso..... IV-6

CONCLUSIONES

**APENDICE 1: PRODUCTION RULE LANGUAGE DE LEVEL 5 OBJECT
R. 3.5.**

La Gloria como una sombra, huye de quien la persigue, pero sigue los pasos de quien huye de ella. Si la halagas sin mérito jamás la alcanzarás, si la mercedes aunque te ocultes, jamás te abandonará.

Busca lo honorable, haz lo que es recto y el aplauso de tu propia conciencia, será para ti una alegría mayor que el aplauso de miles de personas que no saben lo que mercedes.

Del archivo Tibetano.

INTRODUCCIÓN.

El proceso de adquirir conocimientos entre los humanos es una tarea que a menudo toma varios años, tal vez décadas. Las técnicas de Inteligencia Artificial (IA) y en particular la de Sistemas Expertos (SE) proponen por un lado, que el conocimiento de una persona experta en cualquier área específica sea *usado* por una computadora y por otro, que el tiempo dedicado por una persona no experta (ayudado por las ventajas que ofrecen las técnicas computacionales de hoy en día), para adquirir este conocimiento sea más corto, reduciendo costos y mejorando las labores propias del área donde se apliquen las técnicas de IA.

El Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, desde 1989 y bajo la dirección del Dr. Felipe Lara Rosano se ha dado la tarea de vincular la IA con la realidad que vive el país. En él se han desarrollado varios SE cuya vinculación directa ha sido principalmente a la ingeniería. Sin embargo, se ha buscado últimamente en el laboratorio resolver problemas relacionados a áreas diversas. Este trabajo fue desarrollado en su mayor parte en el laboratorio antes citado y su objetivo esta ligado a la medicina. A continuación se describe brevemente la problemática y el desarrollo de **CRANIUM**, el SE que proponemos como alternativa de solución.

Más de la mitad de los pacientes que llegan a la unidad de urgencias de un hospital y que sufren traumatismo craneo encefálico (TCE) mueren, convirtiéndose este hecho en una problemática real de salud y en una preocupación constante por parte de los neurocirujanos para diseñar nuevas formas de atención para este tipo de pacientes. Además, el cuidado de un paciente con TCE severo es de capital importancia, tanto para el paciente traumatizado como para la unidad de cuidados intensivos en la cual el mismo paciente es atendido, debido a los altos costos monetarios por cama que se derivan de la atención de estos pacientes. Costos que pocos hospitales de países en vías de desarrollo pueden sufragar.

El monitoreo de la Presión Intracraneal (PIC) permite un manejo más racional y selectivo de un número importante de pacientes traumatizados de cráneo, evitando actuaciones terapéuticas innecesarias y definiendo de una forma individualizada el momento más adecuado para iniciar determinados tratamientos o cirugías, también permite prevenir en muchos casos el deterioro neurológico y controlar el efecto de las medidas terapéuticas utilizadas. El monitoreo continuo de

la PIC proporciona información inmediata de las condiciones del paciente con TCE y hace posible la detección temprana y corrección rápida de los aumentos de presión antes de que se alteren los signos vitales. De igual manera permite establecer un tratamiento inmediato y ayuda a determinar la magnitud y extensión del daño y de esta forma establecer un pronóstico. Es por esto que el monitoreo de la PIC como ayuda para evaluar las condiciones de un paciente así como su diagnóstico ha cobrado cada vez mayor importancia. Los países desarrollados han diseñado equipos muy sofisticados para obtener estos valores de PIC. Sin embargo, estos instrumentos de medición se cotizan en dólares y a muy alto costo. La situación actual del país y en especial del sector salud público hacen difícil que se adquieran una cantidad considerable de estos instrumentos.

En este sentido surgió la idea de diseñar **CRANIUM** : Un Sistema Experto para el diagnóstico y tratamiento del edema cerebral causado por traumatismo craneo encefálico.

Una parte importante del proyecto fue la modificación del sensor de presión intracraneal diseñado por el Dr. Gregorio Miranda Lovera (que colaboró como experto en el proyecto), con la finalidad de incorporarle nuevos elementos de *hardware* para poder ser conectado a una computadora. En este contexto, una finalidad implícita del proyecto fue que el producto final fuera eficiente, de bajo costo y que pudiera ser utilizado en hospitales con recursos financieros limitados.

CRANIUM es un sistema diseñado con la finalidad de apoyar al neurocirujano en la toma de decisiones en pacientes que sufren de edema cerebral causado por TCE y en el adiestramiento de personal dedicado al manejo y cuidado de este tipo de pacientes. **CRANIUM** principalmente usa un módulo de adquisición de datos, que son obtenidos a través del puerto paralelo de la computadora que está conectado al sensor de PIC antes mencionado. **CRANIUM**, además de adquirir valores de PIC, es capaz, gracias a la base de conocimientos que posee, de interpretar los valores de PIC que registra junto con otros datos clínicos del paciente monitorizado con la finalidad de ofrecer una conclusión general acerca del estado de salud que guarda el paciente y también de la terapia que puede ser de utilidad para mejorar su cuadro clínico, que por lo general en este tipo de casos es grave. **CRANIUM** tiene poco más de 700 reglas relacionadas al dominio del experto neurocirujano.

CRANIUM también incluye un manejador de base de datos con la finalidad de conservar los principales datos clínicos del paciente monitorizado. Contiene también, una descripción fotográfica experta de la cirugía empleada para el acoplamiento del paciente al sensor de PIC y de éste a la computadora, además de contar con una consulta bibliográfica relacionada a los temas de edema cerebral, TCE y PIC.

CRANIUM fue desarrollado para operar bajo ambiente Windows™ e involucró en su desarrollo el uso de un lenguaje de propósito general (Visual Basic Pro), la máquina de inferencias de un ambiente para crear sistemas expertos de tamaño mediano (Level 5 Object R.3.5), un software de adquisición de datos (NI-DAQ 4.5.1) y el uso de un manejador de base de datos (Access 3.1).

Visual Basic funciona como integrador de todos los elementos interactuantes, de esta forma se ha acoplado el motor de inferencias de Level 5 Object como un objeto incrustado permisible por Windows™ 3.x mediante la ingeniería Object Linking Embedding (O.L.E.) dentro de la aplicación.

En la construcción de **CRANIUM** participaron las siguientes entidades :

- Laboratorio de Inteligencia Artificial : Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Hospital de Traumatología "Xoco". Departamento del Distrito Federal.

- Hospital de Traumatología y Ortopedia "Lomas Verdes". Instituto Mexicano del Seguro Social.

El experto en el proyecto fue el neurocirujano Dr. Gregorio Miranda Lovera. Jefe de la Terapia Intermedia Neuroquirúrgica del hospital de "Lomas Verdes" antes citado y también es neurocirujano de Guardia "C" en el Hospital de "Xoco".

CRANIUM necesita como equipo mínimo de hardware para su operación:

- Computadora Personal 100 % compatible IBM. Con procesador 80386 a 25 Mhz. Un Procesador 80486 a 50 Mhz o superior es recomendable.
- 4 MB RAM, 8 MB recomendable
- 10 MB de espacio disponible en disco duro.
- Monitor Super VGA
- Resolución SVGA a 256 colores.
- En modalidad de monitoreo :
 - Sensor de PIC.

Requerimientos de software :

- Windows™ 3.1 o superior.
- MS™. DOS Versión 5.0 o superior.

"El error de la madurez consiste en creer que la experiencia sustituye a la inteligencia"
Lyman Brison, Filósofo Inglés.

CAPÍTULO I.- GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS EXPERTOS.

PARTE 1. FUNDAMENTOS.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA.

DEFINICIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

Cuando los humanos resuelven problemas, no lo hacen resolviendo conjuntos de ecuaciones o realizando algún cálculo matemático laborioso. En lugar de eso, los expertos escogen símbolos para representar problemas en términos conceptuales y aplicar varias estrategias y reglas para manipular estos conceptos. De acuerdo con Waterman¹, la IA usa para representar conocimiento conjuntos de símbolos que a su vez representan problemas en términos conceptuales. En el ámbito de la IA, un **símbolo** es una cadena de caracteres que representa algún concepto del mundo real. Estos símbolos pueden ser combinados para expresar relaciones significativas. Cuando estas relaciones son representadas en un programa de IA, son llamadas estructuras de símbolos. Para resolver un problema, un programa de IA manipula estos símbolos. La consecuencia de esto es la representación del conocimiento, por lo tanto, la elección, la forma e interpretación de los símbolos usados se convierte en un hecho muy importante.

El **procesamiento simbólico** es una característica esencial de la Inteligencia Artificial tal como se refleja en la siguiente definición: "*La Inteligencia Artificial es la rama de las ciencias de la computación que trata con métodos simbólicos y no algorítmicos para la solución de problemas*"². Esta definición se enfoca sobre dos características de los programas de computadora:

1. **N Numérico versus Simbólico:** Las computadoras fueron originalmente diseñadas específicamente para procesar números (numeric processing). La gente, sin embargo, tiende a pensar simbólicamente; nuestra inteligencia parece estar basada, en parte, sobre nuestra habilidad mental para manipular símbolos más que sólo números. Aunque el procesamiento simbólico es el corazón de la IA, *esto no significa que la IA no involucre números*; a pesar de eso, el énfasis de la IA es sobre la manipulación de símbolos.
2. **Algorítmico versus No Algorítmico:** Un algoritmo es un procedimiento paso por paso que esta bien definido desde su punto de principio hasta su punto final y garantiza alcanzar una solución a un problema específico. La arquitectura de computadoras fácilmente lleva a cabo este procedimiento paso por paso. Sin embargo, muchos procesos de razonamiento humano tienden a ser no algorítmicos; en otras palabras, nuestras actividades mentales consisten de más que sólo seguir procedimientos lógicos paso por paso.

¹ Waterman, D. *A Guide to Expert Systems*. Reading, Mass. : Addison-Wesley, 1986.

² Turban Efrain "*Applied Artificial Intelligence and Expert Systems*", McMillan, 1992.

1

MANEJO DEL CONOCIMIENTO EN IA.

Definiciones.

En el campo de los sistemas de información es una costumbre distinguir entre datos, información y conocimiento.

Datos. El término datos se refiere a cadenas numéricas o alfanuméricas que por si mismos no tienen significado.

Información. Información son datos organizados tales que tienen algún significado para la gente que los recibe.

Conocimiento. Discernir sobre el término conocimiento ha sido motivo de una gran controversia filosófica, no pretendiendo ahondar en las corrientes filosóficas que de aquí se desprenden, discutiremos acerca del concepto usual de conocer. El alcance de este concepto es muy amplio, incluye la familiaridad con las cosas, los lugares, las personas y las materias, la aptitud para una variedad de actividades aprendidas y la posesión de verdades evidentes tanto en asuntos de hecho como de creencia, los puntos falibles de la ciencia y de la experiencia cotidiana, así como las certidumbres de la matemática y la metafísica.

Por otro lado, el concepto de conocer está relacionado de manera significativa con otras ideas fundamentales y difíciles. Está íntimamente asociado, por ejemplo, con nociones de comprensión y control de la naturaleza a fin de mantener y mejorar la vida civilizada; está asociado, también a las ideas de contemplación, absorción y apreciación, valoradas por si mismas fines, más que medios, de una vida civilizada. En los contextos educativos el término *conocimiento* tiene con frecuencia la intención de abarcar los dos grupos de ideas: la habilidad y el saber acumulados que pertenecen al control tecnológico del medio y aquellas artes y experiencias intelectuales cuyo valor es intrínseco a ellas mismas. En esos contextos educativos, el conocimiento señala todo el contenido de nuestra experiencia intelectual, que la educación debe transmitir a las generaciones futuras³.

Así, datos, información y conocimiento pueden ser clasificados por su grado de abstracción y por su cantidad (Figura 1-1). El conocimiento es el más abstracto y existe en menor cantidad.

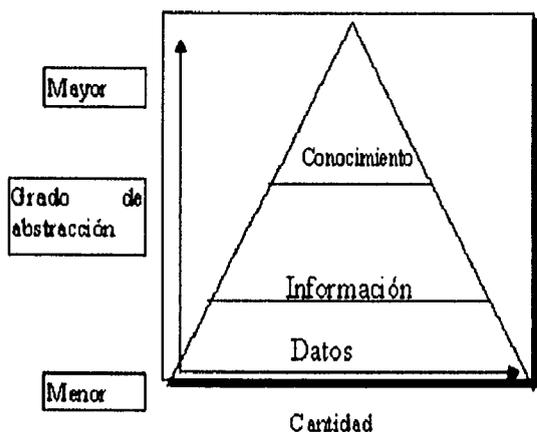


Figura 1-1.- Abstracción y cantidad de datos, Conocimiento e información.⁴

³ Scheffler I. "Las condiciones del conocimiento". Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM. México, 1973. p. 11.

⁴ Fuente : Turban Efrain "Applied Artificial Intelligence and Expert Systems", McMillan, 1992.

Usos.

Aunque una computadora no puede (aún no) tener experiencias, estudiar y aprender como la mente humana puede hacerlo, ella puede usar el conocimiento proporcionado por un experto humano. Como el conocimiento consiste de hechos, conceptos, teorías, métodos, procedimientos y relaciones, también ha sido organizado y analizado para hacerlo entendible y aplicable para resolver problemas y tomar decisiones. El conjunto de conocimiento relacionado a un problema para ser usado en un sistema de IA es llamado una **base de conocimiento**. Muchas bases de conocimiento están limitadas en el sentido de que están típicamente enfocadas a algunos temas, áreas o dominios específicos.

Una vez que la base de conocimiento es construida, se emplean las técnicas de la IA para dar a la computadora una capacidad de inferir. La computadora tendrá entonces la capacidad de hacer inferencias y juicios basados en los hechos y relaciones contenidos en la base de conocimientos.

Con una base de conocimiento y la habilidad para formular inferencias a partir de ella, la computadora puede ser puesta a resolver problemas y tomar decisiones.

La figura 1-2 ilustra el concepto del uso de una computadora en una aplicación de IA. Buscando por hechos y relaciones relevantes en la base de conocimientos, la computadora puede alcanzar una o más alternativas de solución a un problema dado. La base de conocimientos y la capacidad de inferencia de las computadoras aumentan las mismas capacidades en el usuario. Esta capacidad puede ser aplicada a diferentes áreas, desde la solución de problemas hasta la interpretación de lenguajes y escenarios.

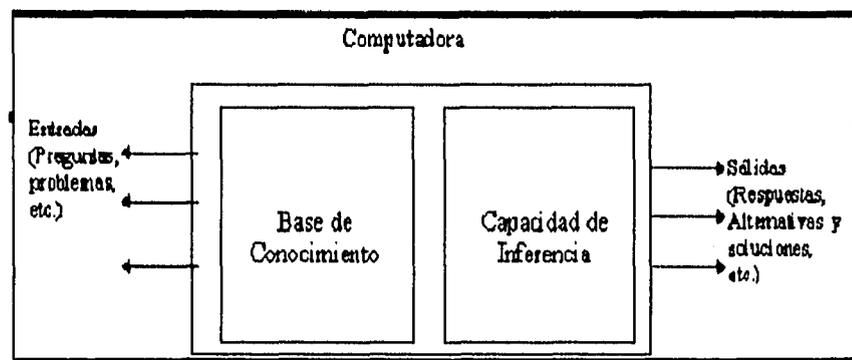


Figura 1-2. Conceptos para la aplicación de la IA en una computadora.⁵

EL DESARROLLO, CAMPO Y PERSPECTIVAS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

La revolución de la IA se dio en 1956 a partir de una conferencia en el Colegio Darmouth en los E.U. Esta conferencia llamada "*Inteligencia Artificial*" fue organizada por John McCarthy. La conferencia generó mucho entusiasmo y algunos participantes predijeron que en 10 años las computadoras podrían ser tan inteligentes como los humanos; una predicción esperanzadoramente romántica.

La etapa actual puede considerarse como la **etapa de la comercialización de la IA**. Actualmente se hacen esfuerzos para sacar la IA del laboratorio y aplicarla al mundo real. Lo que es una buena

⁵ Ibid.

noticia es la disponibilidad comercial de hardware y software que hace los desarrollos de sistemas con IA económicamente justificables para las empresas que usaban métodos de procesamiento de datos tradicional.

El surgimiento de la IA como una tecnología comercial viable puede ser también atribuida al reciente desarrollo de dispositivos semiconductores, arquitectura de computadoras y otros desarrollos tecnológicos. Hace 20 años el *hardware* de computadora era caro en relación al trabajo humano realizando tareas similares. Hoy, ocurre lo contrario. Además, la IA requiere muchas capacidades de almacenamiento en memoria de las computadoras, pero ahora ésta memoria es relativamente barata.

El desarrollo de máquinas que exhiben características inteligentes involucra muchas ciencias y tecnologías diferentes, tales como lingüística, psicología, filosofía, software y hardware de computadora, mecánica, hidráulica y óptica.

Las distintas disciplinas que participan en el campo de la IA se traslapan e interactúan. Por lo tanto, es difícil clasificar el campo de la IA de acuerdo a estas. Una clasificación mucho más práctica sería considerando los productos terminados, es decir, clasificando de acuerdo a áreas de **aplicación comercial**. La IA no es en sí misma un campo comercial; es una ciencia y una tecnología. Es una colección de conceptos e ideas que son apropiadas para investigar pero no para ser comercializadas. No obstante, la IA proporciona un fundamento científico para muchas tecnologías comerciales en expansión. A continuación se mencionan algunos campos de la IA:

- **Sistemas Expertos.**- Los Sistemas Expertos (SE's) son programas computarizados para proporcionar un consejo o recomendación y que intentan imitar el proceso de razonamiento y la experiencia de algún experto para resolver tipos específicos de problemas. Los SE's son usados más que cualquier otro tipo de tecnología que pertenezca a la IA aplicada. Las características de un SE serán tratadas en detalle más adelante.
- **Procesamiento de Lenguaje Natural.**- La tecnología de Lenguaje Natural da al usuario de una computadora la habilidad para comunicarse con ella en su lenguaje natural. Esta tecnología permite una interface de tipo conversacional, en contraste con la sintaxis y los comandos complejos de algunas computadoras. Un éxito limitado en esta área es representado por sistemas actuales que pueden reconocer e interpretar oraciones escritas relacionadas a tópicos muy estrictos.
- **Reconocimiento del habla (voz).**- El reconocimiento del habla es el reconocimiento y entendimiento por una computadora del lenguaje hablado. El reconocimiento del habla es un proceso que permite al usuario comunicarse con la computadora simplemente hablando.
- **Robótica y Sistemas Sensorios.**- Los sistemas sensorios, tales como los sistemas de visión, sistemas dactilares y sistemas de procesamiento de señales, cuando son combinados con IA definen una amplia categoría de sistemas generalmente referida como robótica. Un robot es un dispositivo electromecánico que puede ser programado para realizar tareas manuales. La diferencia entre una máquina automática y un robot inteligente es que el robot rastrea su medio ambiente y modifica su comportamiento como resultado de la información obtenida. El robot inteligente se piensa que tenga capacidades y atributos semejantes a los de los humanos. Se están desarrollando en el mundo robots capaces de trabajar bajo condiciones de incertidumbre.

- **Visión Computarizada y reconocimiento de escenas.-** El reconocimiento visual ha sido definido como la adición de alguna inteligencia computarizada y toma de decisiones para digitalizar la información visual recibida desde el sensor de una máquina. La información combinada es entonces usada para ejecutar o controlar operaciones tales como movimiento robótico, velocidades de conductores y calidad de producción en línea. El objetivo básico de la visión computarizada es interpretar imágenes más que generarlas.
- **Instrucción Inteligente asistida por computadora.-** La Instrucción Inteligente Asistida por Computadora (Intelligent Computer Aided Instruction ICAI) se refiere a máquinas que pueden tutorear a los humanos. En cierto sentido, este tipo de máquinas pueden ser vistas como un Sistema Experto. Sin embargo, el principal objetivo de un Sistema Experto es proporcionar un consejo o recomendación, mientras que el propósito de los ICAI es enseñar.
- **Programación automática.** La meta de la programación automática es crear programas especiales que actúan como "herramientas inteligentes" para asistir a los programadores y agilizar cada fase del proceso de programación. El propósito final de la programación automática es un sistema de computadora que podría desarrollar programas por si mismo en respuesta y de acuerdo con las especificaciones del usuario del programa. Este tipo de programación será la forma dominante de desarrollo de aplicaciones en un futuro cercano.

Las perspectivas de la IA están íntimamente vinculadas con los avances en el hardware. El desarrollo de la tecnología de los semiconductores traerá cada vez mejores y más rápidos microprocesadores y chips de RAM para las computadoras. En breve investigaciones especiales de reconocimiento de patrones y chips de cómputo simbólico serán dadas a conocer. El nuevo cómputo paralelo y la arquitectura de computadoras basadas en una red neuronal con múltiples CPU's operando simultáneamente, traerán una nueva dimensión a la Inteligencia Artificial.

Para el futuro inmediato se espera que la IA se sume al software existente y así las interfaces de lenguaje natural serán la característica más común en muchos programas de aplicación. Están siendo creadas bases de datos inteligentes e internamente, los programas usarán segmentos de IA para hacer mejoramientos de la ejecución de los mismos. Los Sistemas Expertos que asesoran sobre muchos temas relevantes comenzarán a estar ampliamente disponibles.

¡Una Precaución! Alguna gente cree que la IA es magia y evidentemente no lo es. La IA es básicamente una forma diferente de programar computadoras y debe ser tratada, estudiada y entendida como tal. A pesar de eso, aunque existen algunas profundas diferencias entre la IA y el cómputo convencional, existen también muchas similitudes. Por ejemplo, desarrollar un sistema con IA debería ser tratado tal y como se trata el desarrollo de cualquier otro sistema de cómputo. En la IA, se usa un análisis del sistema y un diseño en una forma muy similar a la que se usa en otros sistemas de cómputo. Puede usarse una terminología diferente, pero un sistema con IA es un sistema de información asistido por computadora aunque tenga algunas características diferentes.

PARTE 2. SISTEMAS EXPERTOS.

FUNDAMENTOS DE SISTEMAS EXPERTOS.

BREVE HISTORIA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.

Los primeros Sistemas Expertos fueron desarrollados por la comunidad de la IA en los años 60's. Este período de investigación en la IA fue dominado por una creencia de que con pocas leyes de razonamiento implantadas en computadoras poderosas se podría producir un alto rendimiento de éstas, incluso más allá del rendimiento humano. El primer intento en este sentido fue el GPS (General-purpose Problem Solver).

GPS.

El GPS es un procedimiento desarrollado por Newell y Simon ⁶, y se considera el predecesor de los Sistemas Expertos (SE's). El GPS intentaba trabajar con los pasos necesarios para cambiar las condiciones iniciales de un problema a una etapa de solución del mismo (meta).

GPS intentaba encontrar operadores que redujeran la diferencia entre la meta y los estados actuales. Algunas veces los operadores no podían realizar ninguna acción en los estados actuales debido a que sus precondiciones no eran apropiadas. En tales casos GPS proponía por si mismo una submeta con el fin de cambiar los estados actuales dentro de otras que fueran apropiadas y con los cuales los operadores fueran capaces de alcanzar la meta. Muchas de estas submetas tenían que ser definidas antes y proporcionadas a GPS para poder resolver el problema.

GPS no fue del todo exitoso por tratar de manejar problemas generales, sin embargo y por esta misma razón él mismo fue muy valioso para diseñar los primeros SE's.

Los primeros Sistemas Expertos.

El cambio de los programas de propósito general a un propósito particular ocurrió a mediados de 1960 con el desarrollo de **DENDRAL** (un SE que infiere la estructura molecular de compuestos desconocidos a través de su masa espectral y de su núcleo magnético) por Feigenbaum en la Universidad de Standford E.U.A., seguido por **MYCIN** (un SE médico para detectar infecciones a través de los síntomas de los pacientes). La construcción de **DENDRAL** arrojó las siguientes conclusiones:

- Los programas para resolver problemas de propósito general son demasiado *frágiles* para ser usados como base para la construcción de SE's de alto rendimiento.
- Generalmente los humanos que resuelven problemas son bastante capaces sólo si ellos operan en un dominio restringido.
- Los SE's necesitan ser constantemente actualizados para adquirir nueva información. Tal actualización puede ser hecha eficientemente con una representación del conocimiento basado en reglas.
- La complejidad de los problemas requiere de una cantidad considerable de conocimiento acerca del área del problema.

A mediados de 1970 aparecieron muchos SE's. Reconociendo el papel central del conocimiento en estos sistemas, los científicos de la IA trabajaron para desarrollar teorías acerca de la

⁶ Newell, A. y H. Simon. *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, N.J.; Prentice Hall. 1973.

representación del conocimiento asociadas con el procedimiento de inferir y de tomar decisiones. Pasaron pocos años antes de que estos científicos notaran que sus esfuerzos habían tenido un éxito limitado por razones similares a aquéllas que habían hecho fracasar los programas de solución de problemas de propósito general. El "Conocimiento" como objeto de estudio es demasiado amplio y diverso; los esfuerzos en resolver problemas basados en conocimiento de forma general fue prematuro. Una conclusión de aquel entonces fue : *El poder de un SE es derivado del conocimiento específico que posee , más que de los procesos formales o los esquemas de inferencia que él emplea para resolver un problema en particular.* En resumen, el conocimiento es necesario y casi suficiente para construir un SE.

Al comienzo de los 80's , la tecnología de los SE's que antes estaba limitada al área académica empezó a producir aplicaciones comerciales. SE's notables son **XCON** (un SE que configuraba automáticamente computadoras VAX), **XSEL** (una extensión de XCON) y **CATS-1**(Un SE que entrenaba personal de General Electric para reparar locomotoras impulsadas por máquinas que usaban combustible diesel).

Además de la construcción de SE's, se hizo un esfuerzo sustancial para desarrollar herramientas que aceleraran la construcción de los mismos. Se crearon herramientas de programación como **EMYCIN** y **AGE**, herramientas para la adquisición del conocimiento como **EXPERT** y **KAS**, y herramientas para aprender de la experiencia tales como **METADENDRAL** y **EURISKO**.

Tales herramientas estuvieron disponibles comercialmente en 1983. Muchas de estas primeras herramientas requerían hardware especial (por ejemplo Máquinas LISP), pero a partir de principios de 1990, la mayor parte del software de desarrollo puede correr en computadoras de tamaño mediano incluyendo microcomputadoras.

CONCEPTOS BÁSICOS DE LOS SE'S.

Expertez.

Es el conocimiento de una área específica adquirido del entrenamiento, lectura o experiencia. Los siguientes tipos de conocimiento son ejemplos de lo que la expertez incluye:

- Hechos acerca del área del problema.
- Teorías acerca del área del problema.
- Reglas y procedimientos generales de solución del área del problema.
- Reglas heurísticas de que hacer ante un problema dado con ciertas condiciones iniciales.
- Estrategias globales de solución para resolver este tipo de problemas.
- Metaconocimiento (Conocimiento a partir del conocimiento).

Estos tipos de conocimiento capacitan a los expertos para tomar las mejores y las más rápidas decisiones en comparación a la forma en que lo haría una gente inexperta ante un problema complejo. Toma mucho tiempo (generalmente muchos años) convertirse en experto en una área determinada.

Expertos.

Es difícil definir que es un experto porque realmente hablando, podemos distinguir niveles o grados de expertez. El dilema es responder cuanta expertez necesita una persona acerca de un tema en particular para ser calificada como experto. Se dice que existen 100 personas inexpertas por un cada experto. La distribución de la expertez parece ser la misma a pesar del tipo de conocimiento o materia que está siendo evaluado. La figura 1-3 muestra una distribución típica de la expertez. La barra más alta tiene un rendimiento tres veces mejor que el promedio y treinta

veces mayor que el de rendimiento más bajo. Esta distribución sugiere que el conjunto de efectividad de la experiencia humana puede ser incrementada significativamente si fuera posible poner al alcance de los niveles de expertez menores, la expertez de las personas de más alto rendimiento.

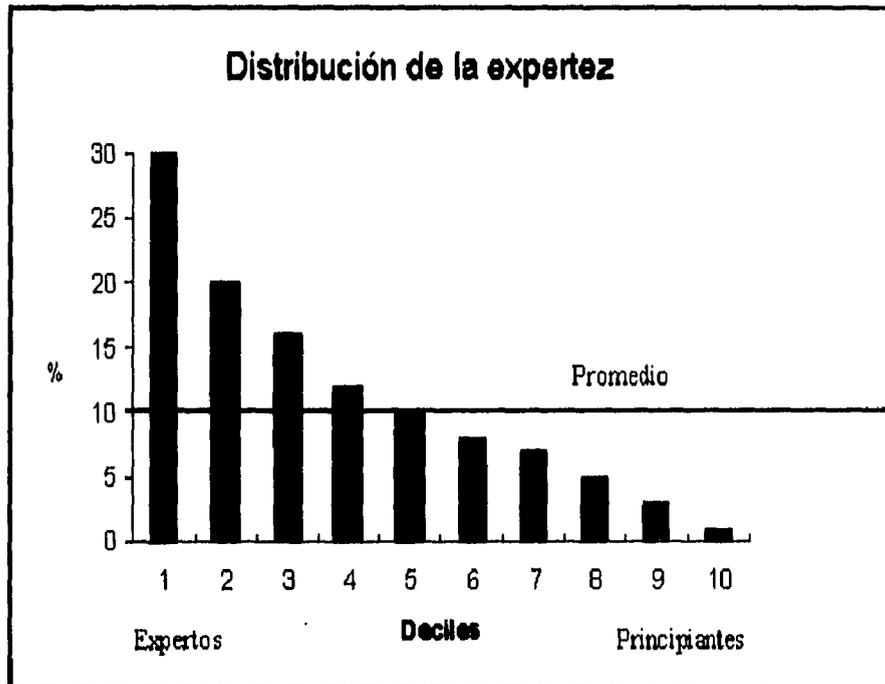


Figura 1-3.- Distribución de la Expertez. Porcentaje de éxitos expresados en Deciles.⁷

Típicamente, la expertez humana incluye una gran variedad de comportamientos que involucran las siguientes actividades:

- Reconocer y formular el problema.
- Resolver el problema rápida y apropiadamente.
- Explicar la solución.
- Aprender de la experiencia.
- Reestructurar el conocimiento.
- Conocer las excepciones a las reglas.
- Determinar relevancias.

Los expertos pueden tomar un problema en una manera arbitraria y llevarlo a una forma en la cual se encuentre una rápida y efectiva solución. La habilidad para resolver problemas es entonces, necesaria, pero no suficiente por sí misma. Los expertos deberán ser capaces de explicar los resultados, aprender nuevas cosas acerca del dominio, reestructurar el conocimiento siempre que sea necesario (es decir, conocer las excepciones a las reglas), y determinar si su expertez es relevante. Todas estas actividades deben ser hechas eficientemente (rápidamente y a bajo costo) y efectivamente (con resultados de alta calidad).

⁷ Fuente: Adaptado de N.R. Augustine, "Distribution of expertise", Defense System Management (Primavera de 1979)).

Para imitar a un experto humano, es necesario construir una computadora que exhiba todas estas características. A la fecha, el trabajo de investigación sobre SE's se ha dirigido a resolver problemas y explicar las soluciones.

El objetivo de un SE es transferir la expertez de un experto (sic) a una computadora y de ahí a otros humanos inexpertos. Este proceso involucra cuatro actividades : Adquisición del conocimiento (a partir de expertos u otras fuentes), representación del conocimiento (en la computadora), inferencia a partir del conocimiento y transferencia del conocimiento al usuario. El conocimiento es almacenado en la computadora dentro de un componente llamado **base de conocimientos**. Se distinguen dos tipos de conocimiento: *hechos* y *procedimientos* (usualmente reglas) acerca del dominio del problema.

Heurísticas

Para muchas aplicaciones, es posible encontrar información específica para guiar los procesos de búsqueda y, por lo tanto, reducir el monto de los cálculos. Esta es llamada información heurística y los procedimientos de búsqueda en donde se usa se nombran métodos **de búsqueda heurística**. El significado de Heurística trata con ideas como "ayudas para aprender o para descubrir" o como un medio subjetivo para descubrir algo. La heurística contribuye a la reducción de la actividad de búsqueda en la solución de un problema.

Heurísticas(De la palabra griega *heuristic*=descubrir) son reglas de decisión que apuntan a la forma como un problema debería ser resuelto. Las heurísticas son desarrolladas con base en análisis sólidos y rigurosos del problema y algunas veces involucran el diseño de un experimento. En la Tabla 1-1 se presentan algunos ejemplos de heurísticas.

TEMA	REGLA HEURISTICA
Compra de inventarios	No comprar inventarios cuyo rango de ganancia sea menor a 10%
Camino al trabajo	No ir por el periférico de 7 a 9 A.M
Compra de una casa	Comprar sólo en un buen vecindario, siempre y cuando el precio no sea excesivo.
Construcción	Cuesta \$N 1,000 colocar un metro cuadrado de loseta

Tabla 1-1. Ejemplos de Heurísticas.

Resolver un problema empleando heurísticas significa emplear éstas en situaciones donde se han de tomar decisiones. La solución de problemas basada en heurísticas es una práctica muy antigua en comparación a los métodos científicos basados en la razón. Se usan muchos términos en la práctica para describir el uso de heurísticas: "Tips", intuición, sugerencias, juicio e inclusive inspiración.

La búsqueda heurística es mucho más rápida y barata que una búsqueda a "ciegas". Los resultados son considerados bastante buenos y en el caso de análisis cuantitativos éstos son muy próximos a la solución óptima.

Inferencia.

Una característica única de los SE's es su habilidad para *razonar*. Dada toda la expertez que es almacenada en la base de conocimientos y un programa que tenga la capacidad de acceder a ella, la computadora, es entonces programada para, de todo lo anterior, realizar inferencias. Este

procedimiento de inferir es realizado por un componente dentro del programa llamado **motor de inferencias**, el cual incluye procedimientos para resolver el problema acerca del área de dominio que se esté tratando.

Estrategias de control.

En un sistema basado en reglas, se debe decidir que regla va a ser verificada a continuación de que una fue cierta o falsa. Cuatro estrategias de control básicas son: Encadenamiento hacia adelante, encadenamiento hacia atrás, análisis Means-End, y el Least Commitment. Una breve descripción de estas estrategias es dada a continuación:

- **Encadenamiento hacia adelante.** El método de encadenamiento hacia adelante emula el razonamiento deductivo humano. Es un proceso dirigido por datos que comienza cuando cierta información es proporcionada por el usuario. Los hechos son recolectados y la búsqueda se dirige hacia una conclusión.
- **Encadenamiento hacia atrás.** El Encadenamiento hacia atrás es una estrategia de búsqueda dirigida por metas o hipótesis. El proceso comienza con una hipótesis; una búsqueda es entonces implantada para encontrar y verificar los hechos necesarios que dan soporte a la hipótesis. El proceso termina con la aceptación o falla de la hipótesis.
- **Análisis Means-End.** Este análisis es un proceso iterativo de subdividir la diferencia entre el estado actual de la búsqueda y el estado de meta, hasta que la diferencia sea eliminada. La solución muestra los *medios* por los cuales se atravesó por la base de conocimientos. El método aplica un conjunto de operadores con el fin de dirigirse a la meta. El método intenta reducir la diferencia entre los estados actuales y la meta de una manera eficiente, esto es, seleccionando los operadores apropiados en la secuencia apropiada.
- **Least Commitment.** De acuerdo a esta estrategia, se asume que ninguna decisión deberá tomarse hasta que no haya suficiente información. Para activar este método, necesitamos saber que significa *suficiente información*. También necesitamos saber que hacer cuando no existe *suficiente información*, es decir, como conseguir información adicional o como adivinarla. Esta estrategia de control podría ser combinada con un cómputo basado en redes neuronales para mejorar la confiabilidad de las *adivanzas* en el caso de que no se pueda conseguir información adicional.

Las estrategias de control son implementadas por un programa de control llamado **motor de inferencias**. El programa determina como y en que secuencia los espacios de estados que son parte de la **base de conocimientos** serán buscados.

Reglas.

Muchos SE's comerciales son sistemas basados en reglas heurísticas, esto es, el conocimiento es almacenado principalmente en la forma IF...THEN... (SI...ENTONCES...). Recientemente, una representación de conocimiento estructurado (frames) es complementario a la representación por reglas en algunas aplicaciones.

Capacidad de Explicación.

Otra característica única de un SE es su habilidad para explicar sus consejos o recomendaciones e inclusive justificar porque cierta acción no fue recomendada. La explicación y justificación es hecha en un subsistema llamado el **justificador** o el **subsistema de explicación**. Esto permite al sistema examinar su propio razonamiento y explicar su operación. Las características y capacidades de los SE's los hace diferentes de los sistemas convencionales. Para una comparación véase la Tabla 1-2.

SISTEMAS CONVENCIONALES	SISTEMAS EXPERTOS.
La información y su procesamiento son usualmente combinados dentro de un programa secuencial.	La base de conocimientos está claramente separada del mecanismo de procesamiento (inferencia).
El Programa no comete errores (lo hacen los programadores).	El programa podría cometer errores.
Usualmente, no explican porqué se necesitan ciertos datos de entrada o porqué ciertas conclusiones fueron alcanzadas.	Generalmente, la explicación es parte de casi todos los SE's.
Los cambios en el programa son tediosos.	Los cambios en las reglas son fáciles de realizar.
El sistema opera únicamente cuando está completo.	El sistema puede operar con solamente pocas reglas (como primer prototipo)
La ejecución esta hecha a partir de una base algorítmica (paso por paso).	La ejecución es hecha a partir de heurísticas y lógica.
Necesita información completa para operar.	Puede operar con información incierta o incompleta.
Representación y uso de datos.	Representación y uso de conocimiento.
La eficiencia es la meta principal.	La efectividad es la meta principal.
Trato fácil con datos cuantitativos.	Trato fácil con datos cualitativos.
Captura, magnificación y distribución del acceso a datos numéricos o información.	Captura, magnificación y distribución del acceso a juicios y conocimiento.

Tabla 1-2. Comparación entre Sistemas Convencionales y Sistemas Expertos. ⁸

ESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.

Los SE's usan para su construcción dos ambientes principales: el **ambiente de desarrollo** y el **ambiente de consulta** (en tiempo de ejecución del programa). El primero lo usa el constructor del SE para desarrollar los componentes e introducir el conocimiento dentro de la base de conocimientos. El segundo lo emplea el usuario presumiblemente inexperto para obtener algún consejo o ayuda.

En un SE podrían existir los siguientes componentes:

- Base de conocimientos.
- Motor de inferencias.
- Interfaz con el usuario.
- Lugar de trabajo. (Pizarrón)
- Subsistema de explicación.

⁸ Fuente : Turban Efraim "Applied Artificial Intelligence and Expert Systems", McMillan, 1992.

- Subsistema de adquisición del conocimiento.
- Subsistemas de mejoramiento del conocimiento.

Existen grandes variaciones en el contenido y las capacidades de cada componente. Los componentes están subrayados en la figura 1-4 que muestra también la relación entre los mismos.

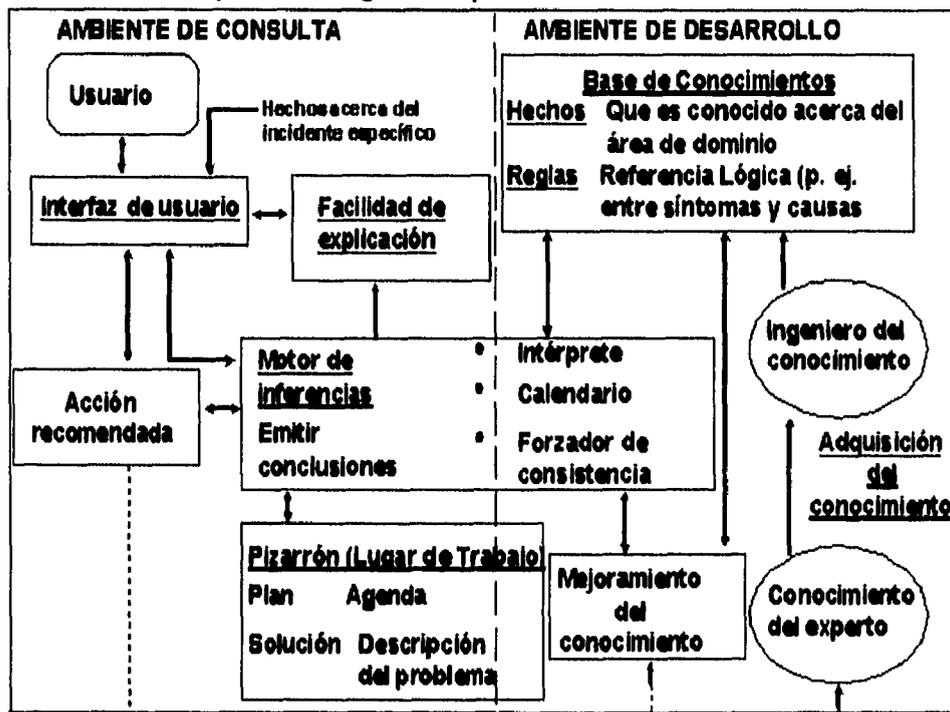


Figura 1-4.- Estructura de un Sistema Experto.⁹

Se presenta a continuación una descripción de los componentes:

Base de conocimientos.

La base de conocimientos contiene el conocimiento necesario para entender, formular y resolver problemas. Este incluye dos elementos básicos: (1) Hechos: tales como la situación del problema y la teoría referente al área del problema a abordar y (2) Heurísticas especiales o reglas que los expertos humanos usan para dirigir el conocimiento con el fin de resolver problemas específicos de un dominio en particular. Las heurísticas expresan un juicio informal del conocimiento en una área de aplicación. Las estrategias globales, que pueden ser ambos, tanto heurísticas como teorías del área del problema son también incluidas en la base de conocimiento. Conocimiento, no únicamente hechos, es la materia prima de los SE. La información dentro de la base de conocimientos es incorporada dentro de un programa de computadora mediante un proceso llamado **representación del conocimiento**, que será tratado más adelante.

Motor de inferencias.

El "cerebro" del SE es el motor de inferencias, también conocido como estructura de control o intérprete de reglas (en un SE basado en reglas). Este componente es esencialmente un programa de computadora que proporciona una metodología para razonar acerca de la información en la base de conocimiento y en el "lugar de trabajo" o pizarrón (Blackboard), y para formular

⁹ Fuente: Turban Efraim "Applied Artificial Intelligence and Expert Systems", McMillan, 1992.

conclusiones. También proporciona instrucciones acerca de como usar el conocimiento del sistema estableciendo agendas que organizan y controlan los pasos involucrados en la solución de problemas siempre que se realice una consulta al sistema.

El motor de inferencias tiene tres elementos principales:

- Un *intérprete* (un intérprete de reglas en varios sistemas), el cual ejecuta la búsqueda sobre los elementos de la agenda aplicando las reglas basadas en conocimiento correspondientes.
- Un *calendario*, (scheduler) el cual mantiene un control sobre la agenda. Estima los efectos de aplicar reglas de inferencia tomando en consideración prioridades u otros criterios de los elementos de la agenda.
- Un *forzador de consistencia* que intenta mantener una representación consistente de la solución que se está proporcionando.

Lugar de trabajo (Blackboard)

El **lugar de trabajo** es un área de memoria temporal que contiene descripciones y datos de entrada acerca del problema en proceso de solución; es también usado para grabar resultados intermedios. El **lugar de trabajo** registra hipótesis y decisiones intermedias. Se pueden grabar tres tipos de decisiones en este lugar: (1) *El plan*: como atacar el problema. (2) *Agenda*: acciones potenciales esperando ser ejecutadas y (3) *Solución*: hipótesis candidatas y cursos alternativos de acción que el sistema ha generado.

Los **Pizarrones o lugares de trabajo** existen solamente en algunos sistemas. El uso de Pizarrones es especialmente popular cuando un equipo de varios expertos está resolviendo el mismo problema.

Interfaz con el usuario.

Los SE's contienen una interfaz "amigable" con el usuario. El término amigable se refiere a que el sistema es fácil de usar y atractivo a la vista del usuario con el fin de facilitar la comunicación entre éste y la computadora. Esta interfaz debe llevar a cabo esta comunicación en un lenguaje natural para el usuario.

Subsistema de explicación.

La habilidad para rastrear desde las conclusiones hasta las fuentes que le dieron origen es muy importante para el proceso de transferir la expertez y para el proceso de solución de problemas. Este subsistema de explicación tiene la capacidad de rastrear el proceso de solución y explicar el comportamiento del SE proporcionando respuestas a preguntas tales como :

- ¿ Por qué cierta pregunta fue hecha por el SE?
- ¿ Cómo fue alcanzada cierta conclusión?
- ¿Cuál es el plan para alcanzar la solución?

Subsistema de adquisición del conocimiento.

Este subsistema incluye herramientas para facilitar la adquisición del conocimiento dentro del programa de desarrollo y poder construir el prototipo con mayor facilidad y rapidez.

Subsistema de mejoramiento del conocimiento.

Los expertos humanos tienen un sistema que mejora el conocimiento que poseen; esto es, ellos pueden analizar su propio rendimiento, aprender de él y mejorarlo para futuras consultas. Similarmente, tal evaluación es necesaria en el aprendizaje computarizado, así que el programa deberá ser capaz de analizar las razones ya sea de sus aciertos o de sus fallas. Esto podría traer

mejoramientos a la base de conocimientos y conducir a un más efectivo razonamiento. En la actualidad, este componente no está disponible en SE's comerciales, pero está siendo desarrollado en muchas universidades e institutos de investigación.

EL ELEMENTO HUMANO EN LOS SISTEMAS EXPERTOS.

Al menos dos humanos y posiblemente más, participan en el desarrollo y uso de un SE. Como mínimo existen un experto y un usuario. Frecuentemente, existe un ingeniero del conocimiento y un programador. Cada uno tiene una función específica.

El experto.

El experto, es una persona que tiene el conocimiento especial, juicio, experiencia y los métodos que le dan la habilidad para proporcionar un consejo y resolver problemas. Es el dominio del trabajo del experto el que proporciona el conocimiento sobre el cual el SE será construido. El experto conoce cuales son los hechos importantes y entiende el significado de las relaciones entre estos hechos.

Usualmente, el cuerpo inicial de conocimiento, incluyendo términos y conceptos básicos, está documentado en libros de texto, manuales de referencia o catálogos de productos. Sin embargo, esto no es suficiente para darle poderío al SE. No toda la experiencia puede ser documentada porque muchos expertos están indecisos acerca del proceso mental por el cual ellos dieron un diagnóstico o como resolvieron un problema. Por lo tanto, se requiere de un proceso interactivo para adquirir información adicional del experto para expandir la base de conocimientos. Este proceso es casi siempre complejo y usualmente requiere la intervención del ingeniero del conocimiento.

El ingeniero del conocimiento.

El ingeniero del conocimiento ayuda al experto a estructurar el área del problema, interpretando e integrando respuestas de humanos en preguntas, estableciendo analogías, planteando contraejemplos y remarcando dificultades conceptuales. El ingeniero del conocimiento es, por lo general el desarrollador del sistema. La falta de experiencia del ingeniero del conocimiento en la forma de representar el conocimiento, constituye el problema principal a superar en la construcción de un SE.

El usuario.

Los SE's tienen muchos tipos de usuarios:

- **Un cliente inexperto que busca un consejo directo.** En tal caso el SE actúa como un consejero o consultor.
- **Un estudiante que quiere aprender.** En tal caso el SE actúa como un instructor.
- **Un constructor de SE's que quiere mejorar o incrementar la base de conocimientos.** En esta situación el SE actúa como socio.
- **Un experto.** En cuyo caso el SE actúa como colega.

Por ejemplo, un SE puede proporcionar una "segunda opinión", así el experto puede validar su juicio. Un experto puede usar el sistema como un asistente para llevar a cabo análisis rutinarios o cálculos o para buscar una información clasificada. Las capacidades de los SE's fueron desarrolladas para ahorrar tiempo y esfuerzo. A diferencia de los sistemas de cómputo tradicionales, los SE's proporcionan respuestas directas a preguntas y no únicamente información y soporte.

EL PROCESO DE ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO EN SE'S.

La adquisición del conocimiento es el proceso por el cual los desarrolladores de SE's investigan el conocimiento del dominio específico que algún experto usa para realizar una tarea específica. Este conocimiento es entonces implantado para formar un Sistema Experto. La parte esencial de un SE es su conocimiento; su adquisición es probablemente la tarea más importante en su desarrollo. La adquisición del conocimiento para SE's es todavía un campo nuevo y aún no puede considerarse una ciencia.

Selección del experto.

El dominio del experto es la fuente de conocimiento para el SE. Por lo tanto, aún antes de que empiece el proceso de adquisición del conocimiento, una decisión crucial debe ser hecha: **la elección de experto para el proyecto**. Debido a la importancia de ésta elección, deben tomarse en cuenta criterios importantes acerca del dominio del SE y que esté relacionado con la elección del dominio del experto humano.

Importancia de la selección del experto.

A continuación se presentan algunos aspectos importantes para la elección del experto:

- Se requiere de tiempo y esfuerzo considerable para la elección del experto. La elección afecta el desarrollo de cualquier SE.
- Se debe elegir un experto que haya desarrollado actividades propias al dominio del SE por un periodo de tiempo considerable. El experto debe tener suficiente experiencia para ser capaz de establecer un dominio del problema y establecer reglas heurísticas que son la meta principal del proceso de adquisición de conocimiento.
- Es recomendable seleccionar un experto que sea capaz de *comunicar* su conocimiento, juicio y experiencia personal y los métodos usados para aplicar estos elementos en la solución de un problema en particular.
- El experto debe ser cooperativo con el equipo de proyecto. Es una tarea difícil, sobre todo en el desarrollo de SE's grandes, tener que examinar en detalle la manera en la cual un experto toma decisiones. Por tal motivo, si el experto no está interesado en participar en el proyecto o no está dispuesto a dedicarle una cantidad considerable de tiempo a la construcción de la base de conocimientos, será mejor no tomarlo en cuenta.

Selección del dominio.

Además de la selección del experto es importante tener un criterio para seleccionar un dominio apropiado para el desarrollo del SE y que esté directamente relacionado con la facilidad de adquirir conocimiento. Se presentan en seguida algunos criterios para esta selección.

- El dominio debe ser tal que el SE no tenga que realizar toda la tarea de utilidad, puede ser tolerado algún grado de carencia al menos inicialmente. Entonces, el proyecto de desarrollo del SE's puede empezar a cubrir un subdominio y entonces de ahí expandirse a otros subdominios. Este método de desarrollo permite la adquisición de conocimiento a través de subdominios en SE's con un dominio grande.
- La tarea debe ser particionable, permitiendo un rápido prototipo del SE y de ahí expandirse lentamente hacia tareas más complejas.

- El dominio debe ser claramente estable. Un dominio inestable puede llevarnos a situaciones donde un gran número de estructuras de conocimiento deben ser consideradas y por lo tanto, el proceso de desarrollo puede alargarse de manera considerable.

Técnicas de adquisición del conocimiento.

Antes de empezar a discutir las principales técnicas de adquisición del conocimiento es de utilidad tener en cuenta los siguientes aspectos para que el proceso de adquirir el conocimiento sea más rápido y fácil:

- Planificar y calendarizar las reuniones con el experto. Esta organización permitirá maximizar el acceso al experto y minimizar las interrupciones a éste. El ingeniero del conocimiento debe ser muy respetuoso del tiempo del experto para evitarle molestias al mismo y que éste colabore estrechamente en el desarrollo del SE, por lo tanto, el estricto cumplimiento de este calendario es una tarea altamente recomendable.
- Las reuniones con el experto deben realizarse, siempre que sea posible, con la ayuda de una computadora en la cual se encuentre instalado el software en el que se va a desarrollar o se esté desarrollando el SE, de esta forma el experto puede hacer comentarios o sugerencias muy valiosas para el análisis, diseño y depuración del prototipo de SE.
- El ingeniero del conocimiento que desarrolla un SE a menudo está completamente desfasado con su dominio. Por lo tanto, y como parte del proceso de adquisición del conocimiento, el ingeniero del conocimiento debe obtener un panorama general del dominio del experto. Debe buscar terminologías y referencias bibliográficas básicas para facilitar el proceso de adquisición.
- Referencias tales como libros u otros materiales escritos que tratan algunos temas del dominio pueden ser incluidos como parte de la base de conocimientos inicial, ya que el experto ha extraído y organizado su expertez a través de los mismos. Esta organización inicial es muy útil.
- El ingeniero del conocimiento debe explicar en detalle al experto, los pasos que deben seguirse para adquirir el conocimiento y construir un SE. Esto permitirá al experto entender la metodología de construcción de la base de conocimiento y ayudar, en lo posible, a mejorarla.

Adquisición y almacenamiento del conocimiento.

El principal trabajo en el proceso de adquirir conocimiento es la cantidad de tiempo ocupada en obtener, modificar y almacenar el dominio del conocimiento.

A continuación siguen recomendaciones básicas para adquirir conocimiento:

- Seguir un ciclo básico de extracción, documentación y prueba del conocimiento. Un método efectivo para adquirir conocimiento es usar el siguiente ciclo básico:
 - Extraer conocimiento del experto.
 - Documentarlo y si es posible,
 - Probar el conocimiento comparando el análisis del experto contra conocimiento documentado.
- Usar casos estudiados (y publicados) para conocer nuevas técnicas expertas.
- Usar un número grande de casos publicados acerca del dominio del conocimiento para expandir y modificar el conocimiento inicial. Para cada caso publicado, intentar usar las reglas y procedimientos existentes para realizar las mismas tareas del caso probado. Hacer este proceso a mano, o si las reglas y procedimientos pertinentes han sido ya implementadas en una computadora, probarlas ahí mismo. En cada caso, es útil tener al experto examinando el razonamiento del sistema paso por paso. Es útil, encontrar todos los puntos de discordancia

entre el experto y el sistema, con el propósito de expandir o modificar las reglas existentes hasta que estén acordes con la opinión del experto.

- Explicar al experto la forma en que el conocimiento va a ser documentado, es decir, en forma de reglas IF-THEN (SI-ENTONCES), de esta forma y a medida que el proceso de adquisición del conocimiento continua, el experto interesado comenzará a entender mejor las técnicas y conceptos de la Inteligencia Artificial. Este entendimiento podría ayudar al experto a describir el dominio del conocimiento usando directamente formalismos referentes a la IA, acelerando de esta manera el proceso de adquisición del conocimiento.
- Tan pronto el conocimiento sea adquirido y actualizado, hay que generar y actualizar el "documento del conocimiento".

MÉTODOS DE REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO EN SE'S.

Una vez que el conocimiento es adquirido, éste necesita organizarse. El programa de software que contiene el conocimiento es llamado *base de conocimientos*. Similar a una base de datos, una base de conocimiento, puede ser organizada en muchas configuraciones o esquemas diferentes. El conocimiento puede ser organizado en una o más configuraciones (denominados esquemas) analogas a una base de datos en cuanto a que puede ser organizada como relacional, jerárquica o de red. Además, el conocimiento dentro del motor de inferencia de la base de conocimiento podría ser organizado diferentemente.

Una variedad importante de esquemas de **representación del conocimiento** han sido desarrollados al pasar de los años. Estos comparten dos características comunes. Primero, pueden ser programados con lenguajes existentes de computadora y almacenados en memoria. Segundo, son diseñados de tal forma que los hechos y otro conocimiento contenido dentro de ellos pueda ser usado en el razonamiento. Esto es, la base de conocimiento contiene una estructura de datos tal que puede ser manipulada por un sistema de inferencias que usa una búsqueda y técnicas de reconocimiento de patrones sobre la base de conocimiento para responder preguntas, dar conclusiones o realizar cualquier otra función inteligente.

Existen dos tipos generales de representación del conocimiento: Aquellos que ayudan al análisis y aquellos que son usados en la etapa de codificación del sistema. La relación entre los dos tipos y el resto del proceso de ingeniería del conocimiento se muestra en la figura 1-5

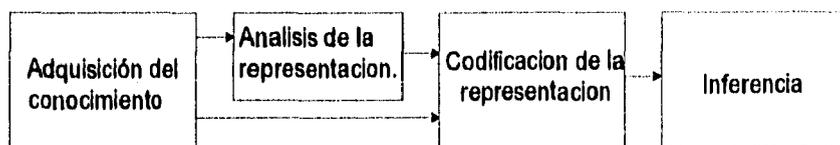


Figura 1-5.- Técnicas de representación del conocimiento.

Las técnicas de análisis de conocimiento son generalmente usadas para ayudar en la etapa inicial de adquisición del mismo y algunas de ellas fueron explicadas en la sección anterior. El conocimiento, una vez organizado, es por último codificado en una o más técnicas.

Representacion en lógica.

Quizá la más antigua forma de representación es la lógica. Esta consiste en el estudio científico del proceso de razonamiento apoyado en un sistema de reglas (axiomas) y procedimientos (operaciones) que ayudan en el proceso de razonamiento. La lógica es considerada una subdivisión de la filosofía. El desarrollo y refinamiento de su proceso es generalmente acreditado a los antiguos griegos.

La forma general de cualquier proceso lógico es ilustrado en la figura 1-6. Primero, la información es proporcionada, los enunciados (oraciones, declaraciones, etc.) son hechos y las observaciones son anotadas. Esta es la forma de entrada al proceso lógico y son llamadas *premisas*. Las premisas son usadas por el proceso lógico para crear la salida o conclusiones que son llamadas *inferencias*. Con este proceso, los hechos que son considerados verdaderos pueden ser usados para derivar nuevos hechos que también pueden ser considerados verdaderos.

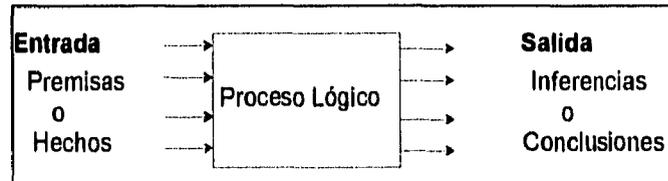


Figura 1-6.- Ilustración del proceso lógico.

Para que una computadora pueda *razonar* usando lógica, se debe emplear algún método para convertir las declaraciones y el proceso de razonamiento dentro de una forma apropiada para ser manipulada por una computadora. El resultado es lo que se conoce como *lógica matemática o lógica simbólica*. Dicho resultado es un sistema de reglas y procedimientos que permiten inferir a partir de varias premisas usando una gran variedad de técnicas lógicas.

Las dos formas básicas de lógica computacional son la **lógica proposicional** (o cálculo proposicional) y la **lógica de predicados** (o cálculo de predicados).

Lógica Proposicional.

Una proposición no es otra cosa que una declaración que puede ser falsa o verdadera. Una vez que conocemos que *és*, ésta se convierte en una premisa que puede ser usada para derivar nuevas proposiciones o inferencias. Las reglas son usadas para determinar la veracidad o falsedad de la nueva proposición. La lógica proposicional usa las mismas reglas y símbolos usados en el álgebra booleana. De hecho, a causa de que la lógica proposicional involucra únicamente proposiciones falsas o verdaderas, el álgebra booleana y todas sus técnicas relacionadas para analizar, diseñar o simplificar circuitos lógicos binarios pueden ser usados en la lógica proposicional.

Cálculo de predicados.

A pesar de que la lógica proposicional es una representación alternativa de conocimiento, no es muy útil en la IA. Ya que la lógica proposicional trata primordialmente con proposiciones completas y de que ellas sean falsas o verdaderas, su habilidad para representar conocimiento del mundo real es limitada. Consecuentemente, la IA usa el cálculo de predicados en vez de la lógica proposicional.

El cálculo de predicados es una forma más sofisticada de la lógica que usa los mismos conceptos y reglas de la lógica proposicional y además le da la capacidad de representar conocimiento con más detalle. La lógica de predicados permite *romper una proposición en varias partes, nombrando estas partes como objetos y estos a su vez pueden tener asignadas características o aseveraciones propias del mismo*. Además, el cálculo de predicados permitirá usar variables y funciones de variables en una proposición lógica simbólica. El resultado es una representación más poderosa del esquema del conocimiento que es más aplicable a problemas del mundo real y que pueden ser resueltas por una computadora. La lógica de predicados es la base para el lenguaje de

programación de IA llamado PROLOG. (Programming in logic). Para más detalle refiérase a Winston¹⁰.

Una vez que el conocimiento es organizado ya sea en forma de lógica proposicional o la forma de la lógica de predicados, está listo para ser usado para inferir.

Reglas de producción.

Los sistemas de producción son esquemas de representación modular del conocimiento que están encontrando popularidad en muchas aplicaciones de IA. La idea básica de estos sistemas es que el conocimiento es presentado como **reglas de producción** dentro de la forma de la dupla condición-acción : "SI (IF) esta condición (premisa o antecedente) ocurre, ENTONCES (THEN) alguna acción (resultado, conclusión o consecuencia) debe (o debería) ocurrir.

Cada regla de producción en una base de conocimiento es una parte pequeña y autónoma de experiencia que puede ser desarrollada y modificada independientemente de otras reglas. Cuando combinamos y alimentamos el motor de inferencia, el conjunto de reglas se comporta sinérgicamente, produciendo mejores resultados que la suma de resultados de reglas individuales. En general, en muchos sistemas, las reglas basadas en conocimiento se interrelacionan unas con otras aunque por si mismas sean autónomas, por lo tanto, ellas se vuelven rápidamente interdependientes. De esta forma, agregar una nueva regla, podría ocasionar conflictos con las reglas existentes y también podría ocasionar una revisión de atributos.

La utilidad de las reglas de producción se deriva del hecho de que las condiciones para las cuales cada regla es aplicable esta hecha explícita y en teoría, las interacciones entre las reglas están minimizadas. Además, las reglas involucran una sintaxis simple y son flexibles y fáciles de entender, pero sobre todo mejoran la facilidad de explicación.

Los sistemas de producción están compuestos de reglas de producción, memoria de trabajo y un control. Tales sistemas son útiles para controlar la interacción entre conocimiento declarativo y procedural. Estos sistemas han sido usados en muchos SE's, así como también en muchas herramientas de desarrollo para SE's comercialmente disponibles.

Las reglas de producción, pueden ser vistas en algún sentido, como una simulación del comportamiento cognoscitivo de los expertos humanos. De acuerdo con este punto de vista, las reglas no son solamente un formalismo ordenado para representar conocimiento en una computadora, sino que también representan un modelo del actual comportamiento humano.

Las reglas podrían aparecer de diferentes formas:

- SI (IF) premisa ENTONCES (THEN) conclusión: SI sus ingresos son altos, ENTONCES sus posibilidades de ser auditado por la SHCP son altas.
- Conclusión IF premisa: Sus posibilidades de ser auditado son altas SI sus ingresos son altos.
- Inclusión de la cláusula DE OTRA FORMA (ELSE): SI sus ingresos son altos, O (OR) sus deducciones son inusuales, ENTONCES sus posibilidades de ser auditado por la SHCP son altas, DE OTRA FORMA (ELSE) sus posibilidades de ser auditado son bajas.

Pueden existir reglas más complejas, ya que se permite que las premisas y aún las conclusiones puedan ser combinadas a través de operadores como Y (AND) y O (OR).

Son comunes dos tipos de reglas en la IA: Las reglas de conocimiento y las de inferencia. Las primeras, también conocidas como reglas de conocimiento declarativo, registran todos los hechos y relaciones acerca de un problema. Las segundas, sugieren como resolver el problema, dado que se sabe han ocurrido ciertos hechos. Este tipo de reglas no son parte del dominio específico del

¹⁰ Winston, P.H. *Artificial Intelligence* 2da. Edición. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1984.

experto, sino que únicamente son parte del proceso de inferencia. Un ejemplo de este tipo de reglas es el siguiente:

SI(IF) los datos son necesarios y no están en el sistema ENTONCES (THEN) preguntar al usuario u (OR) obtenerlos de otra fuente.

Ventajas y Limitaciones de las reglas.

La representación por reglas es especialmente aplicable cuando existe una necesidad de recomendar un curso de acción basado en eventos observables. Este tiene muchas ventajas:

- Las reglas son fáciles de entender, porque son una forma común de representar conocimiento.
- Las inferencias y explicaciones son derivados fácilmente.
- Las modificaciones y mantenimiento son relativamente fáciles.
- Cada regla es usualmente independiente de todas las otras.

Las principales limitaciones de la representación usando reglas son:

- El conocimiento complejo requiere muchas, pero muchas(miles de) reglas. Esto podría crear problemas a la hora de crear el sistema y de mantenerlo.
- A los desarrolladores les gustan las reglas; por lo tanto, ellos intentan a como de lugar representar el conocimiento a través de reglas, en lugar de buscar una representación más apropiada.
- Sistemas con muchas reglas podrían tener limitaciones de búsqueda en el control del programa. Muchos programas tienen dificultades en evaluar sistemas basados en reglas y poder hacer inferencias derivadas de ellos.

Objetos, atributos y valores.

Una manera común de representar conocimiento es usar objetos, atributos y valores; la llamada tripleta O.A.V. (O.A.V. triplet). Los *objetos* podrían ser físicos o conceptuales. Los *Atributos* son las características de los objetos. Los *valores* son las medidas específicas de los atributos en una situación dada. La tabla 1-3 presenta varias tripletas. Un objeto podría tener muchos atributos. Un atributo en si mismo podría ser considerado como un nuevo objeto con sus nuevos atributos. Las tripletas O.A.V. son usados en la representación en **frames** y en las redes semánticas que se discutirán más adelante.

La tripleta O.A.V. puede ser usada para mostrar orden y relaciones usando una estructura de árbol. Por ejemplo, pueden mostrar herencia, relaciones causales o ser parte o subparte de ligas.

Objeto	Atributo	Valores
Casa	Recámaras	2,3,4, etc.
Casa	Color	Verde, Blanco, Café
Admisión a una universidad	puntaje de grado promedio	3.0, 3.5, 3.7, etc.
Control de inventario	Nivel de inventario	15, 30, 40 etc.
Recámara	Tamaño	3.0 x 4.0 mts, 5.3 x 2.0 mts, etc.

Tabla 1-3.- Tripletas O.A.V. representativas.

Redes semánticas.

Una de las más viejas y de las formas más fáciles de representar conocimiento es la llamada **red semántica**, la cual esta compuesta de nodos y ligas. Las redes semánticas son básicamente una representación gráfica del conocimiento que muestra relaciones jerárquicas entre objetos.

Una red semántica simple es mostrada en la figura 1-7. Está compuesta por círculos o nodos, la cual representa objetos e información descriptiva acerca de ellos. Los objetos pueden ser cualquier cosa, tales como un libro, un coche, una casa o aún personas. Los nodos también pueden ser conceptos, eventos o acciones. Los atributos de un objeto también pueden ser usados como nodos. Estos podrían representar tamaño, color, clase, origen u otras características. De esta forma, puede ser representada información detallada acerca de los objetos.

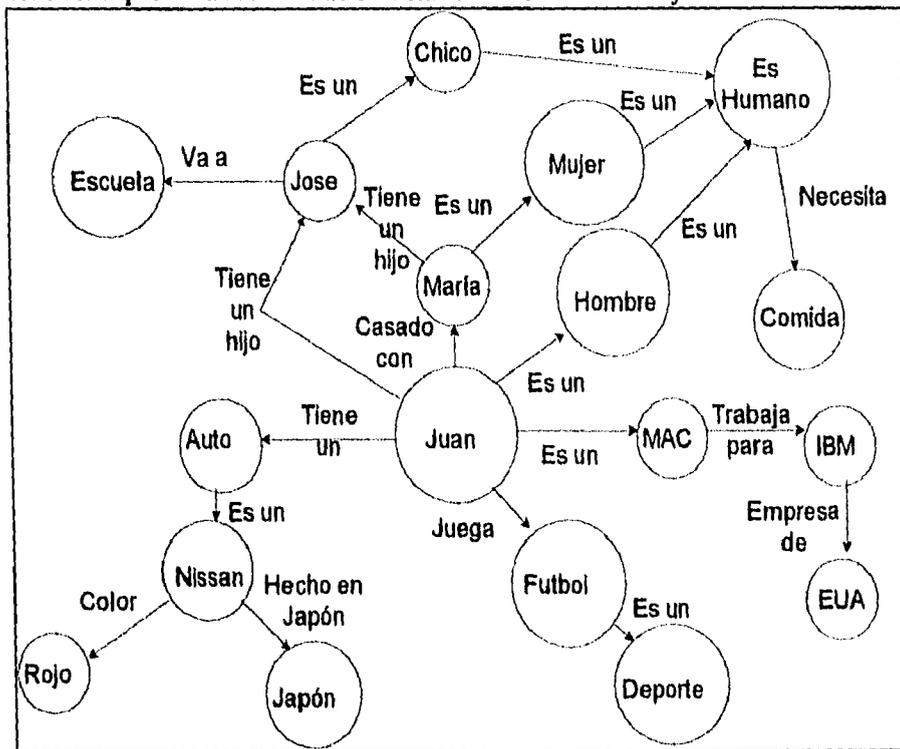


Figura 1-7.- Representación del conocimiento en una red semántica.

Los nodos en una red semántica pueden también estar interconectados a través de ligas o arcos. Estos arcos muestran las relaciones entre varios objetos y sus factores descriptivos. Algunos de los arcos más comunes son los del tipo *es un* o *tiene un(a)*. El primero es usado para mostrar una relación de clase, esto es, que un objeto pertenece a una clase grande o a una categoría de objetos. Por ejemplo, en la gráfica se usa para describir a Juan una liga del tipo *es un* cuando se une al nodo *hombre*, para precisar que pertenece a la clase de los hombres. El segundo (del tipo *tiene un*) se usa para identificar características o atributos de los nodos del objeto. En la gráfica se usa cuando *Juan* se une al nodo *hijo*, para indicar que Juan tiene un hijo. Otros arcos o ligas son usados para propósitos de definición.

Uno de los hechos más interesantes y útiles de una red semántica es que ésta puede tener propiedades de **herencia**. Ya que una red semántica es básicamente una jerarquía, muchas características de algunos nodos pueden heredar las características de otros nodos. Esta propiedad de herencia es de gran utilidad en el proceso de inferencia. De esta forma, se puede representar conocimiento acerca de un evento en particular de una manera fácil y eficiente.

La cantidad de detalle que se incluya en una red semántica depende del tipo de problemas que deben ser resueltos. Si los problemas son generales, menos detalle es necesario y viceversa.

Frames (Marcos).

Un marco es una estructura de datos que incluye todo el conocimiento acerca de un objeto en particular y es organizado en una estructura jerárquica especial. Los marcos son básicamente una aplicación de la **programación orientada a objetos** en la IA y los SE's.

Cada marco describe a un **objeto**. Los marcos, tal y como se usa el término marco de referencia, proporciona una representación estructural concisa del conocimiento en una manera natural. En contraste a otros métodos de representación, los valores que describen a un objeto están agrupadas dentro de una unidad llamada marco (frame). Es decir, un marco, engloba situaciones enteras y complejas en detalle como una sola entidad. El conocimiento es particionado dentro de un marco en ranuras(slots). Una ranura puede describir conocimiento declarativo (tal como el color de una casa) o conocimiento procedural (como activar alguna regla si un valor excede cierto nivel). Las principales capacidades de los cuadros son mostradas en la Tabla 1-4.

CAPACIDADES DE LOS MARCOS
Capacidad para documentar claramente información del dominio del sistema (Clases y atributos del objeto)
Modularidad de información, permitiendo una fácil expansión y mantenimiento del sistema
Una sintaxis mas legible y consistente para referenciar objetos del dominio dentro de las reglas
Plataformas para construir interfaces gráficas con objetos gráficos.
Mecanismos que nos permitirán restringir el alcance de los hechos considerados durante los encadenamientos hacia atrás o hacia delante del motor de inferencias
Accesos a mecanismos que soportan la herencia de información hacia clases inferiores de la jerarquía.

Tabla 1-4. Capacidades de los marcos. ¹¹

Contenido de un marco (frame).

Un cuadro incluye dos elementos básicos: ranuras (slots) y facetas (facets).

Una **ranura (slot)** es un conjunto de atributos que describen al objeto representado por el cuadro. Por ejemplo, en el marco de una computadora (Tabla 1-5), existen las ranuras de peso y procesador.

Cada ranura tiene una o más facetas(facets). Las **facetas** (algunas veces llamadas subranuras) describen algún conocimiento o procedimiento acerca del atributo en la ranura. Las facetas pueden tomar muchas formas:

- **Valores** . Estos describen atributos tales como un color azul, rojo etc.
- **Default** . Esta faceta es usada si la ranura está vacía, esto es, sin ninguna descripción.
- **Rango**. El rango indica que tipo de información puede aparecer en la ranura, por ejemplo, sólo números enteros, números con dos decimales, números de 0 a 100, etc.
- **If added (Si se agrega)** . Esta faceta contiene información procedural o de enlaces. Especifica una acción a ser tomada cuando un valor en la ranura es agregado o modificado. Tales enlaces procedurales son llamados **demons**.

¹¹ Fuente: R.A. Edmonds, "The Prentice-Hall Guide to Expert Systems"; Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1988.

- **If needed** : Esta faceta es usada en el caso de que ningún valor en la ranura es proporcionado. Esta faceta intenta encontrar o calcular los valores necesarios.
- **Otros**. Las ranuras pueden contener marcos, reglas, redes semánticas o cualquier otro tipo de información.

Marco para la computadora:
Clase: Equipo de cómputo.
Origen : E.U.A.
Modelo: PS/1
Peso : 10.3 Kg.
Numero de puertos paralelos: 2
Numero de puertos seriales: 1
Procesador: 80486 DX2.
Velocidad de reloj: 66 MHz.
Disco Duro : 211 MB.
Monitor : Super VGA 1024 x 768 .0.28 dot pitch.
Tarjeta de Vídeo: VRAM 1MB.

Tabla 1-5.- Marco describiendo una computadora.

Jerarquía de Marcos. Herencia.

El arreglo jerárquico de cuadros permite establecer una relación de herencia. La figura 1-8 muestra un conjunto de vehículos que están organizados en un árbol. La raíz del árbol está en la parte más alta, donde se representa el nivel más alto de abstracción. Los marcos de la parte inferior son llamados nodos terminales o caídas del árbol. La jerarquía permite herencia de características de todos los marcos relacionados de niveles mayores.

Los marcos *padres* proporcionan una descripción más general de las entidades y contienen las definiciones de los atributos. Cuando se describen objetos, recurrimos a instancias u ocurrencias específicas del marco padre, las cuales se consideran marcos hijo y contienen valores actuales de los atributos.

Evidentemente, el único marco que no puede tener padres es el más alto en la jerarquía. Este marco es llamado marco maestro o marco raíz y es el que tiene las características más generales. Obviamente, antes de que un marco pueda ser usado, este debe ser identificado como aplicable a la situación que se tiene. Generalmente hablando, esto puede ser hecho comparando el sistema de marcos contra los hechos en la base de conocimiento. El cuadro seleccionado será aquel en el cual más ranuras de los niveles más bajos sean satisfechas. Una vez que los cuadros están almacenados en memoria, son usadas varias técnicas de búsqueda y de reconocimiento de patrones para hacer inferencias de la base de conocimiento disponible. Otro ejemplo es ilustrado en la figura 1-9.

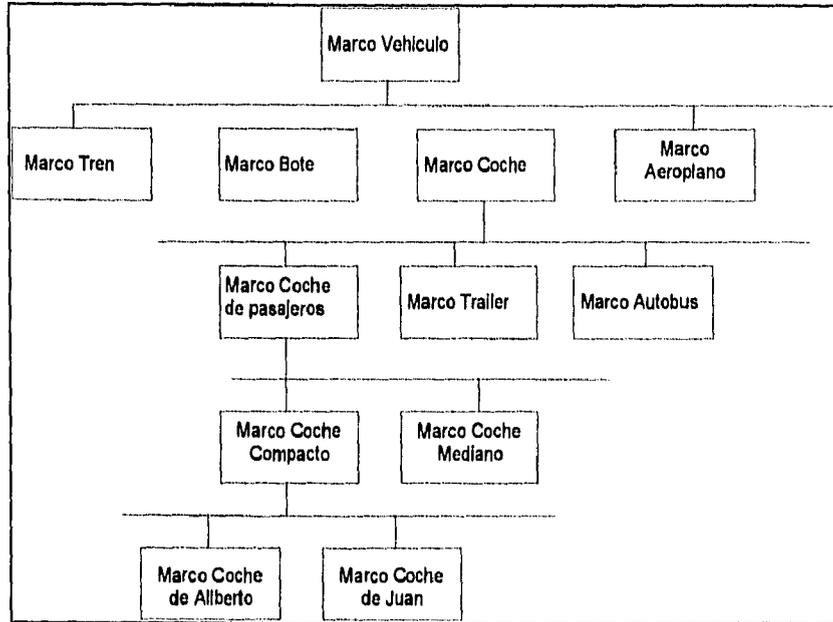


Figura 1-8.-Jerarquía de cuadros describiendo vehículos

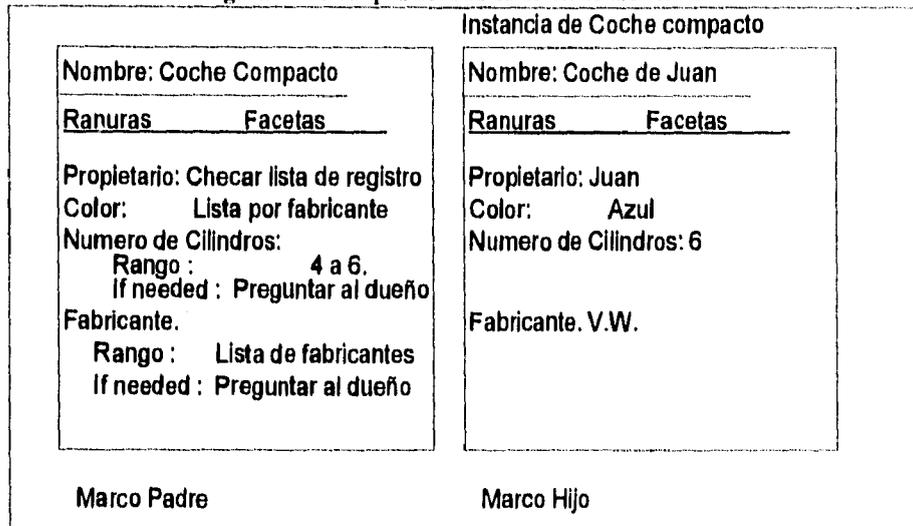


Figura 1-9.- Marcos padre e hijo.

FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.

Tres actividades principales son parte de la construcción y uso de los SE's: Desarrollo, Consulta y Mejoramiento.

Desarrollo.

El desarrollo de un SE involucra la construcción de la base de conocimientos adquiriéndolo de los expertos o de fuentes bien documentadas. El conocimiento es separado en aspectos *declarativos* (factuales) y aspectos *procedurales*. La actividad de desarrollo también incluye la construcción (o adquisición) de un motor de inferencias, un pizarrón (Lugar de Trabajo), una herramienta de explicación y cualquier otra herramienta de software tales como interfaces. Los participantes principales en esta etapa son el experto, el ingeniero del conocimiento y posiblemente algunos programadores , especialmente si existe necesidad de interactuar con otros programas de

computadora. El conocimiento es representado dentro de la base de conocimientos en una forma tal que el sistema pueda arrojar conclusiones mediante un proceso de emulación del proceso de razonamiento de los expertos humanos.

El proceso de desarrollar un SE puede ser grande. Una herramienta que es usada frecuentemente para acelerar el desarrollo es llamada un *Shell para SE*. Los Shells para SE's incluyen todos los componentes genéricos de un SE, pero ellos no incluyen las reglas que representan el conocimiento.

Consulta.

Una vez que el sistema es desarrollado y validado, es transferido a los usuarios. Cuando un usuario quiere un consejo, ellos acuden al SE. El SE conduce la comunicación entre la computadora y el usuario, con el fin de que éste último proporcione información acerca del problema específico. Después de esta entrada de datos al SE, éste intenta alcanzar una conclusión. Este esfuerzo es realizado por el motor de inferencias el cual "decide" que técnicas heurísticas de búsqueda deberán ser usadas para determinar que reglas de la base de conocimientos serán aplicadas al problema. El usuario puede pedir una explicación de la conclusión. La calidad de la capacidad de inferencia está determinada por el método de representación del conocimiento usado y por el poder del motor de inferencias.

A causa de que el usuario es usualmente inexperto en el uso de una computadora, el SE debe ser muy fácil de usar. En el estado actual de la tecnología, el usuario debe sentarse frente a la computadora y proporcionar una descripción del problema (En SE's futuros esta entrada será a través de la voz). El SE hace preguntas y el usuario las responde, muchas preguntas podrán ser hechas y por lo tanto respondidas hasta alcanzar una conclusión. El ambiente de consulta es también usado por el desarrollador durante la fase de desarrollo para probar las herramientas de explicación y la interfaz con el usuario.

Mejoramiento.

Los SE's durante su desarrollo son mejorados muchas veces a través de un proceso llamado **prototipo rápido**.

TIPOS DE PROBLEMAS DIRIGIDOS A SE'S.

Los SE's pueden ser clasificados en muchas formas. Una manera es hacer una categorización genérica de las áreas de problemas generales a los cuales el SE está dirigido. Por ejemplo, el diagnóstico puede ser definido como "un sistema que infiere malos funcionamientos a través de observaciones". El diagnóstico es una actividad genérica realizada en medicina, estudios organizacionales, operaciones de cómputo, etc. Las categorías genéricas de los SE's son listadas en la Tabla 1-6. Algunos SE's pertenecen a dos o más categorías.

Categoría.	Problema dirigido.
Interpretación.	Inferir descripciones de situaciones a partir de observaciones.
Predicción.	Inferir posibles consecuencias a partir de situaciones dadas.
Diagnosís.	Inferir malos funcionamientos a partir de observaciones.
Diseño.	Configurar objetos bajo restricciones.
Planeación.	Desarrollar planes para llevar a cabo metas.
Monitoreo.	Comparar observaciones para encontrar anomalías.
Depuración.	Prescribir remedios para malos funcionamientos.
Reparación.	Ejecutar un plan para administrar un remedio prescrito.
Instrucción.	Diagnóstico, depuración y corrección del rendimiento de estudiantes
Control.	Interpretación, predicción, reparación y monitoreo del comportamiento de un sistema.

Tabla 1-6.- Categorías Genéricas de los SE's.

BENEFICIOS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.

Los SE's pueden proporcionar beneficios importantes a los usuarios. Algunos ejemplos son:

- **Incrementar el rendimiento y la productividad.** Los SE's pueden trabajar más rápido que los humanos. Incrementar el rendimiento significa necesitar menos trabajadores y reducir costos.
- **Incrementar la calidad.** Los SE's pueden incrementar la calidad proporcionando un consejo consistente y reduciendo la tasa de error.
- **Reducción de tiempos.** Muchos SE's operacionales son usados para diagnosticar malos funcionamientos y prescribir reparaciones. Usando un SE es posible reducir tiempos significativamente.
- **Captura de experiencia escasa.** La escasez de experiencia viene a ser evidente en situaciones donde no existan muchos expertos para una determinada tarea, el experto esté a punto de retirarse o dejar el trabajo o que la expertez que se requiera tenga que ser usada en un territorio extenso.
- **Flexibilidad.** Los SE's pueden ofrecer flexibilidad en el campo de la manufactura o en el de la producción de servicios.
- **Eliminación de la necesidad de adquirir equipos costosos.** En muchas situaciones, un experto humano podría realizar complejas tareas de monitoreo y control. En el caso que el experto no estuviera disponible, se requeriría la adquisición de equipo caro que realizaría las mismas funciones. Los SE's pueden realizar las mismas tareas con instrumentos de más bajo costo, porque puede realizar sondeos completos y rápidos de la información proporcionada por los instrumentos.
- **Operación en ambientes peligrosos.** Muchas tareas requieren humanos que deben operar en ambientes peligrosos. Los SE's podrían evitar a los humanos tales ambientes. Los SE's podrían implementarse en conflictos militares extremadamente peligrosos o podrían evitar a los trabajadores tratar con calor, humedad o ambientes tóxicos como en una planta nuclear que presenta mal funcionamiento.
- **Accesibilidad al conocimiento y ayuda a nivel del escritorio.** Los SE's hacen al conocimiento (y a la información) más accesible. La gente puede preguntar a los sistemas y

recibir consejos. Una área de aplicabilidad son las ayudas de escritorio que actúan a la vez como soporte técnico.

- **Confiabilidad.** Los SE's son confiables. Ellos no se aburren o se cansan, no se enferman o hacen huelgas. Los SE's consistentemente ponen atención a todos los detalles y no pasan por alto información relevante ni soluciones potenciales.
- **Incrementar las capacidades de otros equipos computarizados.** La integración de un SE con otros sistemas hace a éstos más efectivos y los hace proporcionar resultados de más alta calidad.
- **Integración de las opiniones de varios expertos.** En ciertos casos, el SE nos fuerza a integrar las opiniones de varios expertos y esto podría incrementar la calidad de las conclusiones o consejos.
- **Habilidad para trabajar con información incompleta o desconocida.** A diferencia de los sistemas de cómputo convencionales, los SE's pueden, como los expertos humanos trabajar con información incompleta. El usuario puede responder con un "no se" o un "no estoy seguro de la respuesta" en una o más preguntas (por supuesto, no todas) que el SE haga durante una consulta y el SE deberá ser todavía capaz de proporcionar una conclusión aunque con cierto grado de incertidumbre. Los SE's pueden trabajar con probabilidades e incertidumbre.
- **Proporcionar entrenamiento.** Los SE's proporcionan entrenamiento. Principiantes que trabajan con un SE se hacen cada vez más experimentados. La herramienta de explicación puede también servir como dispositivo de entrenamiento.
- **Mejoramiento de la solución de problemas.** El mejoramiento del proceso de solución de un problema es posible en un SE ya que incluye los elementos de juicio de las personas más expertas dentro del análisis.
- **Habilidad para resolver problemas complejos.** Los SE's podrán algún día resolver problemas cuya complejidad rebasa la habilidad humana. Algunos SE's ya son capaces de resolver problemas donde el ámbito de conocimiento excede por mucho el de un individuo. Sin embargo, estos problemas tienen un dominio bastante restringido.
- **Transferencia del conocimiento a lugares remotos.** Uno de los grandes potenciales de los SE's es que es fácil transferir el conocimiento a través de las fronteras internacionales. Esto podría ser muy importante para ayudar al desarrollo de países que no pueden pagar por el conocimiento poseído por expertos humanos extranjeros.

PROBLEMAS Y LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS EXPERTOS.

Las metodologías disponibles para SE's no son del todo consistentes ni efectivas, ni siquiera para aquellos tipos de problemas de las categorías genéricas (Véase Tabla 1-6) . Para aplicaciones de modesta complejidad, algunos códigos de SE's, especialmente aquellos construidos con lenguajes de programación procedurales, son generalmente difíciles de entender, depurar , extender y mantener. Se enumeran a continuación algunos factores y problemas que han frenado la propagación de los SE's comerciales:

- El conocimiento no está siempre fácilmente disponible.
- La expertez es difícil de extraer de los expertos humanos.
- El método de solución de cada experto a un problema, podría ser diferente aunque no por eso deje de ser correcta.
- Es difícil, aún para los más adiestrados expertos, abstraer la solución de los problemas cuando ellos se encuentran bajo la presión del tiempo.
- Los SE's solamente trabajan bien en un dominio restringido, muchas veces en dominios muy restringidos.
- Muchos expertos no tienen medios independientes de verificar si sus conclusiones son razonables.
- El vocabulario que los expertos usan para expresar hechos y sus relaciones, es frecuentemente limitado y no es entendible para otros.
- Se necesita ayuda de ingenieros del conocimiento quienes son escasos y sus servicios son bastante caros. Un hecho que podría significar que el precio de la construcción de un SE se incrementa de manera importante.
- La falta de confianza de los usuarios finales en los SE's, es una barrera significativa.
- Los SE's podrían no ser capaces de arribar a conclusiones, especialmente en las etapas de prototipo del sistema.

Estas limitaciones claramente indican que los SE's de hoy no tienen un comportamiento humano generalmente llamado inteligente. Muchas de estas limitaciones disminuirán o desaparecerán con los mejoramientos tecnológicos a medida que avance el tiempo.

"¿Quieres ser médico, hijo mío? Aspiración es, de una alma generosa, un espíritu ávido de ciencia. Descas que los hombres te tengan por un Dios que alivia sus males y ahuyenta de ellos el espanto?"

"¿Has pensado bien en lo que ha de ser la vida? Tendrás que renunciar a la vida privada; mientras la mayoría de los ciudadanos pueden, terminar su tarea, aislarse lejos de los importunos, tu puerta quedará abierta a todos; a toda hora del día o de la noche, vendrán a turbar tu descanso, tus placeres, tu meditación; ya no tendrás horas que dedicar a la familia, a la amistad o al estudio; ya no te pertenecerás".

"Tu vida transcurrirá como a las sombras de la muerte, entre el dolor de los cuerpos y de las almas, entre los duelos y la hipocresía que calcule a la cabecera de los agonizantes: la raza humana es un Prometeo desgarrado por los buitres".

"Te verás sólo en tus tristezas, sólo en los estudios, sólo en medio del egoísmo humano, ni siquiera encontrarás apoyo entre los médicos, que se hacen sorda guerra por intereses o por orgullo. Únicamente la conciencia de aliviar males podrá sostenerte en tus fatigas. Piensa mientras estás a tiempo; pero si, indiferente a la fortuna, a los placeres de la juventud; si sabiendo que te verás sólo entre las fieras humanas, tienes una alma bastante estoica para satisfacer con el deber cumplido sin ilusiones; si te juzgas bien pagado con la dicha de una madre, con la cara que sonríe porque ya no padece, o con la paz de un moribundo a quien ocultas la llegada de la muerte; si ansias conocer al hombre, penetrar todo lo trágico de su destino. *HAZTE MEDICO, HIJO MIO*".

Fragmento de los consejos de Esculapio
Médico Griego.

CAPÍTULO II.- DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DEL EDEMA CEREBRAL CAUSADO POR TRAUMATISMO CRÁNEO ENCEFÁLICO.

PARTE 1. ELEMENTOS PARA EL DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DEL EDEMA CEREBRAL CAUSADO POR TRAUMATISMO CRÁNEO ENCEFÁLICO.

DEFINICIÓN DE EDEMA CEREBRAL.

El edema cerebral permanece como un enigma clínico y se han dado de él muchas descripciones, enunciándose aquí la realizada por Virchow el cual definió al edema cerebral como **"el incremento en el contenido líquido del tejido cerebral ocasionando en forma proporcional un incremento en el volumen cerebral."**

La génesis del edema cerebral es la desintegración de la barrera hematoencefálica, que afecta al metabolismo basal, alterando la estructura biológica y la función tisular. La fisiología y fisiopatología de la barrera hematoencefálica es dinámica y funcional dependiendo del transporte celular, solubilidad de lípidos, constantes de disociación, difusión pasiva y de gradientes osmóticos entre otros.

Al mismo tiempo, la conservación del principio de conservación de la energía, en presencia de las alteraciones cuánticas, conduce a un nuevo principio de conservación.

DEFINICIÓN DE LA ENERGÍA CUANTICA O CUANTICA DE ENERGÍA

La literatura mundial sobre el tema, no tiene en cuenta el hecho de que no existe una definición al respecto en la literatura. En consecuencia, el Criterio Fundamental (C.F.) de la física cuántica, como la física clásica, es la energía variable, expresada directamente en función de la posición y el tiempo, con referencias en la función de onda de la materia.

DEFINICIÓN DE LA ENERGÍA CUANTICA O CUANTICA DE ENERGÍA

Estos conceptos se refieren a la energía cuántica, que es la energía de la materia, en presencia de las alteraciones cuánticas, que se manifiesta en la forma de ondas de materia, que se propagan en el espacio y el tiempo, y que se caracterizan por su frecuencia y longitud de onda. La energía cuántica es la energía de la materia, que se manifiesta en la forma de ondas de materia, que se propagan en el espacio y el tiempo, y que se caracterizan por su frecuencia y longitud de onda. La energía cuántica es la energía de la materia, que se manifiesta en la forma de ondas de materia, que se propagan en el espacio y el tiempo, y que se caracterizan por su frecuencia y longitud de onda.

DEFINICIÓN DE LA ENERGÍA CUANTICA O CUANTICA DE ENERGÍA

Estos conceptos se refieren a la energía cuántica, que es la energía de la materia, en presencia de las alteraciones cuánticas, que se manifiesta en la forma de ondas de materia, que se propagan en el espacio y el tiempo, y que se caracterizan por su frecuencia y longitud de onda. La energía cuántica es la energía de la materia, que se manifiesta en la forma de ondas de materia, que se propagan en el espacio y el tiempo, y que se caracterizan por su frecuencia y longitud de onda.

Estos conceptos se refieren a la energía cuántica, que es la energía de la materia, en presencia de las alteraciones cuánticas, que se manifiesta en la forma de ondas de materia, que se propagan en el espacio y el tiempo, y que se caracterizan por su frecuencia y longitud de onda.

Al romperse la barrera permite el paso de sustancias que afectan al metabolismo basal e inducen a las alteraciones agudas y crónicas modificando la morfología de los tejidos.

DEFINICIÓN DE TRAUMATISMO CRÁNEO ENCEFÁLICO.

La literatura mundial utiliza el término traumatismo cráneo encefálico, pero sorprendentemente no existe una definición al respecto, según el neurocirujano Dr. Miranda Lovera, el Traumatismo Cráneo Encefálico (TCE) se define como **la lesión aguda producida por un mecanismo de energía variable, ejercida directamente sobre la cabeza, que afecta al cráneo y su contenido con repercusión en la función neurológica del individuo.**

DEFINICIÓN DE HIPERTENSIÓN INTRACRANEAL.

Así como la presión arterial sanguínea sistémica está referida al corazón del paciente, la Presión Intracraneal esta referida a su cabeza, más específicamente al forámen de Monro. En adultos, la media normal de Presión Intracraneal generalmente está entre 0 y 10 mm Hg.¹ Elevaciones fisiológicas transitorias de la Presión Intracraneal pueden ocurrir con estornudos, bostezos o accesos de tos. Casi arbitrariamente, una presión de 20 mm Hg. es usada como un límite superior de aceptabilidad de presión normal en pacientes con Traumatismo Cráneo Encefálico. Valores de la Presión Intracraneal entre 21 y 40 mm Hg. son considerados moderadamente elevados, mientras que una presión de 41 mm Hg. o mayor es descrita como hipertensión intracraneal severa². Ha sido sugerido que un tratamiento con cuidados intensivos de la Presión Intracraneal sea practicado cuando ésta alcance los 15 mm Hg.; ésto podría ser más benéfico que si se hiciera, como ocurre con frecuencia, cuando alcanza los niveles entre 20 y 25 mm Hg.³ Debería establecerse que los valores absolutos de la Presión Intracraneal deben ser discutidos dependiendo del contexto en el cuál está siendo tratada. Por ejemplo, pueden ser tolerados altos niveles de la Presión Intracraneal en pacientes con seudotumores. Por el contrario, pacientes con hematomas en el lóbulo temporal o lesiones en la fosa posterior pueden agravarse sin una elevación significativa de la Presión Intracraneal.

COMPENSACIÓN DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL .

El aumento de volumen de cualquiera de los compartimientos intracraneales (sangre, cerebro y líquido cefalorraquídeo) producen aumento concomitante de la Presión Intracraneal, con lo que puede producirse una descompensación del sistema. El aumento de la presión del líquido se compensa con compresión de los sistemas venosos epidural e intracraneano. Cuando el aumento de la Presión Intracraneal es tan alto que la acerca a los valores de la presión diastólica, su curva se aplana, tal vez por expulsión de sangre del sistema arterial; si alcanza los mismos valores de la presión sistólica el incremento aumenta en forma exponencial.

Un incremento de la Presión Intracraneal puede provocar una lesión irreversible del Sistema Nervioso Central. En estado normal la presión es inferior a los 10 mm Hg. y cuando sus valores superan los 20 mm Hg. se produce lesión neuronal por isquemia o herniación. A mayor presión, por lo demás, existirá menor perfusión cerebral.

La doctrina Monro-Kellie establece que el volumen del compartimiento intracraneal debe permanecer constante porque el cráneo es una caja no expansible (cerrada). Esto es, el volumen

¹ Welch K: *The Intracranial Pressure in Infants.* J Neurosurg 39:416-419, 1973.

² Johnston IH, Johnston JA, Jennet B: *Intracranial Pressure changes following head injury.* Lancet 2: 433, 1970 .

³ Marshall LF, Smith RW, Shapiro HM: *The outcome with aggressive treatment in severe head injuries.* J. Neurosurg 50:20-25, 1979.

de los contenidos normales del cráneo - cerebro, sangre y el Líquido Cefalorraquídeo debe compensar la presencia de cualquier masa adicional, tal como un hematoma, dentro del espacio craneal (figura 2-12). El volumen intracraneal en adultos es de aproximadamente 1900 ml. y es ocupada por el cerebro en 80%, 10% por sangre y 10% por Líquido Cefalorraquídeo.⁴ A causa de que el cerebro relativamente no esta sujeto a compresión, la sangre venosa, Líquido Cefalorraquídeo y sangre arterial es usualmente responsable de esta compensación. Sin embargo, una vez que el desplazamiento máximo de estos fluidos ha ocurrido, cualquier incremento adicional en el volumen de la masa causa un incremento exponencial en la Presión Intracraneal (figura 2-1). La Presión Intracraneal inicialmente no da ninguna indicación de donde se encuentra el paciente a través de la curva presión volumen (figura 2-2). En otras palabras, una Presión Intracraneal normal puede ser encontrada en un paciente con una capacidad considerable para compensar los incrementos en el tamaño de un hematoma intracraneal, así como también en uno que está a punto de descompensarse y entrar en una fase de descompensación exponencial e hipertensión intracraneal irreversible.

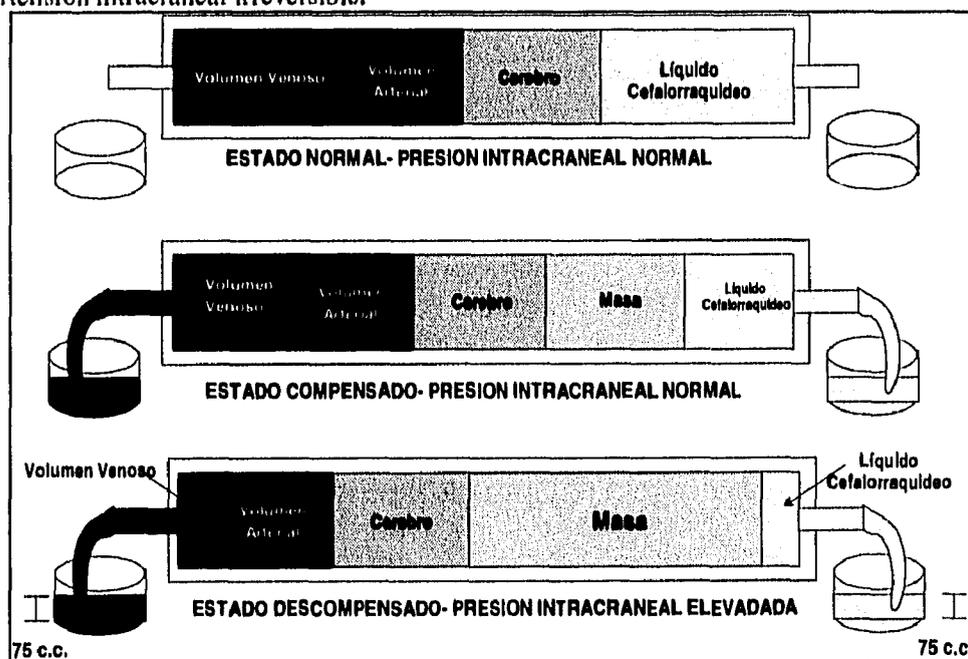


Figura 2-1.- Compensación Intracraneal.

⁴ Pacult A, Gudeman SK: *Medical Management of head injuries*. In Becker DP, Gudeman SK (Eds.): *Textbook of head injury*. Philadelphia, W.B. Saunders Company, 1989, pp 209-220..

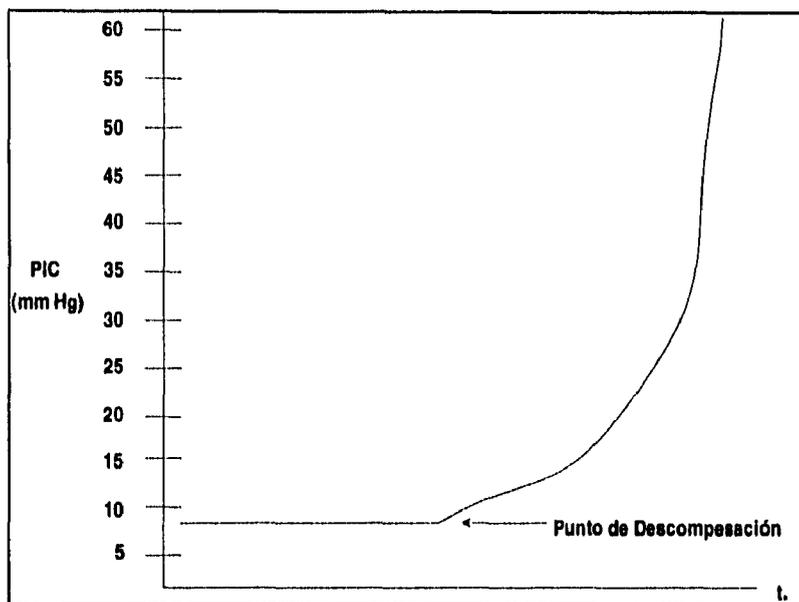


Figura 2-2.-Curva Presión Volumen de la PIC.

ELASTANCIA CEREBRAL.

Este concepto fue introducido como una manera de establecer la capacidad del eje craneoespinal para compensar la presencia de una masa extraña. En otras palabras, ésta medida intenta determinar donde se encuentra la evolución de un paciente en la curva presión-volumen. Es definida como el cambio resultante de la Presión Intracraneal a partir del cambio en una unidad del volumen del Líquido Cefalorraquídeo. Es usualmente cuantificada como la respuesta presión-volumen (RPV), el cual es el aumento inmediato de la Presión Intracraneal en respuesta de una inyección intracraneal de 1 ml. de fluido a través de un segundo. En un sujeto normal, la RPV es de 0 a 2 mm Hg./ml. Valores de 3 a 4 mm Hg./ml. son a menudo vistos después de una cirugía de trauma craneal y valores de 10 a 20 mm Hg./ml. usualmente indican la presencia de una lesión de masa (p.e. un hematoma).

MONITOREO DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

Desde los primeros tiempos de la neurocirugía, el tratamiento de los pacientes con hipertensión intracraneal ha sido parte de la labor diaria del neurocirujano.

Los primeros intentos de medir la Presión IntraCraneana (PIC) fueron practicados por Quinke⁵ a principios de este siglo a través de punción lumbar, sin embargo, como se realizaban mediciones únicas, fue señalado posteriormente como potencialmente dañino, ya que se afirmaba que cualquier drenaje de Líquido Cefalorraquídeo (LCR) cuando existe hipertensión intracraneal puede producir herniación del cerebro.

Los trabajos de Guillaume J. y Janny P.⁶ en el año de 1951 y Lundberg⁷ en 1960, establecieron la técnica de la punción intraventricular con un catéter conectado a un transductor y éste a un

⁵ Quinke H: *Lumbar Puncture*. In Church A (ed): *Modern Clinical Medicine, Disease of the Nervous System*. New York, Appleton, 1911.

⁶ Guillaume J. y Janny P.: *Monometrie Intracranienne Continuée; Intérêt physio-pathologique et clinique de la method*. Presse Med 59: 953, 1951.

polígrafo. Fueron los que difundieron la factibilidad y utilidad del monitoreo continuo de la Presión Intracraneal en humanos para el diagnóstico y tratamiento de muchos desordenes intracraneales. Demostraron que pacientes con Traumatismo Cráneo Encefálico podían beneficiarse directamente de este monitoreo. También confirmaron que la sola examinación neurológica es un factor indicador poco confiable de la Presión Intracraneal.

El mayor conocimiento de los factores fisiopatológicos que regulan el comportamiento del conjunto craneoespinal ante situaciones de aumento de volumen y la reducida morbilidad que esta técnica presenta ha ido venciendo el escepticismo clínico en el uso rutinario y sistematizado de ésta técnica de monitoreo.

A partir de entonces y hasta 1979 se desarrollaron una serie de técnicas y mecanismos encaminados a obtener una medición continua confiable y con menos riesgos en su aplicación. Sin embargo, los métodos presentaban ventajas uno con respecto del otro pero con desventajas en forma global ya que limitaban su uso en gran escala.

Para 1979 Becker et al⁸ enfatizaron la importancia de una pronta intubación y parálisis médica del paciente con lesiones severas de cabeza. Con la invención de la Tomografía Axial Computarizada (TAC), la morfología de las lesiones cerebrales se hicieron más evidentes, sin embargo, también fue claro que las lesiones en la cabeza involucraban fenómenos que podrían ser prácticamente imposibles de detectar a partir de una TAC. Esto es, el papel del monitoreo de la Presión Intracraneal junto con la examinación clínica, la TAC y otras modalidades de diagnóstico son en conjunto ampliamente reconocidas como una buena forma de seguimiento de la evolución de un paciente con hipertensión intracraneal.

TECNOLOGÍA ACTUAL DE MONITOREO DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL.

Aunque la tecnología de monitoreo de la Presión Intracraneal ha estado continuamente evolucionando, el catéter ventricular (ventriculostomía), permanece como la técnica preferida y la única contra la cual las otras técnicas de monitoreo de la Presión Intracraneal son comparadas. Además de ésta, el perno subaracnoideo y el dispositivo de fibra óptica son comúnmente usados. Estos tres dispositivos son discutidos a continuación:

Ventriculostomía.

Como se estableció, la ventriculostomía es el estándar de oro. El catéter ventricular, es usualmente insertado sobre la línea de la mitad de la pupila derecha casi a la altura de la sutura coronal (figura 2-3). En este punto, se inserta el catéter en dirección hacia el punto imaginario donde el hueso nasal y el oído opuesto se encuentra, hasta una profundidad de aproximadamente 7 cm. Esto es, entra hasta la parte frontal más alta del ventrículo frontal y ahí, Líquido Cefalorraquídeo (LCR) es usualmente encontrado. Este dispositivo es cuidadosamente colocado bajo la Duramadre y es acoplado a un pequeño tubo para transportar el fluido hacia un transductor externo de presión. Este sistema puede ser puesto a cero tantas veces como sea necesario y recalibrado contra un estándar externo. Además, este sistema permite el drenaje de Líquido Cefalorraquídeo que también es una herramienta terapéutica para controlar la presión intracraneal elevada. Sin embargo, existe la desventaja de que su colocación deber ser hecha en un espacio muy pequeño, o en el caso del edema cerebral, el de estar desplazados los ventrículos o el de

⁷ Lundberg N: *Continuous Recording and Control of Ventricular Fluid Pressure in Neurosurgical Practice*. Acta Psychiatr Neurol Scand 36: 1-193, 1960.

⁸ Becker DP, Miller JD, Ward JD, et al: *The outcome from severe head injury with early diagnosis and intensive management*. J Neurosurg 47: 491-502, 1977.

obstruirse con los espacios ventriculares ocasionando lesiones y teniendo un riesgo de infección ligeramente mayor que los otros dos dispositivos.

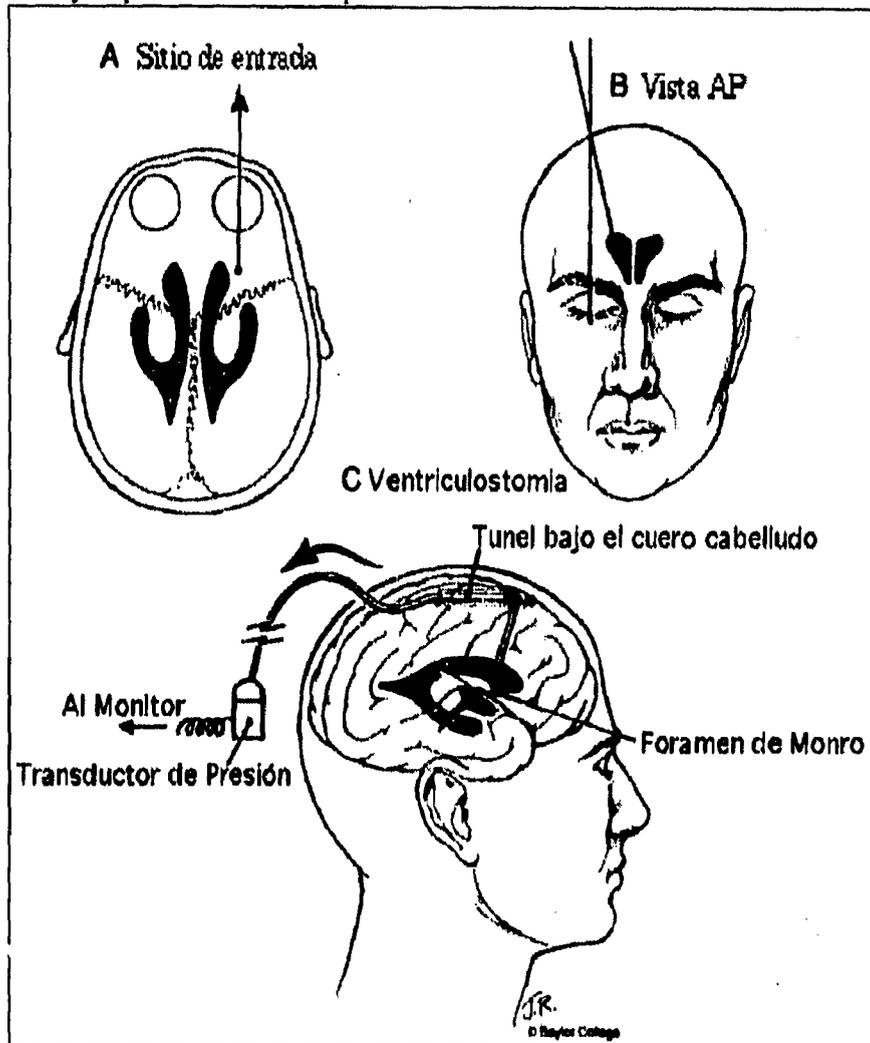


Figura 2-3.- Colocación del catéter ventricular⁹.

La técnica original de Lundberg del catéter intraventricular permanece como la técnica más confiable y popular para registrar la Presión Intracraneal visualmente.

Perno Subaracnoideo

Este dispositivo fue diseñado para medir la Presión Intracraneal en el espacio subaracnoideo¹⁰. Es puesto en un orificio no muy grande realizado por un taladro y es colocado encima de la Duramadre para acoplar Líquido Cefalorraquídeo a un tubo lleno de fluido, igual que la ventriculostomía. A pesar de que este dispositivo fue creado para medir la presión subaracnoidea, la membrana aracnoidea es dejada intacta. Muchos otros dispositivos basados en el mismo principio han sido descritos. La ventaja principal de estos pernos es que no requieren la

⁹ Fuente : Malcolm J. Kanter y Raj K. Narayan : *Intracranial pressure monitoring*; En *Neurosurgery Clinics of North America*, Vol. 2, No. 2, Abril de 1991. 257-265.

¹⁰ Vries JK, Becker DP, Young HF: *A subarachnoid screw for monitoring intracranial pressure*. Technical note. *J Neurosurg* 39:416-419, 1973.

canulación del ventrículo lateral y pueden por lo tanto ser usados en pacientes con ventrículos comprimidos. Sin embargo, una desventaja significativa del perno subaracnoideo es que cuando existe una gran inflamación del cerebro, el puerto del monitor puede ser obstruido por tejido cerebral, resultando ésto en lecturas erróneas bajas de la Presión Intracraneal^{11 12}. Este problema puede también ocurrir en catéteres puestos subduralmente (bajo la duramadre)¹³.

Dispositivos de Fibra Óptica.

Los dispositivos de monitoreo de presión a base de fibra óptica fueron inicialmente diseñados para uso intravascular, recientemente han sido exitosamente adaptados para monitoreo de la Presión Intracraneal. El catéter de fibra óptica puede ser puesto en el ventrículo lateral, en el parenquima cerebral o en el espacio subdural. Esta es una ventaja significativa en presencia de ventrículos oprimidos. La desventaja primordial de este sistema es que no puede ser recalibrado o puesto a cero, a menos que una ventriculostomía sea usada simultáneamente. Sin embargo, a causa de que no es un sistema acoplado por fluido, no es obstruido por burbujas de aire y desechos, y proporciona un artefacto de registro confiable y de mayor precisión que los dos dispositivos anteriores.

ESCALA DE COMA DE GLASGOW.

Es indispensable realizar un examen neurológico como parte de la evolución general del paciente traumatizado. El repetir el examen neurológico con frecuencia y anotar los cambios en relación con la primera evaluación establece las prioridades de evaluaciones diagnósticas futuras y con frecuencia sirve para dirigir el tratamiento y las prioridades quirúrgicas.

La escala de coma de **Glasgow** (EG) (Tabla 2-1) proporciona información objetiva en relación con el nivel de conciencia y se correlaciona bien con la recuperación después de la lesión. Sin embargo, se presentan algunos problemas al utilizarla. La evaluación con esta escala puede no ser exacta en pacientes que se encuentran en estado de choque, hipóxicos o intoxicados. Las lesiones asociadas, como los traumatismos bilaterales a la órbita o las lesiones de la columna cervical, pueden interferir con algunos componentes de la escala. Además, no puede realizarse una evaluación fidedigna en los pacientes agitados o que no cooperan y que están recibiendo medicamentos o intubados. Tampoco puede aplicarse a niños pequeños. Por último, la valoración que mide sólo la mejor respuesta motora no indica si hay signos de lateralización o deterioro. Por ello, se requiere además del uso de la escala, un examen neurológico muy detallado.

Los siguientes aspectos son componentes clave de la evaluación neurológica:

1. Nivel de conciencia.
2. Tamaño y reactividad de las pupilas.
3. Movimientos oculares y respuestas óculo-vestibulares.
4. Respuestas motoras del músculo esquelético.
5. Patrón de respiración.
6. Examen de sensibilidad periférica.

¹¹ Mendelow DA, Rowan JO, Munrray L, et al: *A clinical comparison of subdural screw pressure measurements with ventricular pressure*. J Neurosurg 58:45-50, 1983.

¹² Mickell J, Cook DR, Reigel DH, et al: *Intracranial pressure monitoring in Reye-Johnson syndrome*. Crit Care Med 4:1-7, 1976.

¹³ North B, Reilly P: *Comparison among three methods of intracranial pressure recording*. Neurosurgery 18:730-732, 1986.

El aspecto más importante es la determinación del nivel de conciencia. El estado de inconciencia puede ser producido por una lesión bilateral a la corteza cerebral o por daño al sistema activador reticular ascendente del tallo cerebral. En algunos pacientes es imposible determinar la causa precisa de la inconciencia, aunque, en general, puede determinarse con exactitud el grado de conciencia. (Tabla 2-2).

Siempre deben evaluarse las pupilas para ver si su tamaño es simétrico (una diferencia > 1 mm entre el diámetro de ambas es anormal) y si son reactivas a la luz. Las pupilas reaccionan a la luz que reciben constriñéndose o dilatándose. Estas respuestas están controladas por los sistemas nerviosos simpático y parasimpático. (Las vías parasimpáticas aferentes comienzan en las células ganglionares de la retina y siguen por el nervio óptico y la vía óptica hasta el área pretectal. Las vías aferentes viajan por el nervio motor ocular común hacia la órbita.) En vista de que las áreas del tallo cerebral que controlan la conciencia son adyacentes (desde el punto de vista anatómico) a las regiones que controlan las pupilas, los cambios pupilares constituyen una guía muy útil para detectar y localizar padecimientos del tallo cerebral o condiciones que causen coma, incluyendo los traumatismos. Las vías pupilares son relativamente resistentes al daño metabólico, de ahí que la presencia o ausencia del reflejo luminoso sea el dato físico aislado más valioso en la distinción de las lesiones anatómicas del coma metabólico. Aún cuando exista traumatismo ocular, debe descartarse la presencia de lesión intracraneal. Al revisar la reactividad de las pupilas debe tenerse en cuenta la rapidez de la respuesta, las respuestas lentas pueden ser indicio de lesiones intracraneales.

Prueba	Respuesta	Puntuación
Apertura ocular	Espontánea	4
	A orden verbal	3
	A dolor	2
	Ausente	1
Mejor Respuesta motora	Obedece a orden verbal	6
	Localiza el estímulo doloroso	5
	Respuesta de flexión alejándose del dolor	4
	Respuesta anormal de flexión ante el dolor (rigidez de decorticación)	3
	Respuesta extensora ante el dolor (rigidez de descerebración)	2
	Ninguna	1
Mejor Respuesta verbal	Conversación orientada	5
	Conversación desorientada	4
	Palabras inadecuadas	3
	Sonidos incompresibles	2
	Ninguno	1

Total	3-15
--------------	-------------

Tabla 2-1.- Escala de Coma de Glasgow.

La respuesta motora del músculo esquelético es uno de los componentes más útiles de la valoración neurológica y se correlaciona bien con la evolución. Es de gran importancia determinar si existen signos de lateralización o de respuestas motoras focales. Si los pacientes no

obedecen las órdenes verbales, se aplica un estímulo doloroso en las uñas de los dedos de las manos y pies. Las respuestas se evalúan de acuerdo con la escala de Coma de Glasgow.

Nivel de conciencia	Descripción
Conciencia total	El paciente está al tanto de si y del ambiente que le rodea.
Conciencia somnolienta	Disminución de la alerta, en el grado de vigilia, períodos de hiperexcitabilidad e irritabilidad que alternan con períodos de somnolencia, el paciente es incapaz de mantener la atención.
Delirio	Desorientación, irritabilidad, temor, alteraciones en la percepción de los estímulos sensoriales. Las alucinaciones visuales, son un estado común en las alteraciones tóxicas y metabólicas.
Obnubilación	Bloque o torpeza mental, reducción leve o moderada del estado de alerta, disminución en el interés por el ambiente.
Estupor	Estado de falta de respuesta que recuerda al sueño profundo, del cual sólo puede despertarse al paciente por medio de estímulos vigorosos y repetidos. Tan pronto como el estímulo cesa, el paciente regresa al estado de falta de respuesta.
Coma	Estado de falta de respuesta psicológica del cual el paciente no puede despertar, en el cual permanece con los ojos cerrados, sin respuestas obvias a los estímulos externos, incapaz de localizar en forma exacta los estímulos dolorosos, ante los cuales sólo realiza movimientos discretos de defensa.

Tabla 2-2.- Niveles de conciencia.

PARTE 2. DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DEL EDEMA CEREBRAL CAUSADO POR TRAUMATISMO CRÁNEO ENCEFÁLICO.

DIAGNÓSTICO.

DIAGNÓSTICO A PRIORI.

Es el neurocirujano, el responsable y el capacitado para dar un diagnóstico inicial del paciente tomando en cuenta el mecanismo del trauma, las tomografías computarizadas TAC, las placas de rayos X, angiografías y una evaluación del estado de consciencia del paciente. Un diagnóstico de este tipo no se considera pueda ser dado por el sistema que se está desarrollando.

DIAGNÓSTICO A POSTERIORI.

Un diagnóstico posterior respecto al estado del paciente, debe entenderse aquí como una interpretación experta del pronóstico de la evolución del paciente, tomando en cuenta factores tales como : edad, sexo, peso y estatura del paciente, las observaciones hechas en la tomografía axial computarizada TAC, Rayos X, Electroencefalogramas etc.. También se dará un pronóstico de la calidad de vida que tendrá el paciente después del trauma. Evidentemente este pronóstico de calidad de vida es aplicable únicamente a pacientes que sobrevivan al Traumatismo Cráneo Encefálico.

FACTORES PRONÓSTICOS EN EL TRAUMATISMO CRANEOENCEFÁLICO.

El traumatismo craneoencefálico (TCE) representa en la sociedad moderna una de las causas más importantes de muerte e invalidez, sobre todo en la población joven masculina. Gennarelli et al.¹⁴ observaron una tasa de mortalidad tres veces más elevada en los TCE que en cualquier otro tipo de traumatismo grave sin afectación del sistema nervioso central. Asimismo el índice de secuelas, sobre todo neuropsicológicas, es superior a otros procesos neurológicos graves como esclerosis múltiple, accidentes cerebrovasculares, distrofia muscular, etc, en personas menores de 65 años.

En el resultado vital y funcional del TCE intervienen numerosos factores que derivan, entre otros, de su propia complejidad fisiopatológica, de condiciones intra y/o extracerebrales que acompañan al TCE, los cuales, como señalaron Jennett y Teasdale¹⁵ impiden predecir con facilidad el resultado individual en el lesionado cerebral. Sin embargo, es necesario disponer de criterios de predicción fiables de supervivencia y secuelas neuropsicológicas, dado los elevados recursos económicos, técnicos y humanos que el tratamiento actual del TCE requiere y por otro lado, como base para evaluar el impacto sobre el resultado de las nuevas tecnologías diagnósticas y terapéuticas.

Aquí, nos referiremos exclusivamente a los factores pronósticos precoces (evaluables en las primeras 48 horas).

¹⁴ Gennarelli TA, Champion HR, Sacco WJ et al. *Mortality of patients with head injury and extracranial injury treated in trauma centers.* J Trauma 1989; 29: 1193-1198.

¹⁵ Jennett B, Teasdale G. *Pronóstico de los traumatismos craneales graves.* En: Jennett B, Teasdale G (Eds) *Diagnóstico y tratamiento de los traumatismos craneoencefálicos.* Salvat, Barcelona, 1986. pg.343-358.

EVALUACIÓN DEL RESULTADO EN EL TCE.

La *Escala Pronóstica de Glasgow (EPG)* (Tabla 2-3) sigue empleándose en neurotraumatología para describir el resultado de los pacientes y valorar el peso de los distintos índices pronósticos¹⁶. Dicha escala considera la supervivencia y los resultados funcionales de forma global, según la capacidad del paciente para incorporarse a la vida familiar, social, o laboral. La sencillez y uso generalizado de esta escala no la han librado de numerosas críticas, ya que escapan a su valoración las secuelas neuropsicológicas moderadas que afectan a áreas de la personalidad, emotividad, memoria, atención, etc, y dificultan la plena integración del individuo. Actualmente, los estudios de pruebas neuropsicológicas¹⁷ se van incorporando de forma rutinaria para el estudio detallado del resultado funcional de los pacientes clasificados con buena recuperación según la EPG.

Puntuación	Descripción
1. Fallecido	
2. Estado vegetativo	Paciente inconsciente. Incapaz de realizar ninguna función vital de forma autónoma.
3. Secuelas graves:	Paciente consciente, pero necesita el concurso de otra persona para funciones elementales de la vida diaria.
4. Secuelas moderadas:	Paciente que puede realizar de forma independiente las actividades de la vida diaria, e incluso trabajar en actividades menos complejas o en las previas con ayuda.
5. Buena recuperación:	El paciente puede reincorporarse a la vida social y laboral aunque persista algún tipo de secuela neurofísica como anosmia, paresia facial, etc.

Tabla 2-3.- Escala Pronóstica de Glasgow (EPG).

FACTORES PREDICTIVOS.

El enorme interés que el pronóstico suscita en neurotraumatología queda de manifiesto por los numerosos índices publicados hasta la fecha, los cuales sin duda se incrementarán en sucesivas reuniones de expertos y publicaciones especializadas. En este apartado analizaremos la capacidad predictiva precoz y aislada de estos factores enumerados y más adelante la posible interacción entre algunos de ellos. Existen algunos factores pronósticos en la literatura mundial como lo son los potenciales evocados multimodales y otros que suponen que la unidad de neurotraumatología tenga una infraestructura farmacológica y de laboratorio muy difícil de encontrar en México y en general en países subdesarrollados. Los factores pronósticos expuestos, fácilmente asequibles a la mayoría de las unidades de neurotraumatología, son los que a continuación se mencionan:

- Edad
- Nivel de conciencia
- Tiempo de duración del coma
- Duración de la amnesia postraumática

¹⁶ Jennett B, Bond M. *Assesment of outcome after severe brain damage. A practical scale.* Lancet 1975; 1:480-484.

¹⁷ Bruce DA, Gennarelli TA, Langfitt TW. *Resuscitation from coma due to head injury.* Crit Care Med 1978; 6:254-269.

- Reacción pupilar
- Ausencia de reflejos troncoencefálicos
- Fractura de cráneo
- Presencia de lesión ocupante de espacio
- Hipertensión intracraneal
- Patología traumática asociada

Edad.

Por si sólo no es un determinante absoluto del pronóstico, sin embargo, la mayoría de los autores coinciden en obtener mejor supervivencia y recuperación funcional en pacientes más jóvenes, sobre todo niños, ante un estado neurológico similar, exceptuando los menores de 3 años cuyo pronóstico es similar al adulto^{18 19 20}. A la menor incidencia de hipertensión endocraneal y de lesiones ocupantes de espacio quirúrgicas en los jóvenes se han atribuido a estos mejores resultados^{21 22}. No obstante, dos estudios diferentes no encontraron significación pronóstica a la edad en poblaciones mayores de los 12 años^{23 24}. Los resultados extraídos en EE.UU. del *Traumatic Coma Data Bank* donde se incluyeron 746 TCE muestran que la edad sólo fue un determinante del pronóstico en los pacientes con lesiones hemorrágicas intracraneales. En el grupo total y en el subgrupo de pacientes con lesiones difusas la edad no condicionó el pronóstico. La edad a partir de la que se observaron cambios en el pronóstico en el grupo con lesiones ocupantes de espacio fueron los 40 años.

Nivel de Conciencia.

La profundidad y duración del coma, reflejo del grado de afectación cerebral es considerado por la mayoría de los autores como el mayor determinante del resultado. El nivel de conciencia evaluado mediante la *Escala de Coma de Glasgow (EG)* brinda el mejor poder predictivo relacionado tanto con la EPG^{25 26 27 28}, como con el índice de secuelas neuropsicológicas²⁹. Existe una controversia no resuelta sobre la conveniencia, con fines predictivos, de tomar la

¹⁸ Ibid

¹⁹ Jennett B, Teasdale G. *Pronóstico de los traumatismos craneales graves*. En: Jennett B, Teasdale CI (Eds) *Diagnóstico y tratamiento de los traumatismos craneoencefálicos*. Salvat, Barcelona, 1986. pg.343-358.

²⁰ Berger MS, Pitts LH, Lovely M et al. *Outcome from severe head injury in children and adolescents*. J Neurosurg 1985; 62: 194-199

²¹ Murillo Cabezas F, Muñoz Sanchez MA, Domínguez Roldán JM et al. *Resultados en traumatismos craneoencefálicos graves pediátricos*. An C Intensivos 1988; 3:173-178

²² Bruce DA, Schut L, Bruno LA et al. *Outcome following severe head injury in children*. J Neurosurg 1978; 48:679-688.

²³ Morales F, Murillo F, Muñoz MA et al. *Evolución en el estudio y tratamiento del traumatizado craneal grave*. Boletín Latinoamericano de Neurocirugía 1979; 2:42-45.

²⁴ Murillo Cabezas F, Muñoz Sanchez MA, Domínguez Roldán JM et al. *Factores que influyen en el pronóstico del traumatismo craneoencefálico grave*. Med Intensiva 1988; 12: 192-204.

²⁵ Jennett B, Teasdale G. *Pronóstico de los traumatismos craneales graves*. En: Jennett B, Teasdale CI (Eds) *Diagnóstico y tratamiento de los traumatismos craneoencefálicos*. Salvat, Barcelona, 1986. pg.343-358.

²⁶ Marshall LF and TCDB Writing Group. *Head injury: Outcome in 4 regional head injury centers. preliminary report*. En: Hoff JT, Betz AL (Eds) *Intracranial Pressure VII*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1989. pg.552-556.

²⁷ Teasdale G, Jennett B. *Assessment of coma and impaired consciousness. A practical scale*. Lancet 1974; 2:81-84.

²⁸ Young B, Rapp RP, Norton JR et al. *Early prediction of outcome in head-injured patients*. J Neurosurg 1981; 54:300-303.

²⁹ Williams JM, Gomez F, Drudge OW et al. *Predicting outcome from closed head injury by early assessment of trauma severity*. J Neurosurg 1984; 61:581-585.

mejor o peor puntuación de la EG de las primeras 24 horas. Se cree que no existe diferencia práctica entre una u otra actitud, siempre que se tome la puntuación de la EG transcurridas al menos 6 horas postingreso hospitalario³⁰.

La duración del coma se correlaciona bien con el pronóstico aunque, como señala Frowein³¹, matizada por la edad, pues en pacientes jóvenes la duración del coma tiene menos importancia predictiva que en pacientes mayores de 50 años. El porcentaje de buenos resultados decrece en un 64% en el TCE cuyo periodo de coma fue inferior a 2 semanas, a un 38% cuando este periodo dura entre 15 y 28 días³².

Reacción pupilar.

Existe consenso general en considerar como factor predictivo mayor de supervivencia y secuelas neurofísicas a las anomalías pupilares (arreactividad unilateral o bilateral a la luz) [Véase referencias anteriores acordes] y según Levin et al.³³, junto a la EG, predicen las secuelas de las funciones cerebrales superiores. Los pacientes con algún tipo de anomalía pupilar mostraron mayor incidencia de trastornos de fijación de memoria, nominal y visual con marcada significación estadística.

Signos de lesión troncoencefálica.

La ausencia de la función oculomotora (pérdida de reflejos oculogiros y/u oculo vestibulares) y la aparición de respuestas motoras anormales (postura de descerebración, decorticación o flacidez) está gravada con una mortalidad que oscila entre el 55% y 80%,³⁴. No obstante, en la población pediátrica estos signos no influyen de manera tan determinante en la mortalidad³⁵.

Fractura de cráneo.

Aunque tradicionalmente se consideró que añadía gravedad al TCE al asociarse a hematomas intracraneales, los análisis de series amplias han fracasado en hallar relación entre fractura de cráneo y peor pronóstico³⁶ por lo que actualmente se piensa que no ejerce influencia sobre el pronóstico.

Tipo de lesión intracraneal en la Tomografía Axial Computarizada.

La tomografía axial computada (TAC) practicada al ingreso del TCE, posibilita conocer la naturaleza y localización de la lesión intracraneal y sus asociaciones y por otra parte, el riesgo vital que los distintos tipos de lesiones intracraneales conllevan. El hallazgo de una TAC inicial "anormal" implica un riesgo de mortalidad casi del doble que si la TAC es absolutamente

³⁰ Murillo F., Muñoz MA. *Factores pronósticos en el traumatismo cráneo encefálico*. En Neurología Crítica. Net & Marruecos (eds). Springer-Verlag, Barcelona, 1994, 153-168.

³¹ Frowein RA. *Prognosis assessment of coma in relation to age*. Acta Neurochirurg 1979; 28:3-12.

³² Murillo F., Muñoz MA. *Factores pronósticos en el traumatismo cráneo encefálico*. En Neurología Crítica. Net & Marruecos (eds). Springer-Verlag, Barcelona, 1994, 153-168.

³³ Levin HS, Gary HE, Eisenberg HM et al. *Neurobehavioral outcome 1 year after severe head injury*. J Neurosurg 1990; 73:699-709.

³⁴ Young B, Rapp RP, Norton JR et al. *Early prediction of outcome in head-injured patients*. J Neurosurg 1981; 54:300-303.

³⁵ Bruce DA, Schut L, Bruno LA et al. *Outcome following severe head injury in children*. J Neurosurg 1978; 48:679-688.

³⁶ Jennett B, Teasdale G. *Evaluación inicial de los pacientes con traumatismos craneales*. En: Jennett B, Teasdale G (Eds) Diagnóstico y tratamiento de los traumatismos craneoencefálicos. Salvat, Barcelona, 1986. pg.103-119.

normal³⁷. Asimismo el riesgo de muerte (aprox. 65%) de los pacientes con lesiones de masa es el doble del de los TCE con lesiones difusas³⁸. Dentro de las lesiones ocupantes de espacio el hematoma subdural agudo es el que está gravado con mayor mortalidad^{39 40}.

El desplazamiento de la línea media (>3 mm) y la compresión o ausencia de las cisternas básales mesencefálicas se asocian con más frecuencia a lesiones de masa. Esta asociación explica el mayor riesgo vital de éstas sobre las de tipo difuso. De hecho cuando las lesiones difusas presentan desplazamiento de la línea media y compresión o ausencia de las cisternas básales la tasa de mortalidad de ambos tipos de lesiones se aproximan. Los intentos de relacionar hallazgos en la TAC y secuelas neuropsicológicas no han sido fructíferos hasta ahora, sin embargo los resultados funcionales según la EPG son peores en los pacientes con lesiones que invaden espacio⁴¹.

Hipertensión endocraneal.

La enorme experiencia acumulada en los últimos años con el registro de la presión intracraneal (PIC) permite afirmar que la incidencia de hipertensión intracraneal (HIC) en el TCE supera el 50% y que valores mas elevados de PIC se asocian a mayores incrementos de mortalidad y morbilidad⁴². La HIC persistente a la terapia actualmente está gravada con una mortalidad del 100%⁴³. Otros autores han demostrado que valores de PIC iguales o superiores a 60 mmHg durante al menos 90 minutos predicen la muerte cerebral con una exactitud del 88.95%⁴⁴. Sin embargo, la ausencia de HIC en la fase aguda del TCE no presupone la supervivencia, ya que el paciente puede fallecer por otro tipo de complicaciones.

Es la hipertensión intracraneal una variable muy importante por lo que se ha hecho referencia a ella en varias partes de este trabajo.

Patología traumática asociada.

La supervivencia y resultados funcionales del TCE grave se ven afectados por la presencia de lesiones traumáticas de extremidades y vísceras. Siegel et al. en un estudio relativamente reciente⁴⁵ han demostrado que la mortalidad del TCE aislado se eleva, con alta significación estadística, cuando se asocia a cualquier fractura de miembro, triplicándose la tasa de fallecimientos cuando la lesión extracerebral afecta a vísceras como pulmón, hígado, bazo e intestino. En este estudio, el factor que determinó el pronóstico adverso de las lesiones asociadas

³⁷ Lobato RD, Rivas JJ, Gomez PA et al. *Head-injured patients who talk and deteriorate into coma*. J Neurosurg 1991; 75:256-261.

³⁸ Eisenberg HM, Gary HE, Aldrich et al. *Initial CT findings in 753 patients with severe head injury*. J Neurosurg 1990; 73:688-698.

³⁹ Ibid.

⁴⁰ Dominguez-Roldán JM, Murillo-Cabezas F, Muñoz-Sánchez MA et al. *High risk cerebral injuries leading to cerebral death: early detection of potential organ donors*. Transplantation Proceedings 1992; 24:29-30.

⁴¹ Gennarelli T, Spielman GM, Langfitt TW et al. *Influence of the type of intracranial lesion on outcome from severe head injury*. J Neurosurg 1982; 56:26-32.

⁴² Miller JD, Becker DP, Ward JD et al. *Significance of intracranial hypertension in severe head injury*. J Neurosurg 1977; 47:503-516.

⁴³ Narayan RK, Kishore PRS, Becker DP et al. *Intracranial pressure: to monitor or not to monitor?* J Neurosurg 1982; 56:650-659.

⁴⁴ Murillo F., Muñoz MA. *Factores pronósticos en el traumatismo craneo encefálico*. En Neurología Crítica. Net & Marruecos (eds). Springer-Verlag, Barcelona, 1994, 153-168.

⁴⁵ Siegel JH, Gens DR, Mamantov T et al. *Effect of associated injuries and blood volume replacement on death, rehabilitation needs, and disability in blunt traumatic brain injury*. Crit Care Med 1991; 19: 1252- 1265.

fue el shock hipovolémico inicial, que asimismo se correlaciona con peores resultados funcionales y mayor necesidad de rehabilitación. Según Murillo et al., la mortalidad en el subgrupo de TCE con shock hipovolémico tripleo a la del subgrupo sin shock. Ellos piensan que la coincidencia de HIC, habitual en los primeros momentos posttraumáticos y el descenso de la presión arterial media por hipovolemia provocan una intensa reducción de la presión de perfusión cerebral, responsable de lesiones isquémicas secundarias y alteraciones de la autorregulación cerebral⁴⁶.

TRATAMIENTO DEL EDEMA CEREBRAL, CON LA AYUDA DEL MONITOREO DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL.

Considerable controversia se ha hecho acerca del papel que juega la hipertensión endocraneal en el transcurso de un TCE y de la importancia de la monitorización de la PIC en las decisiones finales de un paciente con TCE. Existe suficiente evidencia para suponer que la Hipertensión IntraCraneal (HIC) es un proceso patológico fundamental en el curso del traumatismo craneal. Aproximadamente 40 % de los pacientes con pérdida traumática de la conciencia experimentan HIC⁴⁷. El 50% de estos pacientes murieron y este grado de mortalidad es paralelo al nivel de HIPERTENSIÓN INTRACRANEAL observada⁴⁸.

Desafortunadamente, actualmente no existen tratamientos que garanticen una buena calidad de vida post-TCE. Existen, sin embargo, evidencias de que el tratamiento de la PIC en la gran mayoría de pacientes con TCE está asociado con una mejor calidad de vida. Por lo tanto, se recomienda que el tratamiento experimental de pacientes con lesiones de la PIC que causan el desarrollo precoz de presiones intracraneales incontrolables. Sin embargo, la hipertensión en un paciente puede ser calidad de vida de pacientes que fueron tratados con una PIC de 15 mmHg se mejoró de 30 mmHg⁴⁹.

Muchas veces se realiza este tipo de estudios en base a los datos obtenidos de la experiencia de los Traumáticos de los Estados Unidos con respecto a la mortalidad de los pacientes con lesiones de la cabeza. Este tipo de estudios se realizan con el fin de determinar la mortalidad de los pacientes con lesiones de la cabeza. Sin embargo, cuando se comparan los datos de mortalidad de los pacientes con lesiones de la cabeza con los datos de mortalidad de los pacientes con lesiones de la cabeza se observa que la mortalidad de los pacientes con lesiones de la cabeza es menor que la mortalidad de los pacientes con lesiones de la cabeza.

Cuando se comparan los datos de mortalidad de los pacientes con lesiones de la cabeza con los datos de mortalidad de los pacientes con lesiones de la cabeza se observa que la mortalidad de los pacientes con lesiones de la cabeza es menor que la mortalidad de los pacientes con lesiones de la cabeza.

⁴⁶ Murillo, L. et al. "Efectos de la hipertensión endocraneal en el curso de los traumatismos craneales". *Revista de Neurología*, 1991; 11: 100-105.
⁴⁷ Miller, J. "Elevación de la presión intracraneal en el curso de los traumatismos craneales". *Neurotrauma*, 1991; 10: 100-105.
⁴⁸ Gennarelli, T.A. "Elevación de la presión intracraneal en el curso de los traumatismos craneales". *Neurotrauma*, 1991; 10: 100-105.
⁴⁹ Miller, J. "Elevación de la presión intracraneal en el curso de los traumatismos craneales". *Neurotrauma*, 1991; 10: 100-105.
⁵⁰ Miller, J. "Elevación de la presión intracraneal en el curso de los traumatismos craneales". *Neurotrauma*, 1991; 10: 100-105.

fue el shock hipovolémico inicial, que asimismo se correlacionó con peores resultados funcionales y mayor necesidad de rehabilitación. Según Murillo et al., la mortalidad en el subgrupo de TCE con shock hipovolémico triplicó a la del subgrupo sin shock. Ellos piensan que la coincidencia de HIC, habitual en los primeros momentos postrauma y el descenso de la presión arterial media por hipovolemia provocan una intensa reducción de la presión de perfusión cerebral, responsable de lesiones isquémicas secundarias y alteraciones de la autorregulación cerebral⁴⁶.

TRATAMIENTO DEL EDEMA CEREBRAL CON LA AYUDA DEL MONITOREO DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL.

Considerable controversia se ha hecho acerca del papel que juega la hipertensión endocraneal en el transcurso de un TCE y de la importancia de la monitorización de la PIC en los resultados finales de un paciente con TCE. Existe suficiente evidencia para suponer que la Hipertensión IntraCraneal (HIC) es un proceso patológico fundamental en el proceso del traumatismo cerebral. Aproximadamente 40 % de los pacientes con pérdida traumática de la conciencia experimentan HIC⁴⁷. El 50% de estos pacientes murieron y este grado de mortalidad es paralelo al nivel de HIPERTENSIÓN INTRACRANEAL observado.^{48 49 50}

Desafortunadamente, actualmente no existen tratamientos que garanticen una buena calidad de vida post TCE. Existen, sin embargo, evidencias de que el tratamiento de la HIC en la población de pacientes con TCE está asociado con una mejor calidad de vida. Narayan et al⁵¹ han sugerido que el tratamiento expectante de pequeñas elevaciones de la PIC, previenen el desarrollo posterior de presiones intracraneales incontrolables. Saul and Ducker⁵² demostraron un mejoramiento de la calidad de vida de pacientes que fueron tratados con una PIC de 15 mm Hg. en lugar de 25 mm Hg.

Marmarou ha realizado extensos análisis de datos del Banco Nacional de Datos de Coma Traumático de los Estados Unidos, con respecto a la relación de presión intracraneal con la calidad de vida, estableciendo controles para la edad, la puntuación de admisión motora de Glasgow, examen de admisión pupilar, presión sanguínea, el nivel de intensidad terapéutica, la presión de perfusión cerebral, sexo, presencia de una lesión intracraneal, hipotensión e hipoxia de admisión.

Usando un procedimiento ordinal de regresión logística, encontró que después de la edad, la puntuación de admisión motora y la examinación de admisión pupilar, la proporción de las mediciones de la presión intracraneal mayores que 20 mm Hg. fueron el regresor predictivo próximo más poderoso. Este parámetro fue definido como la proporción del tiempo total de

⁴⁶ Murillo Cabezas F, Muñoz Sanchez MA, Dominguez Roldán JM et al. *Factores que influyen en el pronóstico del traumatismo craneoencefálico grave*. Med Intensiva 1988; 12: 192-204

⁴⁷ Miller JD: *Significance of intracranial hypertension in severe head injury*. J. Neurosurg 47:503, 1977.

⁴⁸ Eisenberg, HM, Cayard C, Papanicolaou A, et al: *The effect of three potentially preventable complications on outcome after severe closed head injury*. In Ishii S, Nagai H, Brock, M (eds): *Intracranial pressure V*. Berlin, Springer-Verlag, 1983, p549.

⁴⁹ Miller JD: *Significance and management of intracranial hypertension in head injury*, In Ishii S, Nagai H, Brock, M (eds): *Intracranial pressure V*. Berlin, Springer-Verlag, 1983, p44.

⁵⁰ Narayan RK, Kishore PRS, Becker DP, et al: *Intracranial pressure : To monitor or not to monitor?*. J Neurosurg. 56:650, 1982.

⁵¹ Ibid.

⁵² Saul TG, Ducker TB: *Effects of intracranial pressure monitoring and aggressive treatment on mortality in severe head injury*. J. Neurosurg 56:498, 1982.

monitoreo la presión intracraneal mayor de 20 mm Hg. para pacientes monitoreados por al menos 42 horas consecutivas, comenzado las primeras 18 horas de la lesión. Los valores mayores de 20 mm Hg. que fueron analizados con estudios de regresión con un amplio rango de valores de la presión intracraneal (0-80 mm Hg. en intervalos de 5 mm Hg.) determinaron que la presión estaba muy fuertemente relacionada a la EPG.⁵³

Dado que existe amplia evidencia de que la presión intracraneal juega un importante y tratable papel en el cuidado de pacientes con lesiones de cabeza, la cuestión del nivel de presión intracraneal crítica se convierte en relevante. Hasta que este nivel crítico pueda ser clarificado por una investigación directa y más amplia, el valor exacto permanecerá indeterminado. A la fecha, se empieza un tratamiento de la presión intracraneana cuando alcanza niveles superiores a los 20 mm Hg, a menos que el paciente muestre anormalidades en la fosa temporal, en tales casos el valor crítico considerado es 15 mm Hg.

TRATAMIENTO.

El concepto esquematizado de la doctrina Monro-Kellie, da los fundamentos que sirven de guía para la terapia de la presión intracraneal: "El contenido del cerebro son : sangre, Líquido Cefalorraquídeo y tejido". Esta relación podría ser representada como una ecuación intracraneal.

$$\text{Volumen} = \text{Sangre} + \text{Líquido Cefalorraquídeo} + \text{tejido} + X.^{12}$$

Después de que el sistema que representa la ecuación anterior ha agotado todas las posibilidades para mantener un volumen compensado, cualquier signo de hipertensión intracraneal se convierte en un hecho preocupante y problemático, la posibilidad de que exista una masa X extirpable quirúrgicamente, debe ser **inmediatamente** intervenida. Un diagrama representando la terapia llevada a cabo por neurocirujanos para manejar la hipertensión endocraneal es mostrado en la figura 2-4. Los pasos individuales son descritos a continuación.

Medidas Generales De Soporte.

Las medidas básicas de soporte de restaurar y mantener la normotensión, oxigenación arterial normal y normotermia, aunque son una parte cotidiana del cuidado médico, son de vital importancia en el paciente al cual se sospecha tenga hipertensión intracraneal. Alteraciones en estos parámetros hemostáticos son asociados con hipertensión intracraneal y posible isquemia cerebral. Hipotensión franca es en si misma asociada con una mayor probabilidad de incrementar la presión intracraneal⁵⁴ y ligada a un Traumatismo Cráneo Encefálico es asociada con una mortalidad doble que la causada en si misma por el Traumatismo Cráneo Encefálico⁵⁵. Además, la acompañante isquemia cerebral tiene actualmente incuantificable pero altamente efectos dañinos en la recuperación neuronal. La hipoxia exagera la lesión neuronal y trae como consecuencia un incremento en el flujo sanguíneo cerebral y por consiguiente en la presión intracraneal. La hipertermia incrementa la presión intracraneal en muchos puntos por grado

⁵³ Marmarou A, Anderson JD, Eisenberg JM, et al: *The traumatic coma data bank: Monitoring of ICP*. En Hoff JT, Betz AL (eds): *Intracranial pressure VII*. Berlin, Springer-Verlag, 1989, p. 549.

¹² Una descripción de la compensación de este volumen se hizo con anterioridad en el subtema "**COMPENSACION DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL**".

⁵⁴ Seelig J, Klauber M, Toole B, et al: *Increased ICP and systemic hypotension during the first 72 hours following severe head injury*. In Miller J, Teasdale G, Rowan J, et al (eds): *Intracranial Pressure VI*. Berlin Springer-Verlag, 1986, p 675.

⁵⁵ Chesnut RM. *Unpublished TCDB data*, 1988.

centígrado anómalo y debe ser sumamente vigilado en el paciente con lesión cerebral. Uno de los objetivos del tratamiento de pacientes con lesiones de cabeza es mantener los signos vitales dentro del rango del balance homeostático. La presión arterial central debe ser mantenida dentro del rango normal todo el tiempo.

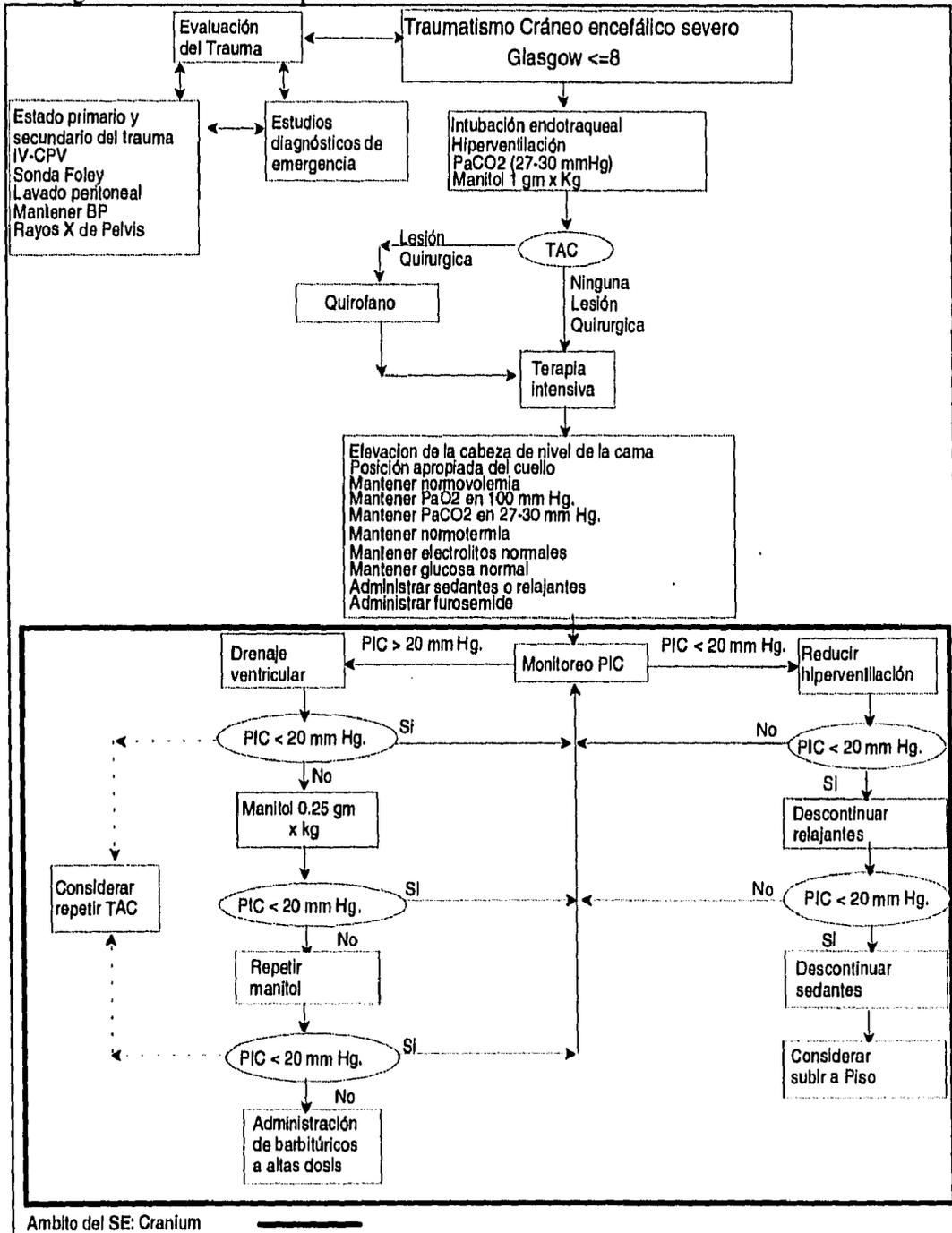


Figura 2-4.- Tratamiento de la hipertensión intracraneal.⁵⁶

⁵⁶ Fuente: Adaptación de Chesnat "Treatment of abnormal intracranial pressure", Neurosurgery Clinics of North América. p. 276.

Elevación de la Cabeza.

Además de los cuidados anteriores, la hipertensión intracraneal puede ser tratada elevando la cabeza del paciente del nivel de la cama^{57 58 59} y evitando obstrucción del flujo venoso de salida que podría ser causado por rotación de la cabeza o por una ortosis cervical⁶⁰. El paciente deberá estar eovolemico al mismo tiempo de la elevación de su cabeza para evitar que la presión sanguínea se debilite y con ello también la presión de perfusión cerebral se mantenga en niveles adecuados⁶¹.

Anticonvulsiantes.

Las convulsiones también elevan la presión intracraneana y deberían ser investigadas si se sospechan y agresivamente tratadas si se presentan. Aunque el valor de una terapia profiláctica anticonvulsionante para prevenir el desarrollo de ataques postraumáticos no ha sido definitivamente establecida, el riesgo de ataques que ocurren durante el curso del tratamiento de hipertensión intracraneal, particularmente cuando está ligado a la inconciencia o a parálisis farmacológica, es suficientemente alta como para considerarla importante.

Sedantes y parálisis médica.

A causa de que el dolor y la agitación también exacerbaban la hipertensión intracraneal, el uso juicioso de analgésicos y sedantes podría ser considerado. Por supuesto, esto oscurece la examinación neurológica debido a que se altera el estado mental del paciente, por lo cual la aplicación de sedantes debe ser evitado en lo posible, ya que la examinación neurológica es el indicador más sensible del daño intracraneal. En los pacientes con monitoreo de la presión intracraneal e hipertensión intracraneal establecida, sin embargo, la analgesia con o sin sedación es útil en pacientes que están farmacológicamente relajados con analgésicos narcóticos intravenosos.

A causa de que el movimiento del ventilador incrementa la presión intratorácica y la presión intracraneana por interferencia del flujo venoso de salida, la parálisis farmacológica, la analgesia y la sedación es generalmente combinada con hiperventilación. Bajo tales condiciones, el estado neurológico del paciente es accesible únicamente por examinación pupilar y por monitoreo de la presión intracraneal; por lo tanto, la administración vigilada y cuidadosa de esta terapia es un factor crítico. Es importante asegurarse de que el paciente farmacológicamente paralizado esté adecuadamente sedado. Una simple pero efectiva prueba para confirmar lo anterior es golpear o mover ligeramente el tubo endotraqueal. Si el pulso se incrementa notablemente, el paciente está bajo-sedado.

⁵⁷ Durward QJ, Amacher AL, Del Maestro RF, et al: *Cerebral and cardiovascular responses to changes in head elevation with intracranial hypertension*. J. Neurosurgery 59: 938, 1983.

⁵⁸ Hulme A, Cooper R.: *The effects of head positions and jugular vein compression on intracranial pressure*. In Bekes J, Bosch D, Brock M (eds): *Intracranial Pressure III*. Berlin, Springer-Verlag, 1976, p 259.

⁵⁹ Ropper AH, O' Rourke D, Kennedy SK: *Head position, intracranial pressure, and compliance*. Neurology 32: 1288, 1982.

⁶⁰ Hulme A, Cooper R.: *The effects of head positions and jugular vein compression on intracranial pressure*. In Bekes J, Bosch D, Brock M (eds): *Intracranial Pressure III*. Berlin, Springer-Verlag, 1976, p 259.

⁶¹ Rosner MJ, Coley IB: *Cerebral Perfusion Pressure, intracranial pressure, and head elevation*. J Neurosurg 60:636, 1986.

Hiperventilación.

En el tratamiento de hipertensión intracraneal establecida, la hiperventilación con PaCO₂ de 27 a 30 mm Hg. es un método efectivo para disminuir el flujo sanguíneo cerebral y por lo tanto disminuir la presión intracraneal. Hiperventilación más profunda debe ser evitada para que el efecto vasoconstrictor de la hipocapnea no provoque isquemia. Debido a que ha sido sugerido que el efecto de la hiperventilación podría desgastarse a medida que el tiempo transcurre, su retiro debe ser hecho gradualmente para evitar el rebote de la vasodilatación y un consiguiente incremento de la presión intracraneana.

Drenaje de líquido cefalorraquídeo.

En los pacientes con un catéter ventricular funcionando, el drenaje de Líquido Cefalorraquídeo es un método rápido y efectivo para disminuir la presión intracraneal y muchos médicos usan este recurso antes de aplicar un diurético (manitol)⁶². No es posible monitorear la presión intracraneal con una ventriculostomía mientras se está drenando líquido y la probabilidad de obstruir el catéter ventricular se incrementa si es dejado abierto en un ventrículo colapsado. El drenaje debe ser entonces hecho a razón de 5-10 cm H₂O. Los períodos de drenaje deberán estar limitados de 1 a 2 minutos por vez y el catéter debe revisarse por una probable obstrucción en el caso de que no se esté drenando Líquido Cefalorraquídeo.

Terapia osmótica.

Los agentes osmóticos juegan un papel muy importante en el tratamiento de la hipertensión intracraneal. Ellos parecen tener más de un mecanismo de acción. Revirtiendo el gradiente osmótico sangre-cerebro, ellos reducen el volumen de fluido extracelular. Existe evidencia de que este efecto toma lugar tanto en cerebros normales como lesionados^{63 64}. Actualmente el agente osmótico por excelencia es el manitol, dado en dosis de 0.25 a 1.0 g/kg. por inyección de bolos. Administración frecuente repetida de manitol podría provocar estados hiperosmolares que hacen al manitol inefectivo y asociado con grave falla renal⁶⁵. A causa de que ha sido mostrado que dosis de 0.25g/kg. son igualmente efectivas en disminuir la presión intracraneana tanto como dosis mayores, es recomendado que esta dosis se aplique inicialmente⁶⁶. En cualquier paciente se requieren repetidas aplicaciones de manitol. Los Serum electrolitos y la osmolaridad deben ser periódicamente monitoreados. La Serum osmolaridad no deben rebasar los 320 m Osm/kg.

Diuréticos

El uso de diuréticos no osmóticos en el tratamiento de hipertensión intracraneal es controversial. Aunque furosemida es a menudo administrada, ésta parece ser menos confiable que el manitol para reducir la presión intracraneana⁶⁷. La furosemida también acelera los efectos deshidratantes

⁶² Chesnut RM, Marshall LF: *Treatment of abnormal Intracranial Pressure*. In: *Neurosurgery Clinics of North America* - Vol 2, No.2, Abril de 1991. p. 267-283.

⁶³ Dearden NM, Gibson JS, McDowal DG, et al: *Effects of high-dose dexamethasone on outcome from severe head injury*. *J Neurosurg* 64:81, 1986.

⁶⁴ Nath F., Galbraith S.: *The effect of Mannitol on cerebral white matter water content*. *J. Neurosurg* 65:41, 1986.

⁶⁵ Stuart F., Torres E., Fletcher R., et al: *Effects of single, repeated, and massive mannitol infusion in the dog: Structural and functional changes in kidney and brain*. *Ann Surg* 172:190, 1970.

⁶⁶ Marshall L., Smith R., Rauscher L., et al: *Mannitol dose requirements in brain injured patients*. *J. Neurosurg* 48:169, 1978.

⁶⁷ Levin A: *Treatment of increased intracranial pressure: A comparison of different hyperosmotic agents and the use of thiopental*. Presentado en la reunión anual de la Asociación Americana de Neurocirujanos en Nueva Orleans, Mayo de 1978.

del manitol, haciendo que la manutención de la eovolemia sea más difícil. Induce además desgaste de potasio. Existe sin embargo, evidencia de que disminuye la presión intracraneal cuando es administrado con manitol^{68 69}. Aunque la acetazolamida causa una reducción significativa en la producción de Líquido Cefalorraquídeo su efecto cerebral vasodilatador podría aumentar temporalmente la presión intracraneal. Por esta razón está contraindicado en pacientes con traumatismo cráneo encefálico.

Esteroides.

Los esteroides son a menudo administrados a pacientes con traumatismo cráneo encefálico a pesar de la falta de evidencia de su eficacia. Existen hoy un buen número de estudios bien diseñados que han fallado al intentar probar que los esteroides podrían mejorar la dinámica intracraneal y la calidad de vida postraumatismo^{70 71}. Existen por otro lado y de forma poco evidente diferentes estudios aleatorios prospectivos de traumatismos craneales en donde la administración de corticosteroides tiene un efecto benéfico en el resultado final del traumatismo^{72 73 74}. Diferentes autores han establecido que en estos estudios las dosis empleadas no eran suficientemente altas, pero también en los estudios de German recientemente concluidos, con dosis altas administradas durante un período largo, no encuentra ninguna diferencia entre el grupo sin uso de corticosteroides que con el grupo con uso de los mismos. Se mantiene posiblemente que un subgrupo específico puede beneficiarse con los esteroides, pero ese grupo no puede aún ser identificado con precisión. En vista de la supresión de la respuesta inmune por parte de los esteroides, su uso puede incrementar la frecuencia de infección, por lo que la administración rutinaria de corticosteroides en pacientes con traumatismo craneal no es recomendable. Sin embargo, el criterio del neurocirujano elegirá cuando deben administrarse.

Barbitúricos

Se ha demostrado en diferentes estudios el efecto positivo de los barbitúricos sobre el cerebro en la anoxia cerebral y en la isquemia^{75 76}. Los barbitúricos disminuyen la presión intracraneal^{77 78}

⁶⁸ Pollay M, Fullenwider C, Roberts PA, et al: *Effect of mannitol and furosemide on blood-brain osmotic gradient and intracranial pressure.* J. Neurosurg. 59:945, 1983.

⁶⁹ Wilkinson HA, Rosenfield SR: *Furosemide and mannitol in the treatment of acute experimental intracranial hypertension.* Neurosurgery 12:405, 1983.

⁷⁰ Cooper P, Moody S, Clark W, et al: *Dexamethasone and severe head injury. A prospective double blind study.* J. Neurosurg 51: 307, 1979.

⁷¹ Gudeman S, Miller J, Becker D. *Failure of high dose steroid therapy to influence intracranial pressure in patients with severe head injury.* J. Neurosurg 51:301, 1979.

⁷² Saul TG et al: *Steroids in severe head injury: A prospective randomized clinical trial.* J. Neurosurg 1981; 54: 596-600.

⁷³ Braakman R et al. *Megadose steroids in severe head injury: Results of a prospective double blind clinical trial.* J. Neurosurg 1983; 58: 326-330.

⁷⁴ Dearden NM et al. *Effect of high dose of dexamethasone on outcome from severe head injury.* J. Neurosurg 1986; 64: 81-88.

⁷⁵ Steer CR. *Barbiturate treatment in the management of cerebral ischaemia.* Dev Med Child Neurol 1982; 24: 219-231.

⁷⁶ Hoff JT, Marshall L. *Barbiturates in neurosurgery.* Clin Neurosurg 1979; 26: 637-642.

⁷⁷ Ibid.

⁷⁸ Eisenberg H., Frankowski R. et al: *High dose barbiturate control of elevated intracranial pressure in patients with severe head injury.* J. Neurosurg 69:15, 1988.

⁷⁹. Sin embargo, se ha demostrado que la administración de altas dosis de barbitúricos en pacientes con traumatismo cráneo encefálico grave, no alteran el resultado ^{80 81}.

Teniendo en cuenta estos resultados, parece ser que pacientes con hipertensión intracraneal sostenida deberían ser candidatos para ser tratados con barbitúricos. Existen restricciones en cuanto a que los barbitúricos no deben administrarse a pacientes con inestabilidad cardiovascular y en caso de ser administrados, debe existir una unidad de cuidados intensivos y personal médico altamente adiestrado por neurocirujanos para el cuidado de estos pacientes, ya que estos tienen un riesgo significativo de hipotensión, depresión cardíaca, hipotermia y neumonía. Cada uno de los padecimientos anteriores puede opacar rápidamente los beneficios obtenidos de reducir la presión intracraneal.

Los barbitúricos deben utilizarse y deberían reservarse para un pequeño número de pacientes en los cuales hayan fallado otras medidas para disminuir la presión intracraneal. Los pacientes deberán estar normotensos, tener un nivel adecuado intravascular y una salida cardíaca, antes de instituirse la terapia con barbitúricos. Debe insertarse un catéter arterial pulmonar y los parámetros cardiodinámicos deben corregirse. La presión venosa central deberá ser 8 mm Hg. o más, la presión de la porción capilar pulmonar debe ser mayor a 12 mm Hg. y la salida cardíaca debe ser de 6 L/min. o más. Con el establecimiento de la eovolemia, la salida cardíaca y las presiones sistémicas deberán normalizarse.

La dosis de pentobarbital es de 10 mg/kg. en 30 minutos, seguidas de 5 mg/kg. por hora para las próximas 3 horas. ⁸²

Lesiones de masa quirúrgicas.

Todo el tiempo durante el cuidado de un paciente con hipertensión intracraneal, un tratamiento quirúrgico potencial debe ser tomado en cuenta. Hematomas intracerebrales o extra-axiales, coalescencia de contusión parenquimal, o inflamación de tejido cerebral severamente contundido podría producir la formación de masa que afecte el compartimento intracraneal. En los casos de hematomas intracerebrales grandes o extra-axiales, la intervención quirúrgica es casi forzosa. En los casos de cerebros contusionados o coalescencia de tejido hemorrágico, la decisión de intervenir quirúrgicamente al paciente está relacionada a la dificultad de controlar la presión intracraneal y a la localización de la lesión. No obstante, es inapropiado basarse únicamente en la hipertensión intracraneal para un manejo quirúrgico, en presencia de una lesión de masa.

⁷⁹ Marshall et al. *The outcome with aggressive management in severe head injuries. Part 2: acute and chronic barbiturate administration in the management of head injury.* J. Neurosurg 1979; 50: 26-30.

⁸⁰ Ward JD et al. *Failure of prophylactic barbiturate coma in the treatment of severe head injury.* J. Neurosurg 1985; 62: 383-388.

⁸¹ Schwartz ML et al. *A prospective randomized comparison of pentobarbital and mannitol.* Can J Neurol Sci 1984; 11: 434-440.

⁸² Chesnut RM, Marshall LF: *Treatment of abnormal Intracranial Pressure.* In: Neurosurgery Clinics of North America - Vol 2, No.2, Abril de 1991. p. 267-283.

PARTE 3. EL ENCEFALOBARÓMETRO.

El encefalobarómetro es un dispositivo diseñado por el Neurocirujano Dr. Gregorio Miranda Lovera para hacer mediciones isovolúmetricas de la presión intracraneal. El encefalobarómetro detecta presencia de líquido sobre una columna de cristal, cuyo nivel está directamente proporcional a la presión intracraneal del paciente al cual está conectado. El nivel de este líquido es adquirido en tres pasos:

1. Con ayuda de una ventriculostomía, se adquiere en principio líquido cefalorraquídeo del III ventrículo cerebral del paciente o del espacio subdural en caso de que los ventrículos se encuentren colapsados, a través de un catéter direccionado por un tornillo de Richmond modificado y acoplado a un tubo de plástico que está a su vez conectado a una llave de tres vías (para poder drenar líquido cefalorraquídeo como medida terapéutica) y luego a un serpentín (burbuja de aire), que sirve de aislante y protector contra las infecciones.
2. El líquido cefalorraquídeo es expulsado por efecto de la presión intracraneal a través del tubo de plástico y llega al serpentín que está conectado igualmente a otro tubo de plástico previamente lleno de líquido fisiológico y libre de burbujas de aire.
3. El segundo tubo de plástico lleno de solución fisiológica*, está conectado a la columna de vidrio del encefalobarómetro. El líquido de este segundo tubo es empujado por el aire del serpentín hasta la columna de vidrio del dispositivo.

De esta forma llega líquido conductor hasta la columna de vidrio que tiene incorporados dos electrodos para detectar el nivel del mismo. Cuando la columna de vidrio está vacía significa que no hay presión intracraneal es decir 0 mm Hg. y cuando está lleno se alcanzan equivalentes a 60 mm Hg.

El Dr. Miranda Lovera usó el encefalobarómetro en 218 pacientes con edema cerebral severo causado por Traumatismo Cráneo Encefálico en un período de 10 años, desde marzo de 1983 hasta junio de 1993 en diferentes hospitales de la Cd. México (como el "20 de Noviembre" del I.S.S.S.T.E., el Hospital. de Traumatología y Ortopedia "Lomas Verdes" del I.M.S.S. y Hospital de "Xoco" del D.D.F., en los servicios de urgencias, terapia intensiva y neurocirugía). El 60% de estos pacientes sobrevivieron. Los resultados de este estudio serán dados a conocer posteriormente en una publicación avalada por el Centro Médico Siglo XXI del I.M.S.S.



Nuestro trabajo pretende modificar el diseño original del encefalobarómetro. En este apartado daremos una descripción de los elementos con los que ahora cuenta y con los cuales se utilizó en 218 pacientes. En el capítulo III se explicará la incorporación de nuevos elementos de hardware así como la instrumentación del sistema experto para diagnosticar y tratar el edema cerebral causado por traumatismo cráneo encefálico con ayuda del monitoreo de la presión intracraneal.

* Hay que hacer notar en este punto que el líquido que debe usarse debe ser conductor de electricidad, en este caso, la elección de solución fisiológica se hizo porque contiene electrolitos y es un equivalente del líquido cefalorraquídeo.

DISEÑO ORIGINAL DEL ENCEFALOBARÓMETRO

El encefalobarómetro consta de una columna de cristal de 20 cm de alto y 4 mm de diámetro con electrodos insertados en la columna, que detectan el nivel de líquido conductor. Esta columna de cristal está montada sobre una base que permite conectar las sondas de plástico que acarrearán el líquido conductor por el efecto de la presión intracraneal y que alimentarán directamente de líquido a la columna de vidrio.



Consta también de una caja metálica rectangular que contiene una fuente de poder directa y una fuente de poder alterna. En la cara anterior de esta caja se encuentra un *display* para indicar la presión intracraneal puntual que se está observando sobre la columna de vidrio.

Una descripción simbólica del encefalobarómetro se muestra en la figura contigua. La detección del nivel de líquido sobre la columna por los electrodos, registran un voltaje directamente proporcional al nivel de líquido, esto da una lectura de la presión intracraneal que es mostrada en el *display*.

En el siguiente capítulo se explicará como se modificó el encefalobarómetro para adaptarlo a una computadora-impresora, y además, primordialmente agregarle un módulo experto.

"La educación es nuestra más grande batalla para el futuro".

Luis Donaldo Colosio Murrieta.

Político Mexicano.

CAPÍTULO III.- DISEÑO DE UN SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DEL EDEMA CEREBRAL CAUSADO POR TRAUMATISMO CRÁNEO ENCEFÁLICO.

METODOLOGÍA USADA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA EXPERTO PARA EL DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO DEL EDEMA CEREBRAL CAUSADO POR TRAUMATISMO CRÁNEO ENCEFÁLICO: CRANIUM.

FASE I.- INICIALIZACIÓN DEL PROYECTO.

Encontrar un proyecto apropiado para el desarrollo de Sistemas Expertos (SE) no es tarea fácil. Docenas de factores tienen que ser considerados y muchos proyectos de SE fracasan por un análisis deficiente y superficial. Los expertos han desarrollado metodologías para las tareas en esta fase(p.e. Beckman ¹., Carrico et al.²). Estas tareas son: **Definición del problema, Valuación de necesidades, Evaluación de alternativas de solución, Verificación de la factibilidad del SE y Consideraciones de tópicos empresariales.**

Aquí, se considerarán aquellos aspectos de la metodología que no sean parte de un análisis de un proyecto enteramente comercial, debido a que éste es un proyecto estrictamente académico. Se usará en esencia la metodología propuesta por Turban³, ajustándola en su oportunidad a las necesidades de nuestro trabajo.

La mejor manera de entender el problema o las necesidades, es conducir un tipo de estudio formal llamado **Valuación de necesidades**. En este estudio, se revela y analiza el rendimiento del trabajo esperado relativo al problema. Si el conocimiento es la raíz del problema, muy probablemente se tenga un candidato para un Sistema Experto⁴

¹ Beckman, T. J. *Selecting Expert Systems Applications*. AI Expert (Febrero, 1991).

² Carrico, M. A. et al. *Building Knowledge Systems*. New York : McGraw Hill 1989.

³ Turban, E. *Applied Artificial Intelligence and Experts Systems*, New York, McGraw Hill 1992.

⁴ Turban, E. *Applied Artificial Intelligence and Experts Systems*, New York, McGraw Hill 1992. 12:405.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y VALUACIÓN DE NECESIDADES.

Una clara definición del problema simplifica significativamente las tareas posteriores y ayuda a generar un programa productivo. Debe responderse ¿Cual es el problema?. Para cualquiera que sea el problema o necesidad, debe escribirse una descripción clara de él y proporcionar tanta información de soporte como sea posible. Tal descripción servirá como guía y especificación del desarrollo del sistema.

En nuestro caso el problema es definido de la siguiente manera:

- *Diseñar un Sistema Experto que apoye la toma de decisiones en el diagnóstico y tratamiento del edema cerebral causado por traumatismo cráneo encefálico, primordialmente a través de una interpretación experta de la presión intracraneal, obtenida a través de un encefalobarómetro y registrándose en la computadora por medio de un convertidor analógico-digital conectado al puerto paralelo.*

Una gran parte de los pacientes que ingresan a un hospital de traumatología mueren a causa de un trastorno relacionado al Traumatismo Cráneo Encefálico. Un indicador de gran utilidad para el neurocirujano es tener un registro continuo y confiable de la Presión Intracraneal con el fin de indicar el tratamiento más adecuado hacia los pacientes con tal trastorno. Se necesita un registro continuo de la Presión Intracraneal junto con un tratamiento adecuado de por lo menos 24 horas para que el neurocirujano establezca muerte cerebral de un paciente una vez que se han agotado todas las posibilidades para reducirla. Sin embargo, el neurocirujano no puede estar al tanto de un sólo paciente durante tantas horas seguidas, porque debe ocuparse de otros pacientes en el quirófano. Es la enfermera de turno, la responsable de vigilar los signos vitales y la Presión Intracraneal del paciente, pero ella no posee los conocimientos ni la experiencia suficiente para poder tomar una decisión teniendo en cuenta todas las observaciones que ha hecho. Un paciente traumatizado con edema cerebral, requiere de una vigilancia especial de tres turnos de enfermeras.

Se pretende que el SE de una recomendación de acción hacia personas que no tengan la habilidad necesaria para manejar un paciente con hipertensión intracraneal, haciendo recomendaciones generales sobre acciones que en la mayoría de los casos ayudarán al paciente a mejorar su cuadro clínico; a pesar de eso debe buscarse ayuda especializada de una manera rápida para avalar o en su caso corregir las recomendaciones hechas por el SE.

El dispositivo usado para medir la Presión Intracraneal es un encefalobarómetro diseñado por el neurocirujano mexicano Dr. Gregorio Miranda Lovera. Tal dispositivo tiene la capacidad de desplegar mediciones puntuales de la Presión Intracraneal a través de un *display*, como el usado en los voltímetros comunes. Se planean recuperar las señales analógicas en forma de voltaje y después convertirlas a digitales con la ayuda de un convertidor analógico-digital, luego recuperarlas a través de un cable conectado al puerto paralelo de una computadora para poder ser visualizados de una manera gráfica (presión VS. tiempo) y puntual en el monitor de la misma.

Una necesidad es también conservar en un dispositivo de almacenamiento (Disco Duro) los valores de la Presión Intracraneal con el fin de que el neurocirujano pueda consultarlos y/o imprimirlos, después de que él haya regresado del quirófano, recién haya ingresado al

torno o por alguna otra circunstancia haya dejado de enterarse por muchas horas de la evolución de la Presión Intracraneal del paciente. Un registro electrónico no es negligente y ha estado pendiente de la presión intracraneana del paciente durante tres o más turnos, sin que se le olvide anotar uno sólo registro. Un registro de aproximadamente cada segundo es bastante aceptable para definir la continuidad del registro*. Los dispositivos con los que se cuenta en México actualmente, no tienen la capacidad de almacenar valores continuos de la Presión Intracraneal.

Por lo manifestado anteriormente, no se duda de la integridad moral del cuerpo de enfermeras que atiende a un paciente con hipertensión intracraneal, sin embargo, por su naturaleza humana no están exentas de errores. El registro leído por la computadora, salvo por fallas del *hardware* no tienen errores relacionados estrictamente con nuestra especie. No obstante, el neurocirujano debe confiar en un gran porcentaje de las mediciones y de los procedimientos hechos por el cuerpo de enfermeras, de hecho el SE debe estar enfocado para explicarle a las enfermeras cual es el dinamismo de la hipertensión intracraneal y que debe hacerse en determinados casos. La labor del cuerpo de enfermeras en un paciente que ha sufrido traumatismo craneo encefálico es vital, sin la buena actuación de éstas, cualquier otro esfuerzo, computarizado o no, resulta infructuoso. De esta forma el SE servirá de apoyo y enseñanza al cuerpo de enfermeras y dará confianza al neurocirujano.

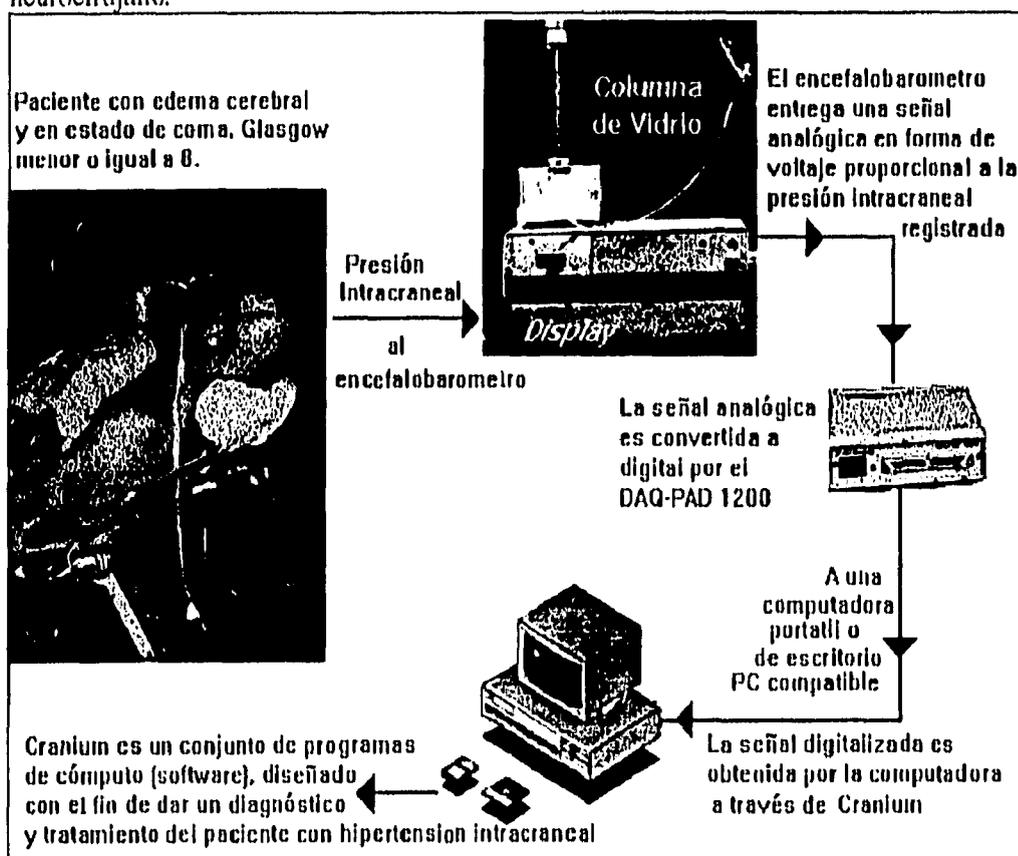


Figura 3-1. Representación gráfica del problema.

* No debe de confundirse aquí con el concepto de continuidad de funciones matemáticas.

Otra consideración al problema es la construcción de una base de datos eficiente para poder relacionar los registros de la Presión Intracraneal del paciente al cual correspondan junto con todos sus datos generales, las observaciones clínicas (Tomografía Axial Computarizada TAC, Angiografía, Rayos X, etc.), así como también las observaciones hechas durante la cirugía (si es que la hubiere), los medicamentos administrados y la condición final del paciente (Vivo o Muerto).

Existen dispositivos construidos en el extranjero que se cotizan en dólares y que para la mayoría de los hospitales en nuestro país quedan fuera del alcance de su presupuesto. El mejoramiento del encefalobarómetro del Dr. Miranda permitirá tener un dispositivo confiable y de un costo tres veces menor comparado con sus equivalentes extranjeros, que lo hará accesible a un mayor número de hospitales en México. La figura 3-1 muestra una representación gráfica del problema.

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.

Antes de comenzar el desarrollo de sistema, deben considerarse las alternativas de solución al problema. La falta de conocimiento es un problema que podría ser resuelto en una forma diferente a la usada por un Sistema Experto (SE).

- Quizás la dependencia del experto no sea tan imprescindible, en este caso debe buscarse la forma de que la persona que necesite el conocimiento pueda consultar al experto esporádicamente, una solución podría ser tener a la mano el número telefónico del experto.
- La gente que necesita el conocimiento puede adquirirlo a través del estudio y la experiencia. Esta situación de falta de conocimiento puede resolverse proporcionando cursos y seminarios afines a las personas que no posean el conocimiento. Esta solución podría ser a la larga tan cara y consumidora de tiempo como la construcción de un SE diseñado para capacitar a tales personas.
- Una alternativa adicional al entrenamiento es empaquetar el conocimiento e información relacionada dentro de documentación impresa o electrónica. El experto podría ser capaz de crear o ayudar a crear manuales conteniendo todos los hechos, figuras, procedimientos u otros conocimientos necesarios para hacer el trabajo. De esta forma, el empleado puede fácilmente acceder al conocimiento. Muchas veces esta simple solución es todo lo que se requiere. Por supuesto toma mucho tiempo generar manuales y ayudas. Sin embargo, ellos son a menudo menos caros que los SE y son fáciles de crear.
- Una solución computarizada podría ser la mejor forma de resolver un problema, pero la construcción de un SE con lenguajes para Inteligencia Artificial o con un *Shell* podría no ser completamente apropiado. Una vez que se ha definido el problema, hay que examinar la posibilidad de usar paquetes de software estándar. Por ejemplo, puede funcionar una popular hoja de cálculo o un sistema manejador de base de datos. Si se tiene la habilidad de desarrollar software tradicional debe valorarse esta opción . Podría ser una solución más rápida y simple que un SE. Sin embargo, si un SE se acomoda bien a la solución debe intentarse resolver por este medio.

No se ha considerado la posibilidad de resolver el problema que nos ocupa capacitando enfermeras, ni construyendo manuales o ayudas, debido a que las enfermeras son constantemente cambiadas de unidad o que ellas emigran a otro hospital, provocando con ello que la capacitación tenga que hacerse constantemente, además se requieren tres turnos de enfermeras por cada paciente. La ventaja de construir un SE es que el conocimiento que éste posee es permanente y está accesible durante los tres turnos. Por lo tanto, una solución computarizada a través de un SE es factible ya que es capaz de dar una evaluación rápida del paciente, tal como lo haría un neurocirujano.

Se ha considerado construir un sistema usando las técnicas de Inteligencia Artificial (IA), ya que el problema trata directamente con heurísticas usadas por el experto humano. No obstante, se ha considerado la posibilidad de usar software convencional para la adquisición de datos y para el manejo de la base de datos, incluyendo dentro de la aplicación un módulo inteligente para alcanzar una conclusión. Una descripción más a fondo de esto se hará cuando se analicen los recursos de cómputo y la estructura general de **CRANIUM**.

FASE II.- ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA.

Una vez establecida la idea del proyecto, debe hacerse un análisis detallado del sistema para obtener alguna idea de como va a verse. En principio, el sistema se nombrará como **CRANIUM**. *Cranium* significa en latín *cráneo* y es el nombre que el equipo de desarrollo ha considerado más apropiado.

ESTRATEGIA DE DESARROLLO.

De acuerdo a Vedder y Turban¹, existen muchas clases generales de estrategia de desarrollo de SE:

- **Hacerlo usted mismo:** Es una estrategia en la cual no existen entidades externas que participen directamente en el desarrollo del sistema. Esta estrategia *tiene* varias opciones con respecto a la organización. Es recomendable para empresas con gran experiencia en el desarrollo de sistemas para IA.
- **Contratar a un desarrollador externo:** Esta clase de estrategia es apropiada para empresas que no tienen gran experiencia en construir sistemas de este tipo, y que tampoco poseen una metodología propia para el desarrollo de los mismos. Partes importantes del análisis pueden ser dejadas a ingenieros del contratista que son contratados por fuera.
- **Formar parte de una aventura compartida:** Esta es una opción adecuada para organizaciones que desean ganar experiencia en el desarrollo de aplicaciones para IA, pero que no están dispuestas a absorber todo el riesgo de desarrollo o los costos. Un desarrollo de este tipo puede ser hecho con un proveedor de herramientas para IA, una universidad o un instituto de investigación. Esto funciona como sigue. Una empresa participa con recursos a manera de patrocinador en un proyecto de universidad o instituto de investigación desarrollando prueba los programas y suministra los resultados a la organización patrocinadora.
- **Comprar, adquirir o convertirse en accionista mayoritario en una compañía de Inteligencia Artificial:** Una mejor frase es una para describir este punto: "¿Si no puedes con el enemigo, ¡matelo!"

Evidentemente, por la naturaleza del trabajo la estrategia de desarrollo implementada es la de **Hacerlo Usted Mismo**. Sin embargo es de utilidad mencionar las diferentes estrategias de desarrollo que existen para un proyecto comercial y que implican o poseen la venta

FUENTES DE CONOCIMIENTO.

Las diferentes fuentes de conocimiento pueden ser categorizadas dentro de los grupos siguientes:

¹ Vedder, R. Turban, R. *Intelligence in Management Systems*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1977.

- **Conocimiento Documentado o formal.** - Este tipo de conocimiento es parte mayoritaria en la base de conocimiento de muchos Sistemas Expertos, particularmente si éstos son pequeños. Conocimiento de éste tipo proviene de las siguientes fuentes:
 - Libros de Texto: Aquí se encuentran reglas generales y hechos específicos.
 - Bases de Datos: Aquí se encuentran datos empíricos, información en tiempo real, reportes de casos, hechos y reglas.
 - Otras fuentes: Aquí se consideran los manuales, memos, reportes, fotos, fuentes de audio y videos.
- **Conocimiento no Documentado o informal.**- Este tipo de conocimiento lo posee la mente del experto humano. El conocimiento que el experto humano posee es mucho más complejo que el que se encuentra en las fuentes formales. Este conocimiento está basado en la experiencia y en muchos casos puede ser expresado en términos de heurística.

En **CRANIUM** el conocimiento formal fue adquirido a través de algunos atlas de anatomía, libros considerados clásicos de la medicina para la documentación de los aspectos anatómico y fisiológicos del cráneo y del sistema nervioso central. Libros clásicos de neurología y neurocirugía para lo referente a los aspectos terapéuticos del traumatismo cráneo encefálico y cuya referencia en su totalidad está incluida en el capítulo II de éste trabajo. Sin embargo, la mayor parte del conocimiento formal fue adquirido a través de reportes científicos que son la fuente principal de documentación y actualización de los médicos. **CRANIUM** también incluye fotos de la cirugía empleada para colocar el tornillo de Richmond para medir la presión intracraneal. Todos los reportes científicos y la mayoría de las fotografías incluidas fueron proporcionados por el neurocirujano Dr. Gregorio Miranda Lovera que colaboró como experto y como fuente de conocimiento informal. Una breve descripción de la trayectoria del mismo es dada a continuación.

El experto neurocirujano.

DR. GREGORIO MIRANDA LOVERA (1948--).

Es Médico Cirujano (1972-1978) por la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.). Realizó su Internado Rotatorio de pregrado en la Dirección General de Servicios Médicos del Departamento del Distrito Federal (D.G.S.M.D.D.F.) y fue seleccionado como aspirante a residencia médica de las instituciones de salud del sector público. Curso los estudios para obtener el grado de Neurocirujano en el C.H. "20 de Noviembre" I.S.S.S.T.E. México D.F. de Marzo de 1980 a Marzo de 1986, con obtención de reconocimiento Universitario.

Es Miembro Titular de la Sociedad Mexicana de Anatomía desde 1978 y Profesor e Investigador del Departamento de Anatomía de la U.N.A.M. desde 1976. Profesor del curso del área de neurocirugía en la D.G.S.M.D.D.F. a partir de 1986.

Ha dictado numerosas conferencias acerca de anatomía, neuroanatomía y traumatismo cráneo encefálico en diferentes hospitales de la Cd. de México.

Sobre el tema del encefalobarómetro y el tornillo modificado de Richmond ha dado las siguientes conferencias:

- Conferencia "MONITOREO DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL CON TORNILLO DE RICHMOND Y CÁNULA DE WILKINSON". C.H. "20 de Noviembre" I.S.S.S.T.E. (4 de diciembre de 1984).
- Conferencia "ENCEFALOBARÓMETRO O M". Ponente en la VI reunión nacional de morfología. Cuernavaca Morelos. Noviembre de 1985.
- Conferencia "MONITOREO DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL EN PERROS CON ENCEFALOBARÓMETRO OLI-MIR". Sociedad Mexicana de Anatomía. Septiembre de 1986.
- Conferencia "MONITOREO DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL EN EL TRAUMATISMO CRÁNEO ENCEFÁLICO CON ENCEFALOBARÓMETRO OLI-MIR". D.G.S.M.D.D.F. III Jornadas Médico Quirúrgicas. Unidad de Congresos I.M.S.S. Enero de 1987.

Ha ofrecido sus servicios como neurocirujano en el hospital de urgencias de "Balbuena", en el Hospital 20 de Noviembre del I.S.S.S.T.E. y actualmente es Jefe de la Terapia Intermedia Neuroquirúrgica del Hospital de Traumatología y Ortopedia de "Lomas Verdes" y también es neurocirujano de guardia C en el Servicio de Neurocirugía del Hospital de "Xoco". Desde 1983 hasta 1993, el Dr. Miranda Lovera midió la presión intracraneal con el encefalobarómetro a 218 pacientes con traumatismo cráneo encefálico severo. Los resultados de este trabajo serán publicados próximamente.

El Dr. Miranda Lovera es un candidato óptimo para fungir como experto para éste proyecto, dada su disposición, interés y sobre todo por ser el proponente inicial de la idea de éste proyecto.

DISEÑO DEL SISTEMA.

Un diseño conceptual de un SE es similar a un bosquejo arquitectónico de una casa. Este da una idea general de como va a verse el sistema y como va a resolverse el problema. El diseño muestra las capacidades generales del sistema, las interfaces con otros sistemas de computadora basados en información, las áreas de riesgo, los recursos requeridos, la composición del equipo de trabajo y cualquier otra información que sea necesaria para un diseño detallado más tarde.

Estructura General.

Para resolver el problema que nos ocupa por un medio computarizado se decidió que el sistema contara con 4 módulos claramente identificables por el usuario. La enumeración de estos módulos, junto con su diseño conceptual se describe a continuación:

- **Base de Datos.**- Una de las causas fundamentales de que la investigación clínica en México sea muy difícil de realizar, es que no se tengan registros computarizados de los aspectos socioeconómicos, clínicos, diagnósticos y terapéuticos de cada paciente en particular. Aquí se propone integrar en una base de datos todos estos aspectos de gran importancia para el avance de la investigación. El problema requiere que sean 2 cuestionarios de proyección de datos por cada paciente. El primero de ellos debe obtener datos generales del paciente (nombre, filiación, edad, peso, talla, sexo), mecanismo del traumatismo, fechas y horas del traumatismo así como de ingreso al hospital, un diagnóstico inicial, una evaluación neurológica inicial y una descripción de lo observado en las placas de Rayos X, Angiografías o Tomografías. Un segundo

registro se planea contenga los procedimientos y hallazgos quirúrgicos, los medicamentos administrados, los registros medidos de la presión intracraneal, etc. Una descripción detallada del diseño de la base de datos y de algunos de campos que estarán íntimamente relacionados con la base de conocimientos para poder alcanzar un diagnóstico se hará posteriormente.

- **Monitoreo e interpretación experta de la presión intracraneal.**- Este es el módulo más importante del sistema. Aquí se pretenden adquirir datos desde el sensor de PIC, recuperar información relativa del paciente desde la base de datos e interpretar las mediciones de la presión intracraneal junto con los datos clínicos y la evaluación neurológica del paciente. Se pretende tener como *módulo inteligente* al motor de inferencias de algún *shell* o algún *ambiente* para programar sistemas expertos para que éste alcance un diagnóstico y un tratamiento a seguir con un paciente. La comunicación con el encefalobarómetro se hará a través de un convertidor analógico-digital conectado al puerto paralelo. El software de adquisición de datos que se pretende usar para este fin es el distribuido por el vendedor del convertidor para luego ser de alguna forma utilizado como un programa externo. Éste módulo también debe presentar información gráfica y puntual del monitoreo de la presión intracraneal. Debido a la importancia de éste módulo se describirá con detalle posteriormente (al igual que la base de datos) una vez que se haya analizado el *hardware* y el *software* a utilizar.
- **Descripción de la cirugía.** Aquí se presentarán una serie de fotografías de la cirugía empleada para colocar el tornillo de Richmond modificado, comentadas por el experto neurocirujano Dr. Miranda Lovera. El tornillo se coloca en un punto específico del cráneo para después realizar una punción intraventricular con un catéter de silastic para poder medir la presión ejercida por los contenidos craneales y que se reflejan en la cantidad de Líquido Cefalorraquídeo que está siendo desplazado. Esta cantidad de Líquido Cefalorraquídeo es una medida de la presión intracraneal y es adquirida en el sensor de PIC y después es registrada e interpretada en la computadora. Estas fotografías se pretende sean mostradas en la computadora con una tecnología de tipo multimedia.
- **Consulta de textos selectos sobre neurocirugía y presión intracraneal .-** En esta parte del sistema se tendrá acceso a documentos seleccionados por el experto neurocirujano acerca de tópicos de interés general en Neurocirugía y sobre todo de textos que traten el tema del tratamiento de la hipertensión intracraneal, edema cerebral y traumatismo cráneo encefálico . Dichos textos pueden ser consultados aún cuando esté activo el monitoreo de la presión intracraneal.

A continuación se muestra una descripción gráfica de la estructura general de **CRANIUM**.

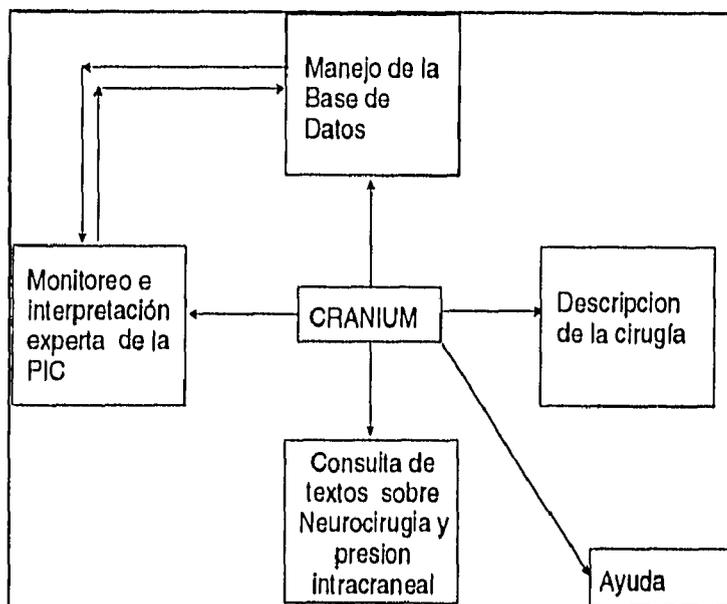


Figura 3-2.- Estructura General de CRANIUM.

Selección del hardware.

La decisión de que *hardware* y *software* usar para resolver el problema depende en gran medida de que recursos financieros se disponen. Las alternativas son muchas y la selección del *software* depende en mucho del *hardware*.

Teniendo en cuenta que el sistema sería desarrollado en su mayoría en el Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto de Ingeniería, se hizo una evaluación de los recursos del mismo laboratorio. Ahí se cuenta con 5 computadoras con procesador 80486 DX2 66 Mhz 16 MB RAM., 3 Computadoras 80386 SX 25 Mhz 16 MB RAM. con coprocesador matemático y una computadora 80486 DX 33 Mhz 8 MB RAM.

Se decidió solicitar al Coordinador del laboratorio M.I. Nicolás Kemper Valverde usar una computadora de las 5 con procesador 80486 DX2 66 Mhz con 16 MB RAM como herramienta de desarrollo.

El proyecto requería de un módulo de adquisición de datos. Esta tarjeta de adquisición de datos fue entonces adquirida pensando primordialmente en que dicho módulo no estuviera fijo a una computadora en particular. Por lo tanto se pensó en adquirir un módulo externo que tuviera la capacidad de conectarse a algún puerto de la computadora. Debido a que la naturaleza de la arquitectura permite a un puerto paralelo transmitir datos con más rapidez que un puerto serial, se decidió que la comunicación entre el encefalobarómetro, el módulo de adquisición de datos (analógico-digital) y la computadora debería hacerse a través del puerto paralelo de cualquier computadora, ya sea una popular *PC*, o preferentemente una computadora portátil.

Existen pocos módulos en el mercado con estas características y que además tengan la ventaja de ser muy eficaces y relativamente baratos. No obstante, una compañía americana dedicada a instrumentos de medición y de control (National Instruments Inc.), tiene a la venta un dispositivo de adquisición de datos externo con comunicación al puerto paralelo llamado DAQ-PAD- 1200. Cuyas características son resumidas en la siguiente tabla:

Características del DAQ-PAD 1200
Conexión directa al puerto paralelo (Centronics o EPP), sin necesidad de agregar ranuras de expansión.
Conversión Analógica Digital de 12 bits. ADC
<ul style="list-style-type: none"> • 100,000 muestras por segundo en modo EPP. • 8 canales simples de adquisición o 4 diferenciales. • Ganancia programable de 1, 2, 5, 10, 20, 50 o 100. • Buffer analógico-digital de 2000 muestras PEPS
Salida Unipolar (0 a 10 V) o Bipolar (-5 a +5 V)
Completamente configurado y calibrado por <i>software</i>
Segundo Puerto paralelo para conexión y uso de otro dispositivo que use el puerto paralelo.
Alimentación de poder con cualquier fuente de entre 9 y 42 VDC

Tabla 3.1.- Características del DAQ-PAD 1200.

Existen otras muchas características técnicas de éste instrumento de medición cuya enumeración no corresponde al objetivo de este trabajo y por lo cual se omiten.

Selección del software.

La selección del software es dependiente de la elección del hardware, por lo tanto, dado que se trabajaría en una computadora IBM PC compatible. Se decidió usar el sistema operativo MS-DOS ver 6.0. debido a la amplia difusión que tiene en este tipo de plataforma. Después de elegido el sistema operativo, se tuvo que decidir en que nivel de software se iba a trabajar. Aquí se tuvieron las siguientes alternativas de software con las que cuenta el laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto de Ingeniería :

- **Usar un lenguaje propio de la Inteligencia Artificial.** Los lenguajes de manipulación simbólica o para Inteligencia Artificial proporcionan una manera efectiva para representar objetos tipo para Inteligencia Artificial. Los dos lenguajes principales son LISP y PROLOG. Con estos lenguajes, los procedimientos de programación y depuración pueden ser a menudo construidos mucho más rápido. En el laboratorio se cuenta con:

1. **PROLOG. (For programming in logic).**
2. **LISP (for List Processor).**

- **Usar un Shell.** En lugar de construir un SE desde el principio, es a menudo posible *tomar prestado* una gran parte de un SE específico ya construido. Esta estrategia ha dado como resultado la creación de varias herramientas de software integradas denominadas como Shells. Los SE son despojados de su base de conocimientos, lo cual deja al shell únicamente con sus mecanismos de explicación y de inferencia.

El programador necesita solamente insertar adecuadamente el conocimiento para construir el sistema. Los Shells pueden ser considerados como ambientes de programación limitados, ya que son inflexibles y podría ser difícil ajustarlos a tareas y problemas no estándares. Como resultado, el constructor podría usar varios Shells, así

como sistemas híbridos (environments) y otras herramientas en una misma aplicación. Tal proliferación podría causar problemas para el mantenimiento del sistema.

A pesar de sus limitaciones, los Shells están siendo muy usados por muchas organizaciones de varios tamaños. En algunos casos están siendo usados primariamente para entrenamiento o como una primera herramienta dentro del ciclo del prototipo. El laboratorio cuenta con los siguientes Shells:

1. **Para SE de tamaño pequeño** : EXSYS, Personal Consultant Easy, VP Expert y Level 5.
2. **Para SE de tamaño mediano** : EXSYS Profesional y Nexpert.

Usar un sistema híbrido, también conocido como ambiente de desarrollo (Development environments). Son sistemas de desarrollo que soportan diferentes formas de representación del conocimiento y manejo de la inferencia. Ellos usan marcos (frames), programación de redes semánticas (semantic networks) orientadas a objetos, reglas(rules) y meta-reglas (meta-rules), diferentes tipos de encadenamiento (hacia adelante, hacia atrás y bidireccional), razonamiento no-monotónico (reasoning non-monotonic), una rica variedad de técnicas de herencia y más.

Los sistemas híbridos permiten un ambiente de programación que permite construir SE específicos complejos. Inicialmente éstos sistemas fueron desarrollados para computadoras grandes y estaciones de trabajo para IA. Ahora están disponibles para PC's. Los ambientes son más especializados que los lenguajes, por lo tanto, pueden incrementar la productividad de los desarrolladores del sistema. Aunque los ambientes requieren más habilidades de programación que los Shells, ellos son más flexibles. Los ambientes en su mayoría usan las capacidades y ventajas de la tecnología de Programación Orientada a Objetos. Los siguientes ambientes son parte del laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto de Ingeniería:

1. **Para sistemas expertos grandes (Workstations).** Nexpert Object con Smart Elements.
 2. **Sistemas PC.** Knowledge Pro, Nexpert Object, Personal Consultant Plus, Level 5 Object versión 2.5 y 3.5.
- **Usar un lenguaje de propósito general ajeno a la Inteligencia Artificial.-** Muchos lenguajes de propósito general pueden ser usados específicamente para la ingeniería de conocimiento. Generalmente, estos lenguajes son más flexibles y menos restringidos que los *ambientes* o los *Shells*. Sin embargo, carecen de facilidades sofisticadas para los procesos de entrada-salida para la construcción de la base de conocimientos y para el mecanismo de inferencia. Por lo tanto, su ambiente de programación no es tan comprensible como aquéllos usados en los ambientes o en los *Shells*. A diferencia de éstos últimos que están restringidos a aplicaciones genéricas (ej. diagnóstico) éstos programas no están restringidos. Los SE pueden ser construidos con uno o muchos lenguajes de programación de propósito general. Estos pueden variar desde lenguajes procedurales (COBOL, PASCAL, C, etc) hasta inclusive ser construidos a partir de lenguajes de cuarta generación tales como el usado en las macros de Lotus 1-2-3 o

Microsoft™ Excel. Algunos SE específicos han sido también completamente programados en lenguajes de propósito general. ¿Por qué? Una razón es que los lenguajes para IA requieren más memoria y son demasiado restrictivos. Otra razón importante es el hecho de que los lenguajes ajenos a la IA se ejecutan mucho más rápido en microcomputadoras. Finalmente, una ventaja más es que la interface de un SE con una base de datos puede ser mucho más fácil si el SE es escrito en un lenguaje convencional. Existen maneras de evitar los problemas mencionados arriba, muchos programadores diseñan primero su SE prototipo con lenguajes para IA tales como PROLOG o LISP o con ambientes y/o *Shells*; y una vez que ellos están satisfechos de como trabaja el sistema, trasladan el código a PASCAL, FORTRAN, C, etc. Últimamente, la propagación masiva de la tecnología de los SE se debe al uso de una interface gráfica amigable, es por eso que lenguajes de programación para el ambiente gráfico de Windows™ orientados a objetos o eventos están ganando terreno, en seguida se menciona el *software* relacionado a los lenguajes de programación de propósito general con el que cuenta el laboratorio de Inteligencia Artificial:

- 1.- **Lenguajes Orientados a Objetos.** Smalltalk 80, Turbo C++, Visual C++.
- 2.- **Lenguajes orientados a eventos.** Visual Basic Professional con herramientas FX-Tools, VB Tools, VB assist y Visual Help.
- 3.- **Lenguajes de Cuarta generación.**- Aquí se incluyen los procedimientos para crear macros en Lotus 123 y Excel 4.0 o inferior. (Excel 5.0 conjuga el uso de macros escritas en módulos procedurales con la interacción de celdas de una hoja de cálculo)

Después de conocer todo el software relacionado a la plataforma en la cual se iba a desarrollar el sistema, debió elegirse si se trabajaría bajo ambiente Windows™ o bajo ambiente MS-DOS.

La aparición del ambiente gráfico de la plataforma Macintosh™ y después la propagación del ambiente Windows™ en todo el mundo, ha permitido derrumbar el mito de que las computadoras sólo son usadas por personas superdotadas intelectualmente y altamente capacitadas. El éxito comercial de Microsoft Windows™ en el desarrollo de la informática en México es espectacular, es por esto que se decidió desarrollar una aplicación que pudiera ejecutarse bajo Windows™. Además, la promesa de Microsoft™ de que Windows 95™ (entre otras cosas) haría más eficiente el acceso y manejo de la Memoria de Acceso Aleatorio (RAM) y como consecuencia de que esto permitiría un mejor desempeño del *software* dedicado a la instrumentación y el control, se consideró más ventajoso el desarrollo del proyecto bajo ambiente Windows™ 3.1 o 3.11 para después *emigrar* a Windows 95™.

Se usó para la elección del software, una adecuación de la metodología para este fin propuesta por Le Blanc y Tawfik⁶. Las entidades de software de desarrollo elegidos con sus diferentes causas fueron:

⁶ Le Blanc Louis(Universidad de Arkansas) y Jelassi Tawfik. (INSEAD Fontainbleu, Francia). *A methodology for choice of Software for Expert Systems* En "EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS", Vol. 2, pp 201-209, USA, 1991.

- **Visual Basic 3.0.**- Es un lenguaje de programación convencional orientado a eventos, Visual Basic ha tenido gran auge últimamente debido a la rapidez con que se pueden desarrollar aplicaciones sofisticadas. Visual Basic facilita la gestión de información de bases de datos de uso común. Visual Basic permite crear con facilidad entidades de programación que hasta hace muy poco eran consideradas difíciles de crear, como son las llamadas ventanas, botones, listas, *comboboxes*, etc. El uso de Visual Basic se hace principalmente a través de herramientas (VBX) que son en realidad clases o controles preprogramados con funciones específicas y cuyas propiedades son manipuladas de tal forma que se ajusten a las necesidades de cada desarrollador en particular. Tal vez el hecho de que estas herramientas estén ya programadas hagan relativamente inflexible a Visual Basic, no obstante, la proliferación de empresas dedicadas a desarrollar controles para Visual Basic hacen muy difícil que algún desarrollador no encuentre uno ya desarrollado que no se ajuste enteramente a sus necesidades. Además la demanda en el mercado de estos controles es muy elevada por lo que su precio es barato en relación a las capacidades y ventajas que estos ofrecen.

Aunque la mayoría de aplicaciones desarrolladas en Visual Basic son sistemas de información orientados a manipular bases de datos, un número creciente de sistemas de instrumentación se están desarrollando con éxito usando Visual Basic como herramienta de desarrollo⁷. Visual Basic tiene muchos atributos que lo hacen un buen ambiente para el desarrollo de software de instrumentación. Primero, usa un código semejante a BASIC tradicional que es relativamente fácil de aprender, usar y que además se ha usado por muchos años para elaborar sistemas de instrumentación. Finalmente, la arquitectura de Visual Basic permite sumarle controles con código para el manejo de módulos de adquisición de datos a través del puerto paralelo, una tarjeta insertada en el NuBus o una tarjeta PCMCIA.

Estas razones han hecho que se prefiera usar Visual Basic para aplicaciones de tamaño mediano en lugar de usar lenguajes más potentes y complicados como C++, Turbo C++ y Visual C++.

- **Level 5 Object R.3.5.** Level 5 Object R. 3.5 es un *ambiente*. Ya que contiene todas las herramientas necesarias para resolver una amplia variedad de problemas. La barra de herramientas de Level 5 Object R. 3.5 contiene un conjunto integrado de editores para ayudar al desarrollador a crear soluciones efectivas de software. Desde rápidos prototipos hasta enormes aplicaciones.

Level 5 Object R. 3.5 usa un lenguaje de alto nivel llamado PRL (Production Rule Language). El PRL está diseñado para ser simple de aprender y leer; y tiene una sintaxis muy parecida a la utilizada por el idioma inglés natural. Aunque el desarrollador raramente verá este código a causa de que prácticamente todo el proceso de desarrollo es a través de editores interactivos, éste código está ahí para proporcionar al desarrollador un máximo de flexibilidad y precisión cuando desarrolle una aplicación. Todos los elementos que son creados a través de estos editores interactivos, pueden ser expresados en términos del lenguaje PRL.

Level 5 Object R. 3.5 es un Sistema Experto. Se puede usar para crear aplicaciones "inteligentes". Puede resolver problemas de la vida real que no pueden ser resueltos

⁷ National Instruments. *Instrumentation Reference and Catalogue*, 1995, pag I-74.

por otros medios. Usando reglas simples que puedan razonar o reconocer patrones , y que puedan reaccionar a situaciones dadas, Level 5 Object R. 3.5 puede proporcionar respuestas educadas y consistentes a gente que las necesite.

El hecho de que Level 5 Object R. 3.5 tenga la capacidad comunicarse a través de OLE (Object Linking Embedding), que es una tecnología en la que es posible incrustar objetos de aplicaciones externas, pudiéndose usar los objetos incrustados como si se estuviera trabajando dentro de su aplicación nativa, nos permite crear una aplicación creada en un lenguaje de propósito general como Visual Basic e incorporarle un *módulo inteligente* externo interactuando con él. En este caso el módulo llamado *inteligente* y que permitirá alcanzar una conclusión será la implementación del motor de inferencias de Level 5 Object R. 3.5 a través de funciones OLE y que serán administradas a través de código por Visual Basic.

- **NI-DAQ.** El software de control NI-DAQ es un conjunto de funciones para controlar tarjetas y/o módulos de adquisición de datos. Éste software es gratuito en la adquisición de la mayoría de los módulos de adquisición de datos vendidos por National Instruments. Este *software* incluye:
 - ◆ Entrada/salida básica con alrededor de 100 funciones de alto y bajo nivel.
 - ◆ Un gestor de recursos (RM) que elimina el conflicto de interrupciones, accesos directos de memoria o de direccionamiento de la misma.
 - ◆ Un gestor de datos y de buffer para almacenamientos de doble buffer de gran velocidad.

NI-DAQ para Windows y Windows NT es un conjunto de librerías que controlan tarjetas de adquisición de datos desde cualquier entorno de programación que tenga acceso a una DLL (Dinamic Link Library, librerías indispensables para el entorno Windows). Las librerías NI-DAQ incluyen ejemplos escritos en Visual Basic, Microsoft C de SDK, Borland C++ y Turbo Pascal para Windows™.

La DLL de NI-DAQ garantiza un comportamiento óptimo en el ambiente Windows™. El driver NI-DAQ ofrece velocidades de transferencia directa a la memoria de la computadora de 1 Millón de muestras por segundo.

El software NI-DAQ incluye tres controles para Visual Basic para adquirir datos a través de termopares, termistores, transductores de presión etc. Estos controles incluyen una rutina de servicio de interrupción virtual para no afectar el rendimiento de las tarjetas de adquisición mientras trabajan bajo entorno Windows.

Todos estas características del software NI-DAQ lo hacen factible para ser usado como herramienta de desarrollo en Visual Basic y por lo tanto integrarlo en la aplicación que desarrollamos.

- **Microsoft Access V 1.1.-** Este es un manejador flexible y potente de bases de datos que permite crear bases de datos eficientes y realizar consultas, reportes, macros, etc. , de una manera fácil y sencilla. Se decidió usar Access porque Visual Basic es más eficiente en el manejo de bases de datos creadas por este manejador que las creadas por otros manejadores, por la sencilla razón de que Visual Basic y Access son desarrollados por la misma compañía; Microsoft Inc.

La ingeniería del conocimiento en CRANIUM.

El proceso de la ingeniería de conocimientos en **CRANIUM**, involucró tres etapas interactivas. A continuación se describen :

1. ADQUISICION Y DOCUMENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO.- Esta etapa consistió primordialmente de:

- **Entrevistas con el experto.** Estas entrevistas fueron hechas tanto en la Fac. de Medicina UNAM, donde el experto imparte cátedra, como en el Laboratorio de IA del Instituto de Ingeniería. Estas tuvieron una frecuencia de 3 veces por semana en promedio durante un periodo explícito para este fin de 5 meses.
- **Análisis, clasificación y documentación de la información.-** Una vez obtenida información del experto ésta se analizó, clasificó y documentó en el cuaderno del conocimiento.
- **Elaboración de cuestionarios .-** El proceso de ingeniería del conocimiento es sumamente interactivo, de esta forma, la labor de ingeniería en este sentido debe de tratar de esclarecer las dificultades conceptuales, al mismo tiempo que establece un dominio apropiado para el SE. Así, las respuestas del experto en los cuestionarios ayudaron a determinar la relevancia de algunos aspectos del conocimiento de acuerdo al dominio del SE.

2.- REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO. Esta etapa consistió en la representación de elementos en la base de conocimientos (construida en Level 5 Object) para realizar el diagnóstico y tratamiento del edema cerebral causado por TCE basado en el monitoreo de la PIC.

Basicamente, existen 7 categorías que determinan el diagnóstico para este tipo de pacientes, estos son mencionados a continuación.

Sexo

- Masculino
- Femenino

Complexión(Estatura/Peso)

- Delgada
- Mediana
- Robusta

Edad

- Joven
- Madura
- Senil

Tipo de edema cerebral

- De leve a moderado
- Severo

Otros sistemas lesionados.

- Paciente con fracturas de miembros inferiores, torax, etc.
- Paciente sin lesiones adicionales

Valoración de la Escala de Coma de Glasgow

- Coma profundo
- Estupor
- Fuera de coma

Nivel de Presión Intracraneal

- Normal
- Moderada
- Peligrosa

Cada uno de los valores de estas categorías determinan un valor de la Escala Pronóstica de Glasgow, (Véase capítulo anterior)

La codificación en Level 5 Object fue como sigue:

CLASS Paciente

WITH Sexo COMPOUND

- Masculino,
- Femenino

WITH Edad en numero NUMERIC

WITH Clasificación de Edad COMPOUND

- Joven,
- Madura,
- Senil

WITH Peso en numero NUMERIC

WITH Clasificación de complexión COMPOUND

- Delgada,
- Mediana,
- Robusta

WITH Talla en numero NUMERIC

WITH PIC COMPOUND

- Normal,
- Moderada,
- Peligrosa

WITH Escala de coma de Glasgow COMPOUND

- Coma Profundo,
- Estupor,
- Fuera de coma

WITH Glasgow en numero NUMERIC

WITH Edema Cerebral COMPOUND

- Leve a Moderado,
- Severo

WITH Policontundido COMPOUND

- Si Policontundido,
- No Policontundido

WITH EPG COMPOUND

- Fallecido,

Estado Vegetativo,
Secuelas Graves,
Secuelas Moderadas,
Buena Recuperacion

CLASS Presion Endocraneal

WITH Presion Intra craneal NUMERIC

Teniendo en cuenta que se tiene un diagnóstico, se estableció que la estrategia de solución de problemas fuera con un **ENCADENAMIENTO HACIA ADELANTE**. Con esta condición, la representación de reglas de conocimiento en Level 5 Object se hizo a través de DEMONS. Una de las 648 reglas representadas por DEMONS en la base de conocimiento que se usaron para alcanzar un valor de la Escala Pronóstica de Glasgow es mostrada a continuación.

DEMON Paciente Masc_Jov_Del_Nor_Coma_Sev_No P

IF Sexo OF Paciente IS Masculino

AND Clasificación de Edad OF Paciente IS Joven

AND Clasificación de complexión OF Paciente IS Delgada

AND PIC OF Paciente IS Normal

AND Escala de coma de Glasgow OF Paciente IS Coma Profundo

AND Edema Cerebral OF Paciente IS Severo

AND Policontundido OF Paciente IS No Policontundido

THEN EPG OF Paciente IS Secuelas Graves

Para una mayor referencia acerca de todas las reglas consúltese el apéndice 1.

El problema del tratamiento según los niveles de PIC, trata explícitamente con el tiempo, es decir, se trata con el concepto de situaciones cambiantes a medida que avanza el tiempo, (Tiempos de ocurrencia de determinados Niveles de presión intracraneal y puntuación de Escala de Coma de Glasgow), por lo tanto la condición cambiante de las situaciones determina las acciones que tienen que llevarse a cabo, así como de su éxito o fracaso. Level 5 Object R. 3.5. no es capaz de establecer contadores de tiempo que traten explícitamente con este problema, de esta forma la tarea de hacer esto es dejada a Visual Basic que puede controlar diferentes contadores de tiempo de manera eficaz. La implantación de esto se explicará con más detalle, cuando se describa el monitoreo y la interpretación experta de la presión intracraneal en la arquitectura del SE.

- 3.- **VALIDACION, DEPURACION Y PRUEBAS.** Esta etapa se describirá con más detalle en el capítulo IV.

Una representación esquemática del proceso de ingeniería del conocimiento se muestra en la figura 3.3.

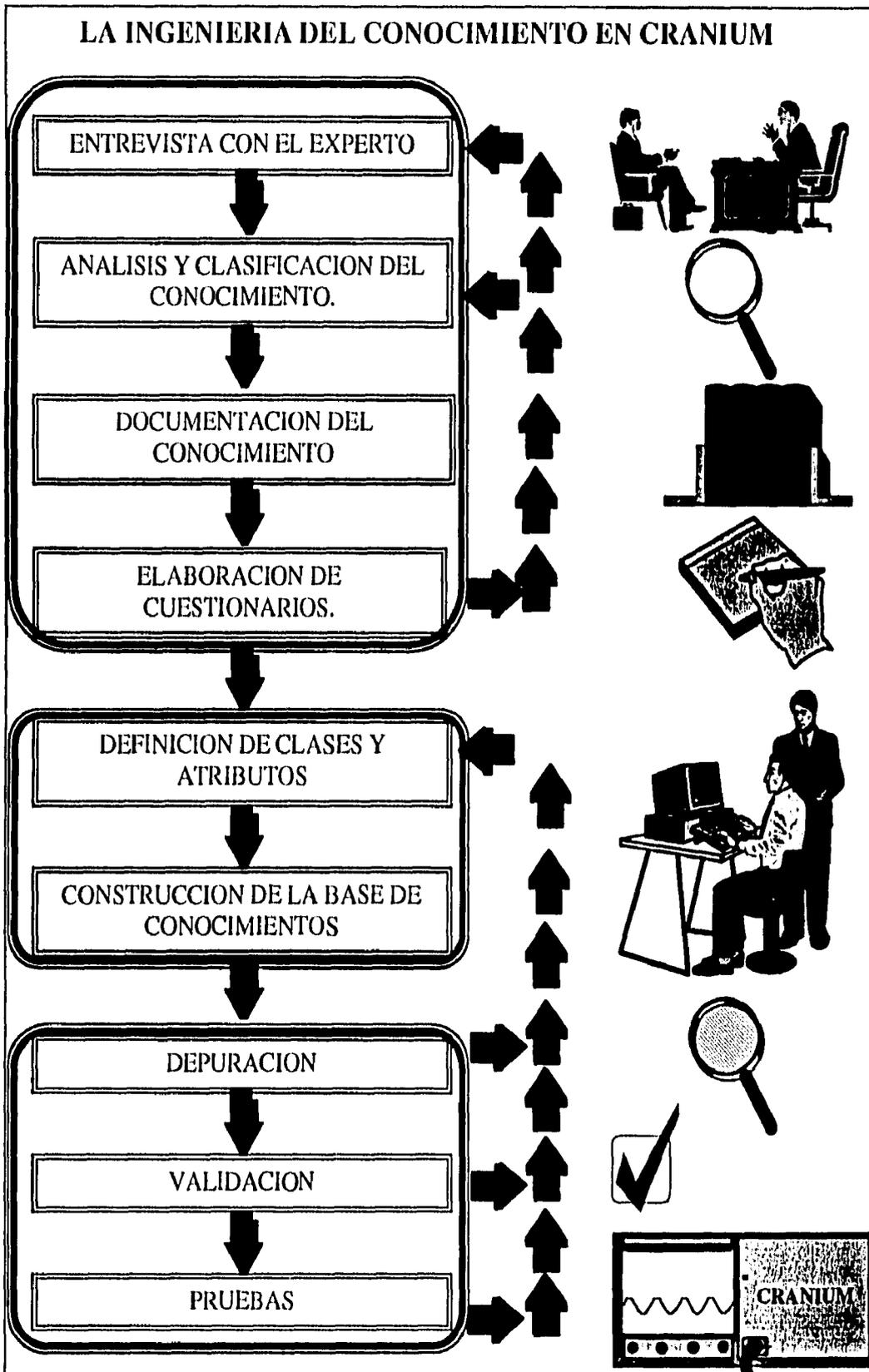


Figura 3-3. La ingeniería del conocimiento en CRANIUM.

Diseño de la Base de Datos.

De acuerdo a las entrevistas realizadas con el Dr. Miranda Lovera y con la experiencia de él mismo en el monitoreo de la presión intracraneal en 218 pacientes teniendo en cuenta sus respectivos expedientes, se elaboraron dos cuestionarios de proyección de datos; uno en donde se tomó en cuenta la necesidad de obtener datos iniciales para poder arrojar una conclusión durante el monitoreo de la presión intracraneal y después de éste obtener datos finales del mismo paciente, con el fin de complementar los datos iniciales y que en conjunto sirvan como antecedente para un análisis estadístico posterior. A continuación se incluyen las estructuras generales de las tablas llamadas INICIAL y otra FINAL creadas en Acces V.I.I que definen la estructura de los cuestionarios que son parte del Sistema Experto. En la tabla que sigue se especifican, el nombre del campo que describe explícitamente su concepto, el tipo y algunos subconceptos predeterminados y previamente grabados en la base de datos¹¹.

Nombre del Campo	Tipo	Subconcepto
No Expediente	Long	
Nombre	Text	
Edad	Integer	
Peso	Single	
Talla	Single	
Diagnóstico Inicial	Text	Traumatismo Cráneo Encefálico
		Hemorragia intraventricular parietal izquierdo
		Edema Cerebral Severo
		Hematoma Epidural Temporo Parietal derecho.
		Cisticercosis cerebral
		Herida por arma de fuego
		Hidrocefalia postraumática
		Hematoma subdural agudo Temporal derecho.
		Aneurisma A.CO. A.
		Higromas en hemisferio derecho.
		Higromas en hemisferio izquierdo
		Higromas Bifrontal
		Hematoma epidural temporal derecho.
		Fractura de Piso medio bilateral.
		Fractura de Piso medio derecho y edema.
		Fractura de frontal lado izquierdo y edema.
		Hematoma Parieto-occipital izquierdo.
		Lesión de Tallo cerebral irreversible.
		Hematoma intraparenquimatoso Temporal derecho
		Hematoma intraparenquimatoso Frontal derecho
		Hematoma intraparenquimatoso fosa posterior.
		Hematoma epidural Fronto-Temporo-Parietal

¹¹ Más adelante se dará una explicación del porque de este manejo.

		derecho.
		Glioblastoma multiforme izquierdo y cisticercos.
		Meningioma Parasagital izquierdo.
		Hundimiento Frontal izquierdo expuesto.
		Tumor
		Infarto parietal derecho
Glasgow inicial	Integer	
Mecanismo TCE	Text	Accidente Vial
		Caída de su altura.
		Por Arma de Fuego.
		Riña
		CCG.
		Hogar
		Laboral
		Deporte
Otros sistemas	Text	Sin lesión
		Hemotorax-neumotorax
		Insuficiencia Respiratoria + Inest. HD y STDA.
		Fractura de fémur y húmero
		Tromboembolia pulmonar
		Lefort
		Cervicalgia-Lumbalgia
		Politraumatizado.
		Trombo hemibolia pulmonar
		Músculo esquelético
Cushing	Text	Si
		No
Rayos X	Text	Normal
		Fractura de frontal izquierdo y edema
		Fractura de Parietal derecho.
		Fractura de Temporal derecho.
		Fractura de Piso medio derecho.
		Fractura de Piso medio izquierdo.
		Fractura de Piso medio bilateral
		Fractura de Estallamiento de craneo.
		Fractura de Piso anterior y orbitas.
		Fractura de Piso Posterior
		Fractura de Hundimiento lado izquierdo.
		Diasiasis de suturas
		Cobre martillado
		Fractura de. fronto parietal derecho y edema
		Fractura de Parietal-Occipital izquierdo.
		Fractura de Frontal Derecho

		Fractura de Fronto-Parietal-Temporal izquierdo
		Fractura de piso posterior y hundimiento
		Calcificaciones. (Cisticercos).
		Fractura de Temporo-Parietal-derecho
		Hundimiento derecho.
		Calcificaciones anormales.
Angiografía	Text	Normal
		Hematoma Subdural temporo parietal derecho
		Hematoma Subdural temporo parietal izquierdo.
		Hematoma epidural en hemisferio derecho.
		Hematoma epidural en hemisferio izquierdo.
		Hidrocefalia.
		Vaso espasmo generalizado
		Aneurisma ACOA
		Tumor cerebral.
		Hematoma bitemporal.
		Hematoma parenquimatoso temporal derecho.
		Hematoma parenquimatoso Frontal derecho.
		Hematoma parenquimatoso Parietal izquierdo.
		Hematoma parenquimatoso Parietal derecho.
		Vasos Geodesicos Temporales izquierdos.
		Edema Perilesional
		Meningioma Parasagital izquierdo.
		Vaso espasmo cerebral
		Hematoma isodenso
		Fistula carótida cavernosa
		No se realizó
Tomografía	Text	Normal
		Edema Cerebral
		Hematoma subdural agudo frontal derecho
		Hematoma subdural agudo frontal izquierdo
		Hematoma subdural agudo parietal derecho
		Hematoma subdural agudo parietal izquierdo
		Hematoma subdural y epidural temporal derecho
		Hematoma subdural y epidural temporal izquierdo
		Hematoma subdural crónico derecho.
		Hematoma subdural crónico izquierdo
		Hematoma subdural crónico bilateral.
		Hematoma parenquimatoso en hemisferio derecho.
		Hematoma parenquimatoso en hemisferio izquierdo.
		Hemorragia intraventricular
		Hemorragia subaracnoidea
		Neoplasias Cerebrales

		Hidrocefalia
		Apariencia de circulo de Willis
		Hernia transcranial.
		Hematoma parenquimatoso bitemporal
		Hematoma parenquimatoso bifrontal
		Hematoma fosa posterior
		Meningioma
		Fractura de Hundimiento
		Hematoma isodense parietal izq/der.
		Fístula carotida cavernosa
		Contusión cerebral derecha.
		Tumor temporal derecho.
		Tumor temporal izquierdo.
		Granuloma
		Aneurisma
		No se realizó
Electroencefalograma	Text	Limites normales
		Ondas lentas y alto voltaje en temporal derecho.
		Ondas lentas y alto voltaje en temporal izquierdo.
		Ondas delta en todas las derivaciones
		Abolición del ritmo alfa
		Actividad rápida generalizada.
		Paroxismos espiga onda
		Ondas theta generalizadas.
		Descarga de puntas (trifasicas)
		Trazo isoelectrico.
		Disritmia Cerebral.
		Foco epileptico.
		No se realizó.
Tomografía control	Text	Infarto Parietal derecho.
		En LNS
		Infarto Temporal derecho.
		Infarto hemisferio izquierdo
		Dilatación Ventricular
		No se realizó
Tipo de cirugía	Text	Aplicación de Tornillo de Richmond. (Tr).
		Drenaje de hematoma parietal izquierdo y ventricular + Tornillo
		Craneotomía y evacuación de tumor Temporo-parietal-occipital izq.
		Craneotomía y drenaje de hematoma
		Hematoma epidural Temporo-parietal-derecho + Tornillo de Richmond.

		Craneotomía y resección de tumor o quiste Fronto-Temporo-Parietal izq. + Tr.
		Cranectomía y Luectomía T/D + Tr.
		DVP + TR.
		Toillete T/P/derecho + Tr.
		Clipaje de aneurisma ACA + Tr.
		Craneotomía y drenaje de hematoma + Tornillo de Richmond
		Levantamiento Parietal izquierdo.
Estado	Integer	
Archivo de Datos	Text	

Tabla 3.2.- Estructura de la tabla INICIAL

Nombre del Campo	Tipo	Subconcepto
No Expediente	Long	
Escolaridad	Text	Analfabeto
		Primaria
		Secundaria
		Preparatoria
		Profesional y de Posgrado
Ocupacion	Text	Campesino
		Obrero
		Empleado
		Profesionista
		Labores del Hogar
		Estudiante
		Jubilado
Estado Civil	Text	Soltero
		Casado
		Divorciado
		Viudo
		Unión Libre
		Se ignora
Glasgow en terapia	Integer	
Glasgow terapia_piso	Integer	
Glasgow final	Integer	
Duracion de la cirugía	Date/Time	
Otras cirugias	Text	Ninguna
		Traqueostomía
		Pleurotomía
		Gastrostomía
		Punción abdominal
		Punción abdominal y Pleurotomía
		Osteosíntesis de tibias

		Pleurotomía y Gastrostomía
		Amputación.
Hallazgos de la cirugía	Text	Hematoma TemporoParietal derecha
		Hematoma parenquimatoso parietal izquierdo y ventricular
		Hematoma subdural agudo Parietal-Occipital izquierdo
		Edema Cerebral severo
		Gliosis Cerebral
		Hematoma subdural agudo Fronto-Parietal-Temporal izquierdo
		Hematoma parenquimatoso Temporo-Parietal izquierdo
		Edema cerebral moderado
		Hematoma Epidural Temporal izquierdo
		Pulping Temporo-Parietal derecho
		Aneurisma ACA
		Herniación Transcranial
		Hemorragia Parenquimatoso Temporo-Parietal derecha
		Lesión de tallo cerebral irreversible
		Tumor Temporal
		Hidrocefalia
		Hematoma TemporoParietal derecha con edema cerebral moderado
		Neoplasma Bliomastosa izquierdo.
Días con Dexametazona	Text	
Antibióticos	Text	Penicilina
		Dicloxacilina
		Amikacina
		Cloranfenicol
		Cefotaxima
		Cefaticidima
		No se administró
Diuréticos	Text	Furosemida
		Manitol
		Acetazolamida
		No se administró
Analgésicos	Text	Dipirona
		Nalfobina
		No se administró
Anticonvulsivos	Text	Carbamacepina
		DFH
		No se administró
Ventilador	Text	Presión

		Volumen
		No se utilizó
Dias de estancia	Integer	
Resultado final	Text	Vivo
		Muerto
Relajantes	Text	
Barbituricos	Text	Tiopental
		No se administró

Tabla 3.3.- Estructura de la tabla FINAL

Las dos tablas están ligadas a través del campo *indexado No expediente*. Hay que hacer notar que las dos tablas anteriores, tienen algunos subconceptos que están predeterminados, estos subconceptos se manejaron a través de un control llamado *combobox* que permite elegir al usuario sólo uno de estos subconceptos y con esto darle consistencia a la base de datos. Debido a que estos controles tienen la capacidad de abastecerse de información a través de una base de datos, los subconceptos fueron integrados en pequeñas tablas cuyas primeras letras que le dan nombre son *combo+X* donde *X* es una cadena de caracteres que describen información explícita acerca del tipo de subconcepto y *+* indica una concatenación de caracteres. Por ejemplo, para nombrar la tabla que contiene los diferentes diagnósticos, la hemos nombrado *ComboDiagnosticos* y en esa tabla se creó un campo *diagnóstico* en donde se han vaciado los registros que se refieren a los diferentes diagnósticos. Cuidando que todos éstos diagnósticos de 218 pacientes no encasillen la base de datos, se ha considerado conveniente que dentro del *combobox* correspondiente, exista una opción llamada *otro(a)* que permita al usuario agregar a la tabla correspondiente una nueva observación y que está pueda estar accesible al usuario en una utilización posterior del sistema. De esta forma el sistema podrá incorporar *conocimiento relevante* acerca del dominio del experto y ser usado más tarde, permitiendo al sistema *aprender* de una manera limitada pero efectiva. La figura 3-3 muestra un diagrama de bloques que describe a grandes rasgos los flujos de información de la base de datos.

La adquisición de datos y la interpretación experta.

Cuando se entre a éste módulo, debe cuestionarse al usuario si existe algún registro del paciente, de no ser así, debe aparecer aquí la forma para el llenado del cuestionario inicial, en caso contrario, debe elegir al paciente de entre una lista de pacientes con registro inicial. Enseguida se enumeran los pasos seguidos desde la lectura del encefalobarómetro hasta la interpretación experta de las mediciones y el tratamiento sugerido para el paciente.

1. Teniendo al paciente que ha sufrido edema cerebral causado por Traumatismo Cráneo Encefálico, debidamente conectado al encefalobarómetro, deben de adquirirse los valores de voltaje correspondientes al nivel del líquido que ha subido por la columna de vidrio del encefalobarómetro.

2. Una vez conseguidos estos valores analógicos deben ser interpretados por un convertidor analógico-digital y de ahí, enviados por un cable al puerto paralelo de la computadora conectada y con el programa de adquisición de datos debidamente cargado.
3. Con software de adquisición de datos, adquirir 5000 lectura-muestras de voltaje aproximadamente cada segundo
4. Promediar los valores de las muestras para obtener un valor estadísticamente confiable del voltaje medido.
5. Convertir los valores de voltaje que corresponden al nivel de líquido sobre la columna de vidrio a un equivalente a milímetros de mercurio (mmHg) correspondientes a la Presión Intracraneal. La fórmula de conversión es la siguiente :

$$Presion\ mmHg = \frac{60\ mmHg}{Volt_{max} - Volt_{min}} (Voltaje - Volt_{min})$$

obtenida con la ayuda de la ecuación de la recta que pasa por dos puntos (x_1, y_1) y (x_2, y_2) y esta definida por la siguiente fórmula :

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

donde:

y = Presión en mmHg

y_1 = Mínimo valor de la Presión Intracraneal = 0 mmHg.

y_2 = Máximo valor de la Presión Intracraneal en el encefalobarómetro = 60 mmHg.

x = Voltaje = Voltaje correspondiente al nivel de líquido.

x_1 = $Volt_{min}$ = Voltaje medido cuando no existe líquido sobre la columna de vidrio del encefalobarómetro = 1.8597 aprox

x_2 = $Volt_{max}$ = Voltaje medido cuando el líquido sobre la columna de vidrio del encefalobarómetro alcanza el máximo nivel de presión = 3.1997.

Véase figura 3-4.

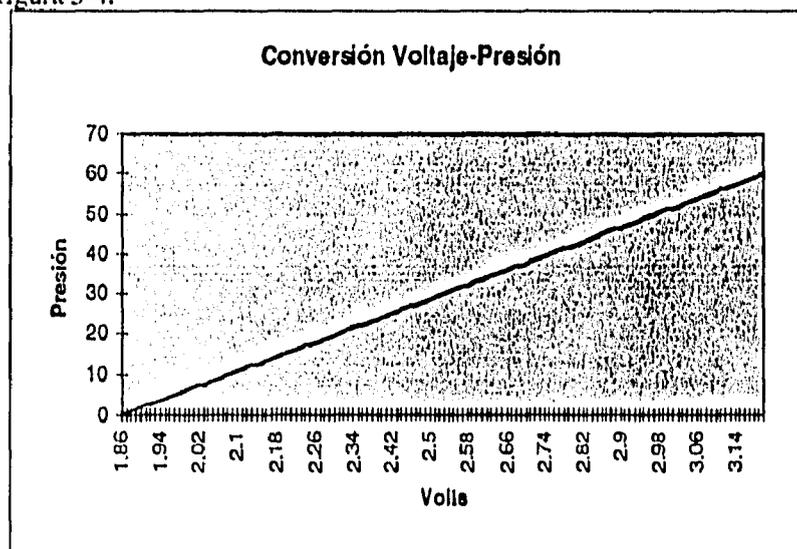


Figura 3-4.- Conversión Voltaje a Presión.

6. Una vez obtenido el valor de la presión, prepararlo para su despliegue en pantalla tanto gráfica como puntualmente. Este valor es almacenado en memoria para usarlo posteriormente en el siguiente paso.
7. Cada 60 segundos:

- Sacar la media de las últimas 60 adquisiciones.
- Con este valor promediado y con los datos relevantes del paciente, intentar alcanzar una evaluación y un tratamiento adecuado para el paciente.
- Vaciar los últimos 60 datos a un archivo de texto cuyo nombre está directamente relacionado con el número de expediente del paciente.
- Poner ese valor promediado en una gráfica que contenga mediciones de 60 minutos.
- Intercambiar con el módulo inteligente de Level 5 Object R. 3.5 los valores de la presión intracraneal y los datos clínicos del paciente para que el motor de inferencias alcance una recomendación y un tratamiento, que serán intercambiados con el módulo de adquisición de datos de Visual Basic mediante OLE (Object Linking Embedding).
- Despliegue en pantalla.

8. Cada hora :

- Obtener la media de los últimos 60 minutos, hasta obtener 8 observaciones que reflejarán el estado general del paciente en un turno de 8 horas.
- Mediante un recurso gráfico (centelleo en la pantalla), tratar que se haga una evaluación neurológica del paciente para analizar este resultado junto con la evolución de la presión intracraneal y los antecedentes iniciales, para poder alcanzar otro diagnóstico u otro tratamiento.
- Intercambiar con el módulo inteligente de Level 5 Object R. 3.5 los valores promedios, los valores máximos y mínimos de la presión intracraneal, los datos clínicos del paciente y su evaluación neurológica para una interpretación experta de la base de conocimiento de Level 5 Object R. 3.5, ésta interpretación será intercambiada mediante OLE con Visual Basic para su despliegue en pantalla.

En general, el tratamiento será propuesto según la figura 2-4 del capítulo anterior.

FASE III.- PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA : PROTOTIPO.

ARQUITECTURA DEL SISTEMA EXPERTO.

La arquitectura del SE está caracterizado por el tipo de tarea que cada SE realiza⁸. De acuerdo a algunos estandares⁹, la arquitectura de los SE's consideran la dirección de búsqueda, control y transformación del espacio de búsqueda. La arquitectura de **CRANIUM**, sin embargo, contiene elementos arquitectonicos de sistemas convencionales por estar programado en un lenguaje para tales fines: Visual Basic.

CRANIUM está desarrollado casi en su totalidad en Visual Basic, a excepción del motor de inferencias que es incorporado al SE a través de un objeto incrustado OLE (Object Link Embedding), cuya aplicación nativa es Level 5 Object R.3.5.

Por esta razón, inicialmente se describirán esquemáticamente las partes de **CRANIUM** que no involucran el manejo del objeto incrustado, deteniéndose al final para analizar con más detalle el módulo de monitoreo e interpretación experta de la presión intracraneal que hace uso de él.

MENÚ PRINCIPAL.

Cuando **CRANIUM** es ejecutado, la primera pantalla que aparece es el Menú Principal, ahí pueden identificarse del lado centro-derecho, cuatro botones y sus respectivas etiquetas que corresponden con las funciones más importantes del programa. En el lado izquierdo de la pantalla aparece una pequeña animación en la cual pueden identificarse:

- Un texto rotando con la leyenda **CRANIUM** y que aduce al nombre de SE.
- Un cráneo dentro de un reloj de arena que va desintegrándose a medida que avanza el tiempo, esto simboliza la importancia de un tratamiento rápido del edema cerebral.
- Dos esferas por enfrente de las cavidades oculares y que cambian de color de azul a rojo y esto representa la importancia del reflejo ocular en el tratamiento de los traumatismo cráneo encefálicos.

⁸ Stefik M.J. *The organization of Expert System: A Perspective Tutorial*. Xerox, Palo Alto Research Centers, VI.SI-82-1, Enero 1982.

⁹ Gevarter W.B. *An overview of Expert System*. National Bureau of Standars, NBSIR 82-2505, Mayo 1982.

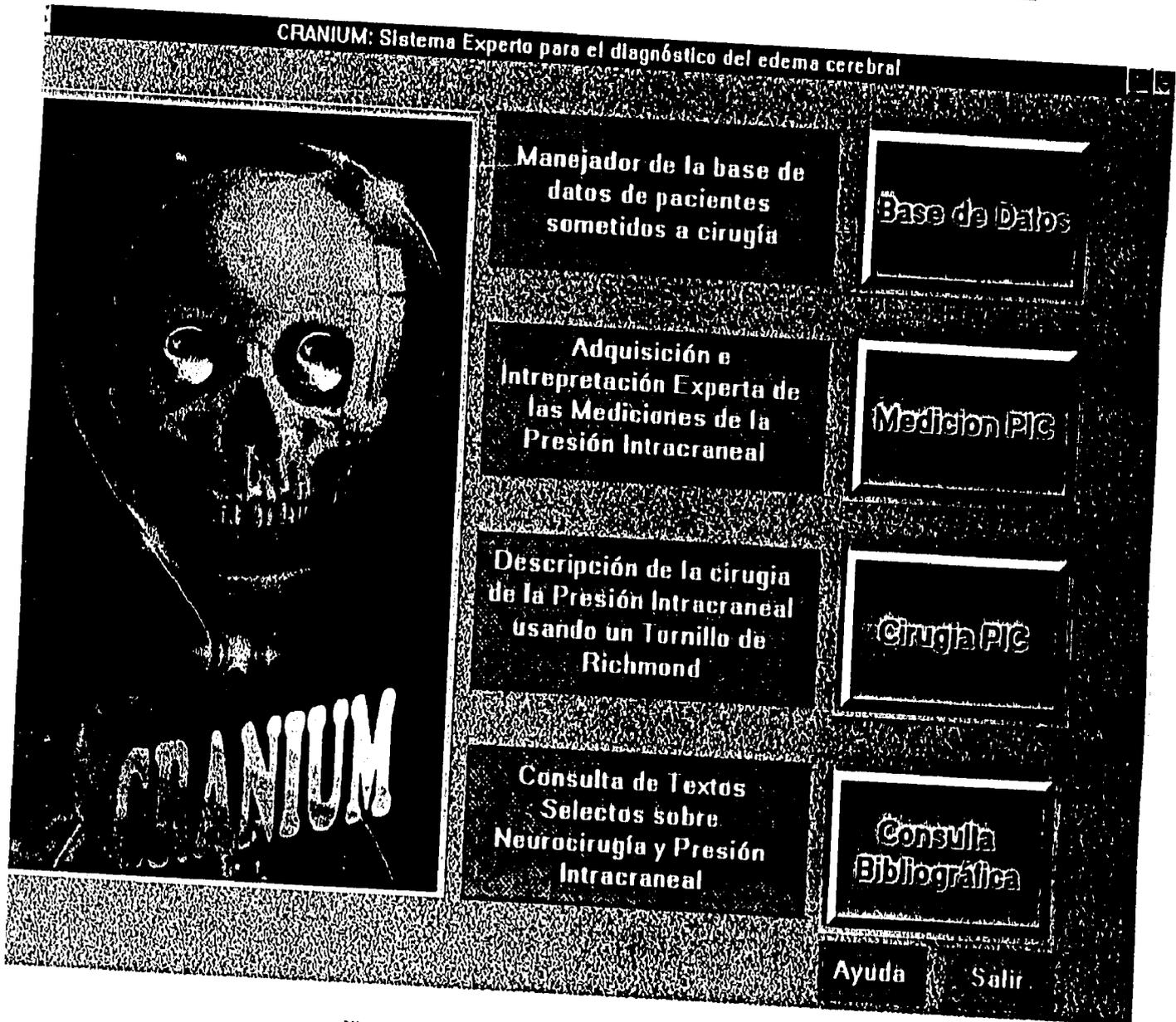


Figura 3-5.- Aspecto del Menú Principal en CRANIUM

BASE DE DATOS.

En este módulo se pueden realizar consultas y realizar el registro final de los pacientes monitoreados. Una esquema de esto puede observarse en la figura 3.6-a.

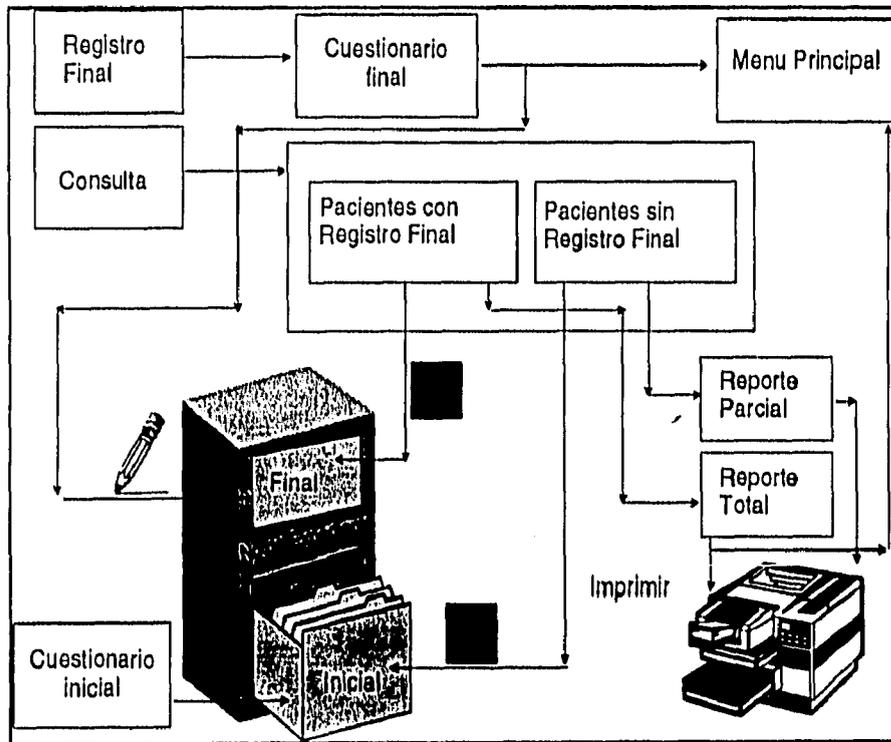


Figura 3-6-n.- Funcionamiento general del módulo de base de datos

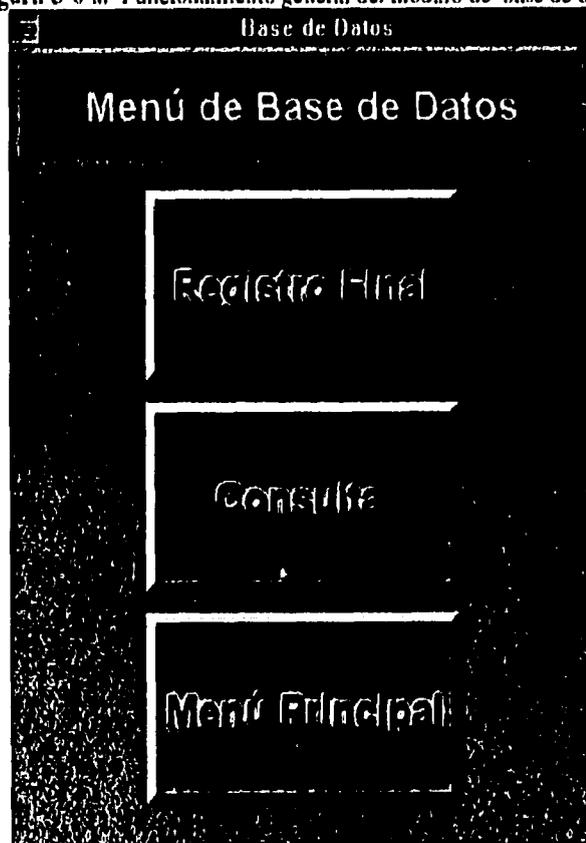


Figura 3-6.- Aspecto del Menú de base de datos en CRANIUM

El menú de base de datos, contiene tres botones, el etiquetado con MENÚ PRINCIPAL, regresa aquí y en todas las partes del programa el control del mismo al menú principal, las otras dos opciones se describen enseguida:

- **Registro Final.** Si se elige esta opción, inmediatamente aparecerá una pantalla en donde se elegirá en una lista al paciente al cual se le complementará su expediente. Hecha la elección del paciente se presentarán dos pantallas para ser llenas por el usuario, una descripción de estas pantallas será hecha posteriormente.

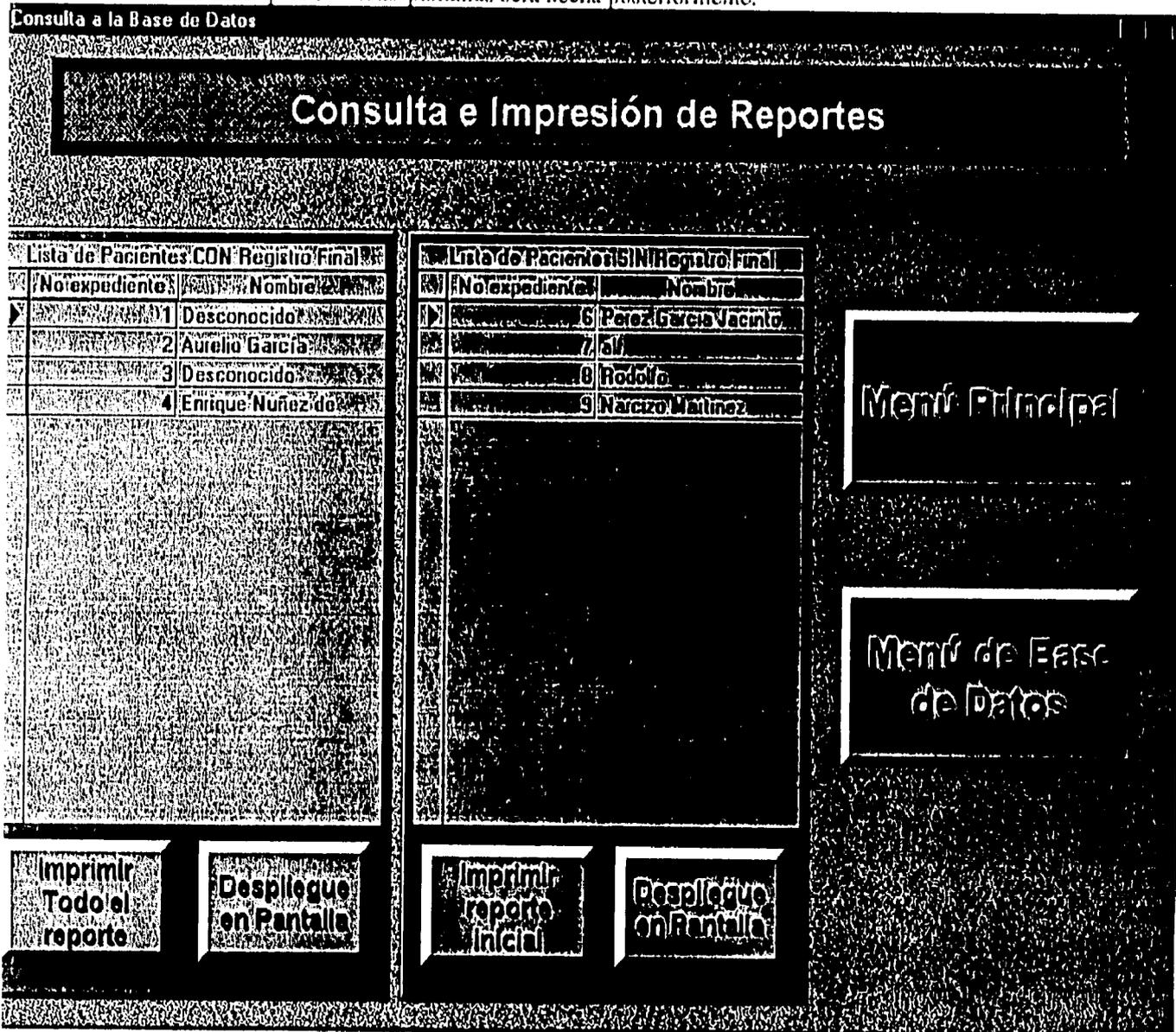


Figura 3-7.- Pantalla de consulta.

- **La consulta.-** Eligiendo ésta opción, se presentará la pantalla de la figura 3-7, en donde pueden definirse dos listas, la del lado izquierdo presenta una lista de pacientes a los cuales ya se les completó su registro, en el lado derecho se encuentra una lista de pacientes que únicamente tienen un registro inicial y carecen de registro final. En ambos casos se presentan un par de botones, uno para el despliegue en pantalla de los datos

disponibles según la elección y el otro para su impresión por la impresora especificada por omisión.

El reporte Total.

La pantalla mostrada en la figura 3-8 es la que aparece si el usuario oprime el botón de DESPLIEGUE EN PANTALLA o hace un *doble click* sobre la lista que corresponde a pacientes CON registro final. Ahí en la parte inferior izquierda se encuentra un botón con la leyenda PIC. Oprimiendo este botón, se tiene acceso a otra pantalla como la que se muestra en la figura 3-10 y que muestra los datos obtenidos directamente del monitoreo de la presión intracraneal. Desde aquí pueden también imprimirse los datos observados en la pantalla.

Reporte Total del Paciente			
Datos Generales			
Paciente No.		Hospital	Hospital de "Xoco"
Nombre	Desconocido	Edad	17
Escolaridad	Se ignora	Peso	70
Estado Civil	Soltero	Ocupación	Empleado
Talla	170		
Datos Clínicos			
Diagnóstico	Edema cerebral severo	Fecha TCE	9/29/95
Hora TCE	12:00:00 PM	Fecha Ingreso al Hospital	9/29/95
Hora Ingreso al Hospital	4:00:00 PM	Glasgow Inicial	3
Glasgow Terapia a Piso	3	Glasgow Terapia	3
Glasgow Final	3	Mecanismo TCE	Caída de su altura
Rayos X		Fx. frontal izquierdo	+ edema
Encefalografía	No se realizó	Cushing	No
Tomografía	Edema cerebral	Tomografía de Control	Edema cerebral
Electroencefalograma	No se realizó	Uso de Cirugía	Aplicación de Tr.
Duración de la cirugía	1:00:	Desplazos de la cirugía	Aplicación de Tr.
Tipos cirurgías	Ninguna	Órganos sistemas lesionados	Sin lesión
Medicamentos y Aditamentos Especiales			
Corticoides	Dexametazona	Anticomiciales	Se ignora
Antibióticos	Amikacina	Ventilador	Presión
Diuréticos	Manitol	Relajantes	Si
Analgésicos	Dipirona	Barbitóricos	Tiopental
Días de estancia	5	Resultado Final	

PIC

Gráfica de la PIC

Imprimir

Consulta

Menú Principal

Figura 3-8.- Despliegue en pantalla del reporte total de la consulta.

El reporte parcial

La pantalla mostrada en la figura 3-9 es la que aparece si el usuario oprime el botón de DESPLIEGUE EN PANTALLA o hace un *doble click* sobre la lista que corresponde a pacientes SIN registro final. Ahí en la parte inferior izquierda se encuentra un botón con la leyenda PIC. Oprimiendo este botón, se tiene acceso a otra pantalla como la que se muestra en la figura 3-10 y que muestra los datos obtenidos directamente del monitoreo de la presión intracraneal. Desde aquí pueden también imprimirse los datos observados en la pantalla.

Reporte Inicial del Paciente

Datos Generales

Expediente No. Hospital

Nombre

Edad Peso Talla

Datos Clínicos

Diagnóstico Fecha TCE Hora TCE

Fecha Ingreso al Hospital Hora Ingreso al Hospital

Glasgow Inicial Cushing

Mecanismo TCE

Angiografía

Rayos X

Tomografía

Tomografía de Control

Electroencefalograma

Tipo de Cirugía

Otros sistemas lesionados

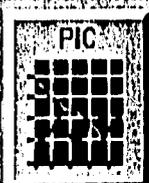


Figura 3-9.- Despliegue en pantalla del reporte parcial de la consulta.

Los Datos de la presión intracraneal

Estos datos son los obtenidos directamente por la computadora y son mostrados durante la consulta. Aun sin contar con un registro final, se pueden consultar estos datos, la

pantalla de la figura 3-10 muestra algunos datos generales además de mostrar gráficamente la evolución de la presión intracraneal del paciente que está siendo consultado.

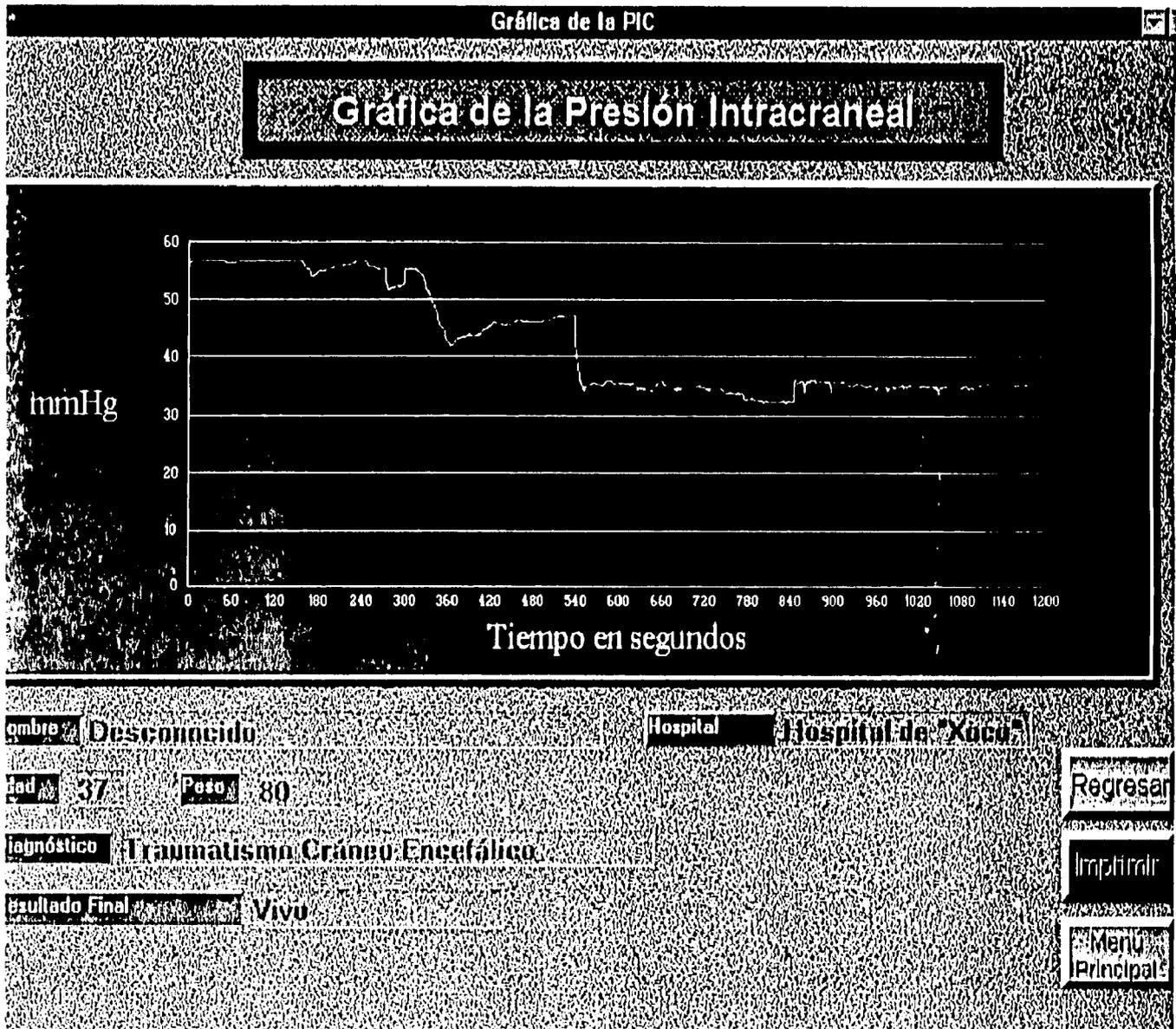


Figura 3-10.- Datos generales del paciente y la evolución de su presión intracraneal.

Los cuestionarios de proyección de datos.

Cada vez que se presiona el botón del menú principal etiquetado con la leyenda de MEDICIÓN PIC, Se cuestionará al usuario, si existe algún antecedente del paciente que está por monitorizarse, si existe, deberá elegirse de entre una lista de pacientes, de otra manera se presentarán dos pantallas que corresponden al registro inicial del paciente. Cuando el usuario elige la opción REGISTRO FINAL dentro del menú de base de datos aparecerán dos pantallas para el complemento del registro inicial una vez que se ha elegido el paciente. En seguida una descripción breve de cada uno de ellos.

CRANIUM: Cuestionario de Proyección de Datos

CUESTIONARIO DE PROYECCION DE DATOS

Datos Generales

No. de Expediente: Hospital:

Nombre:

Edad:

Peso: Kg. Estatura: Cm.

Status Clínico

Diagnóstico:

Fecha del TCE: Hora:

Fecha de ingreso al hospital: Hora:

Evaluación de Glasgow Inicial:

Figura 3-11.- Apariencia del primer cuestionario inicial.

CRANIUM: Cuestionario de Proyección de Datos

CARACTERISTICAS CLINICAS

Status Clínico

Mecanismo del Traumatismo Cráneo Encefálico:

Otros Sistemas Lesionados:

Triada de Cushing:

Rayos X:

Angiografía:

Tomografía:

Electroencefalograma:

Tomografía de Control:

Tipo de Cirugía:

Figura 3-12.- Apariencia del segundo cuestionario inicial.

CRANIUM: Cuestionario de Proyección de Datos.

CUESTIONARIO DE PROYECCION DE DATOS

No. de Expediente: **6** Nombre: **Javier Espinoza Mundoz**

Datos Generales Complementarios

Escolaridad: **Preparatoria** Ocupación: **Labores del Hogar**

Estado Civil: **Soltero**

Glasgow

Glasgow en terapia: **4** Glasgow de terapia: **4**

Glasgow Final: **4**

Cirugía

Duración de la Cirugía: **1** Hrs. **0** Min.

Hallazgos de la Cirugía: **Edema Cerebral Severo**

Otras Cirugías: **Ninguna**

Hallazgos de Cirugía:

- Hematoma I/P derecho
- Hematoma paraventricular parietal
- Hematoma subdural agudo P/D
- Edema cerebral severo
- Gliosis cerebral
- Hematoma subdural agudo F/P/T
- Hematoma paraventricular I/P
- Edema cerebral moderado

Figura 3-13.- Apariencia del primer cuestionario final.

CRANIUM: Cuestionario de Proyección de Datos.

CUESTIONARIO DE PROYECCION DE DATOS

Medicamentos

Esteroides: **Dexametazona**

Antibióticos: **Penicilina**

Diuréticos: **Furosemida y Manitol**

Analgésicos: **Dipirone**

Relajantes: **Clonazepam** **Clonitazepam**

Anticomiciales: **No se administró**

Ventilador: **Cl. Presión** **Cl. Volumen**

Barbitúricos: **No se administró**

Días de Estancia: **16**

Resultado Final: **Vivo** **Muerto**

Figura 3-14.- Apariencia del segundo cuestionario final.

LA DESCRIPCIÓN DE LA CIRUGÍA

Este módulo del programa se alcanza a través del botón respectivo en el menú principal, en la pantalla resultante (figura 3-16) aparece una descripción interactiva con el usuario de la cirugía empleada para colocar un tornillo de Richmond en un paciente al cual va a medírsele la presión intracraneal. La pantalla está distribuida en tres partes, la primera y principal está situada del lado centro izquierdo en donde aparecen una serie de fotografías con efectos especiales; la segunda parte está situada del lado derecho y corresponde a texto que describe en términos expertos lo que la fotografía está mostrando; la tercera parte ubicada del lado inferior izquierdo, corresponde a los botones que controlan la secuencia de las fotografías y el regreso del control del programa al menú principal.

A continuación se muestra una figura del flujo de este módulo.

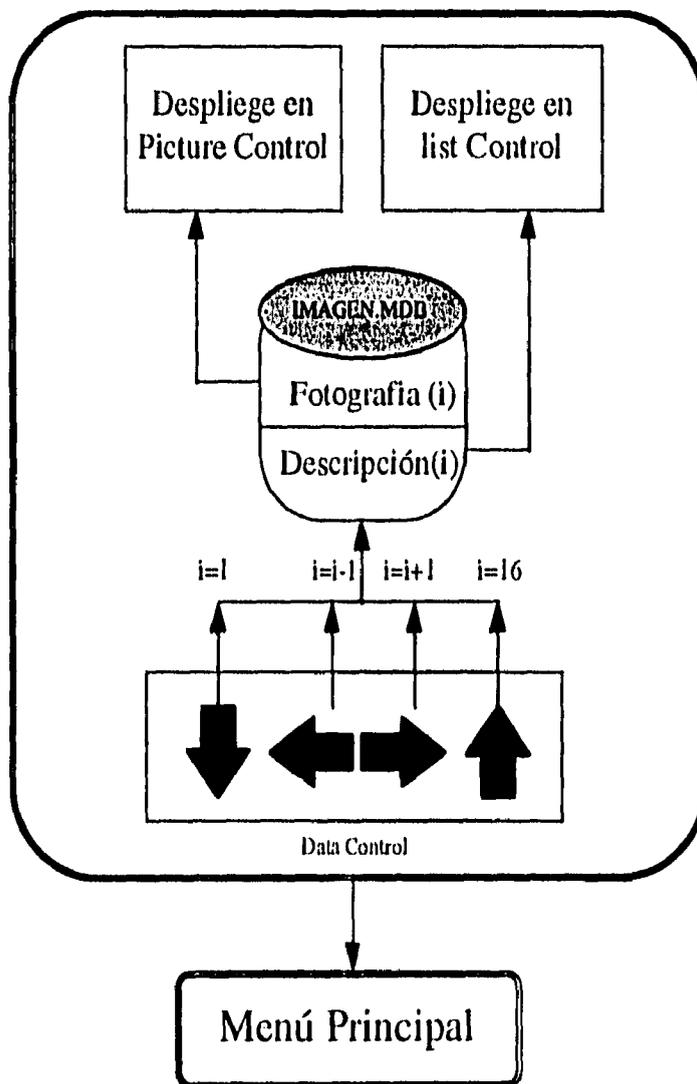


Figura 3-15. Flujo de la descripción de la cirugía.

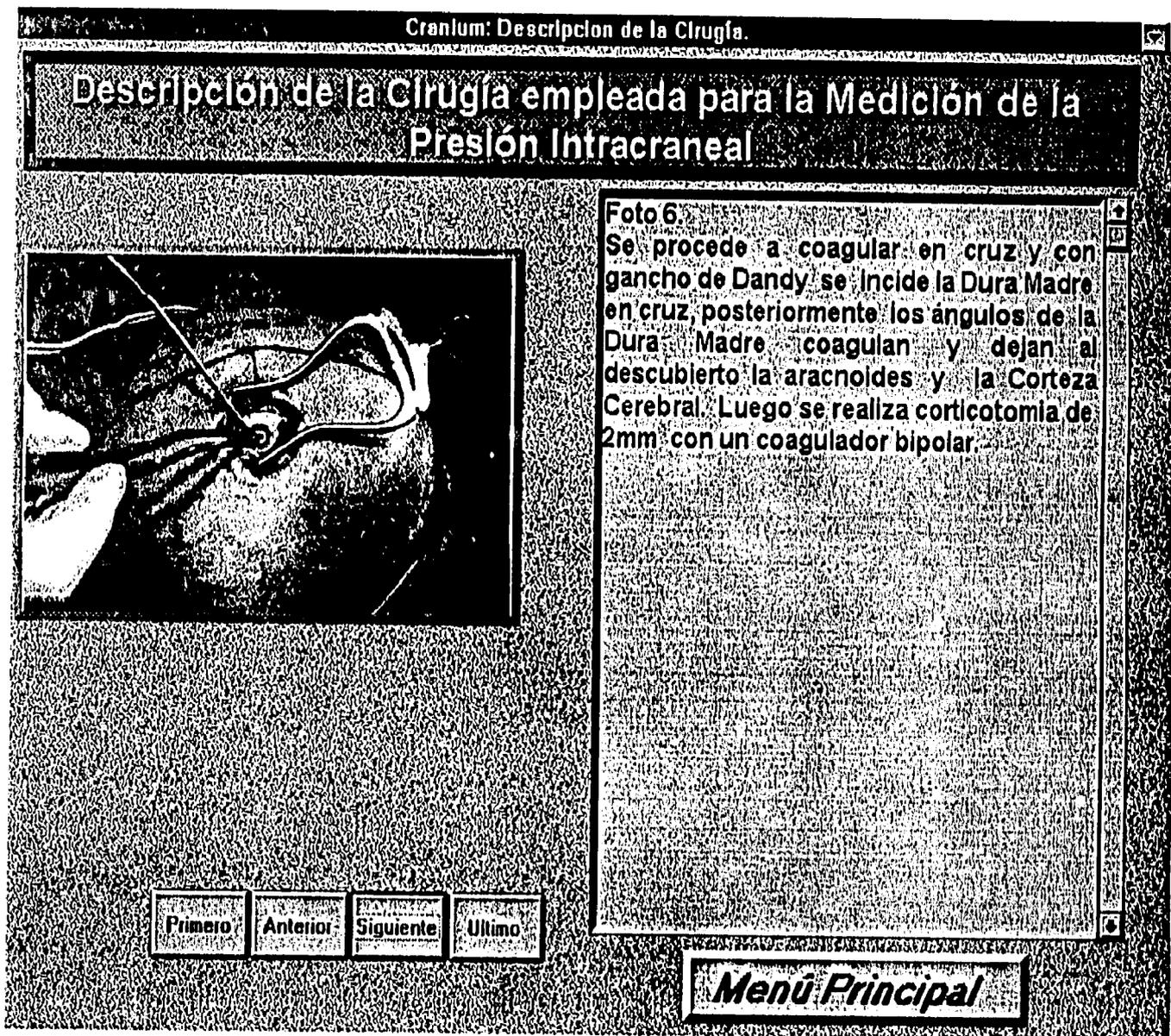


Figura 3-16.- Apariencia de la descripción de la cirugía para colocar el tomillo de Richmond y poder registrar la presión intracraneal.

LA CONSULTA BIBLIOGRÁFICA

Esta parte del programa se hace visible cuando el usuario oprime el botón etiquetado en el menú principal con CONSULTA BIBLIOGRÁFICA, en ella puede identificarse una lista que contiene dos encabezados: AUTOR y ARTICULO.

La lista contiene artículos seleccionados sobre tópicos de edema cerebral, traumatismo craneo encefálico y Presión Intracraneal. Todos los textos serán visibles cuando estando seleccionado sobre la lista se presione el botón etiquetado con despliegue en pantalla o se haga un *doble click* sobre la lista. Si el usuario se interesa por el contenido de los textos podrá imprimirlos. En la figura 3.17-a se muestra el esquema del funcionamiento del módulo de la consulta bibliográfica.

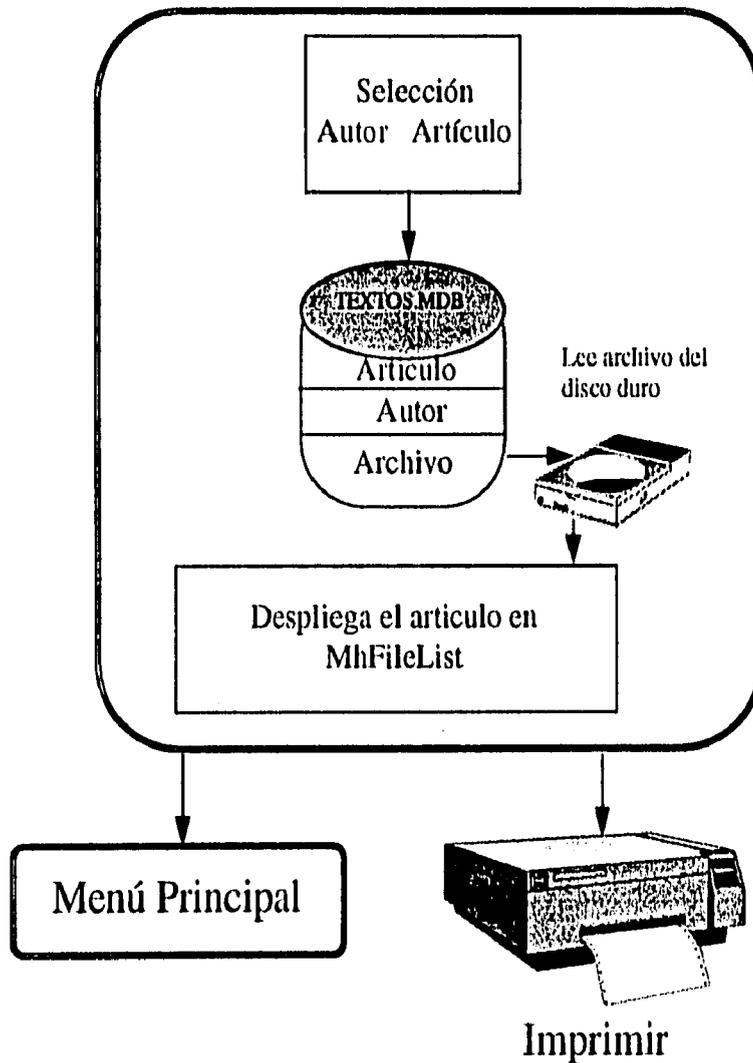


Figura 3.17-a. Esquema del funcionamiento de la Consulta Bibliográfica.

MODULO DEL MONITOREO E INTERPRETACION EXPERTA DE LA PRESIÓN INTRACRANEAL.

Esta parte es la más importante del sistema, es aquí donde se integran por un lado, el monitoreo de la presión intracraneal del paciente y por otro la interpretación experta de la presión intracraneal.

Es aquí donde detallaremos los dos procesos mencionados anteriores, aunque los dos procesos están interrelacionados, para mayor claridad en la exposición se hará el tratamiento de cada uno de ellos por separado, enfatizando en su oportunidad cuando los dos procesos coincidan.

El monitoreo.

El proceso de monitoreo es complejo, por un lado requiere reservar grandes cantidades de memoria y por otro requiere que la comunicación del hardware con el software se lleve a cabo sin distorsiones en la señal.

El proceso de monitoreo en CRANIUM, utiliza un control para Visual Basic llamado General DAQ event, el cual primordialmente administra los procesos de direccionamiento de memoria y de *lanzar(triggering)* los procesos de adquisición de datos desde el dispositivo y los canales en uso.

La técnica de adquisición en CRANIUM es de doble buffer, cuya operación es como sigue: El buffer de datos es configurado como un buffer circular. Para operaciones de entrada, el tren de datos adquiridos llenan el buffer circular. Cuando se alcanza el fin del buffer, el tren regresa al principio de buffer y lo vuelve a llenar.

Esta técnica tiene gran confiabilidad para los datos adquiridos y al utilizar un buffer logico circular, permite utilizar cantidades fijas de memoria y no requiere cantidades infinitas de memoria como lo hacen las técnicas de buffer simple.

Por lo tanto, antes de que la adquisición de datos y en consecuencia, deben de asegurarse ciertos recursos para poder llevar a cabo la adquisición de doble buffer. En la pantalla en donde se realiza el monitoreo, éste se lleva a cabo cuando se presiona el botón



, el cual comienza el proceso de monitoreo y la adquisición de datos desde el sensor de PIC conectado directamente al paciente. A continuación se muestra el código en Visual Basic asociado a él.

```

Sub Comienza_monitoreo_click ()
Device = 1
  ch = 0
  Gain = 1
  SampRate = 5000
  nsamples = 2500
contador = 0
  cuenta_segundos = 0
  Cuenta_Minutos = 0
'Reserva Memoria para DAQPAD
  ReDim TmpBuf(nsamples / 2)
  ReDim IntBuf(nsamples / 2)
Comienza_Monitoreo.Enabled = 0
' Habilita la adquisicion de datos de Doble Buffer
errcode% = DAQ_DB_Config(Device, 1)
  If errcode% <> 0 Then
    Msg$ = "Ha ocurrido un error de configuración : " +
Str$(errcode%)
    MsgBox Msg$, MB_ICONEXCLAMATION, "Error en la configuración del
módulo adquisición de datos"
    Comienza_Monitoreo.Enabled = -1
    Pausa_Monitoreo.Enabled = 0
    Boton_Main.Enabled = -1
    GoTo EndSub
  End If
'Reserva memoria.
errcode% = NI_DAQ_Mem_Alloc(BinBuffer, 2, nsamples, 0, 0)
  If errcode% <> 0 Then

```

```

    Msg$ = "Ha ocurrido un error de gestión de memoria : " +
    Str$(errcode%)
    MsgBox Msg$, MB_ICONEXCLAMATION, "Error en la configuración de
    memoria para la adquisición de 'datos"
    Comienza_Monitoreo.Enabled = -1
    Pausa_Monitoreo.Enabled = 0
    Boton_Main.Enabled = -1
    GoTo EndSub
End If
'Fija memoria
errcode% = NI_DAQ_Mem_Lock(BinBuffer, binAddress)
If errcode% <> 0 Then
    Msg$ = "Ha ocurrido un error de fijación de memoria : " +
    Str$(errcode%)
    MsgBox Msg$, MB_ICONEXCLAMATION, "Error en la configuración de
    memoria para la adquisición de datos"
End
End If
'Configura adquisición
'GeneralDAQEvent1 es el control del dispositivo 1.
GeneralDAQEvent1.Board = Device
GeneralDAQEvent1.Enabled = 1           ' Activa DAQEvent
GeneralDAQEvent1.DAQEvent = 1         ' Lanza cada N busquedas
GeneralDAQEvent1.DAQTrigVal0 = nsamples' donde N = nsamples/2
GeneralDAQEvent1.ChanStr = "AI" + LTrim$(Str$(ch))
GeneralDAQEvent1.Refresh               ' Actualiza propiedades
' Dada una razon en puntos/segundo, calcula el tiempo-base e intervalo
de muestra correspondiente
errcode% = DAQ_Rate(SampRate, 0, timebase%, sampInterval%)
If errcode% <> 0 Then
    Msg$ = "Error en la tasa de muestreo " + Str$(errcode%)
    MsgBox Msg$, MB_ICONEXCLAMATION, "Error de operación "
    Pausa_Monitoreo_Click
    GoTo EndSub
End If
'Comienza adquisición
errcode% = DAQ_Start(Device, ch, Gain, ByVal binAddress, nsamples,
timebase%, sampInterval%)
If errcode% <> 0 Then
    Msg$ = "Error: El módulo de adquisición de datos, no ha podido
    iniciar : " + Str$(errcode%)
    MsgBox Msg$, MB_ICONEXCLAMATION, "Error de operación "
    Pausa_Monitoreo_Click
End If
'segundero.Enabled Habilita el proceso global de tiempo.
segundero.Enabled = True
Relej_monitoreo_Click
'Habilita Pausa y hace visile todos los botones
Pausa_Monitoreo.Enabled = True
Pausa_Monitoreo.FontShadowColor = azul
Cambia_grafica.Visible = True
Boton_calibrar.Visible = True
Boton_Estadisticas.Visible = True
Boton_impresion.Visible = True
Boton_Level5.Visible = True
Inicia_Tratamiento.Visible = True
Inicia_Tratamiento_2.Visible = True
EndSub:
End Sub.

```

Si este proceso se completó con éxito, los siguientes tienen lugar. Los lugares en **negritas** son puntos de inicio y término de los procedimientos. También indican en otros lugares,



acciones importantes a considerar. El icono **Level 5** indica los lugares en donde hay interacción con la base de conocimientos de Level 5 Object.

```

Sub GeneralDAQEvent1_Fire (DoneFlag As Integer, Scans As Long)
' * Esta función es ejecutada cuando el evento configurado every N scans
' * ocurre. Este llama a la función DAQ_Check y entonces la rutina de
' * graficación picPlot es ejecutada y los valores adquiridos son
adecuadamente
' * escalados y graficados. Si ocurre algún error, el procedimiento y la
adquisición termina.

errcode% = DAQ_Check(Device, daqStopped%, retrieved%)
  If errcode% <> 0 Then
    If errcode% = -74 Then
      'ignora el último mensaje recibido después de que la adquisición ha sido
terminada.
      Exit Sub
    Else
      Msg$ = "Error de comprobación del Daq-Pad 1200 " +
Str$(errcode%)
      MsgBox Msg$, MB_ICONEXCLAMATION, "Error en la configuración
del módulo de adquisición de datos"
    End If
  End If
errcode% = DAQ_Monitor(Device, ch, 1, nsamples / 2, IntBuf(0),
newestPtIndex%, daqStopped%)
  If errcode% <> 0 Then
    Select Case errcode%
      Case 12
        Pausa_Monitoreo_Click
        Msg$ = "Advertencia de Transferencia de datos" +
Str$(errcode%) + Chr$(13) + Chr$(10)
        Msg$ = Msg$ + "Datos Perdidos! Los datos fueron
sobreescritos, antes de ser copiados desde el buffer!)"
        MsgBox Msg$, MB_ICONEXCLAMATION, "Error de operación"
      Case -97
        Pausa_Monitoreo_Click
        Comienza_monitoreo_Click
        Msg$ = "Error de transferencia de datos desde el sensor"
+ Str$(errcode%) + Chr$(13) + Chr$(10)
        Msg$ = Msg$ + "Datos Corruptos! Los datos fueron
sobreescritos cuando fueron copiados desde el buffer!)"
        MsgBox Msg$, MB_ICONEXCLAMATION, "Error de operación"
      Case Else
        Pausa_Monitoreo_Click
        Msg$ = "Error de transferencia de datos desde el sensor"
+ Str$(errcode%)
        MsgBox Msg$, MB_ICONEXCLAMATION, "Error de operación"
    End Select
  Else
    errcode% = DAQ_Vscale(Device, ch, Gain, 1#, 0#, nsamples / 2,
IntBuf(0), TmpBuf(0))
  
```

```

    If errcode% <> 0 Then
        Pausa_Monitoreo_Click
        Msg$ = "error DAQ_Vscale " + Str$(errcode%)
        MsgBox Msg$, MB_ICONEXCLAMATION, "Error de operación"
    End If
    plotBuf picPlot, nSamples / 2, tmpBuf(), 1.565
    ' Plotea en una escala de 1.565 volts
End If
End Sub

Sub PlotBuf (PIC As Control, NPts As Long, buf() As Double, YRange As
Single)
' Este procedimiento toma un control, en este caso un picture control y
plotea
' nPts desde buf(). La escala x esta calculada para plotear todos los
nPts
' a través de todo lo ancho del control. La escala y es calculada por
el
' parametro yRange, el cual es el numero de unidades (en este caso
volts) que
' la escala y debe desplegar.

    Dim Suma As Single
    Dim Promedio_Por_Segundo As Single
    Promedio_Por_Segundo = 0
    Suma = 0
    i& = 0
    X& = 0
    If cambia = 0 Then
        XScale# = NPts / PIC.ScaleWidth
        YScale# = Abs(PIC.ScaleHeight) / YRange
        PIC.PSet (X&, ((buf(0) - volt_min) * YScale#)) 'grafica el primer
punto
        While i& < NPts
            ' grafica cada punto recolectado
            Suma = Suma + buf(i&)
            PIC.Line -(X&, (buf(i&) - volt_min) * YScale#), RGB(255, 0, 0)
            If XScale# > 1# Then 'Más muestras que puntos
sobre el eje X
                X& = X& + 1 'por lo tanto se grafica el
proximo punto sobre el eje X
                i& = X& * XScale# 'pero se saltan xscale
muestras;
            Else 'Más puntos que muestras sobre
el eje X
                i& = i& + 1 'por lo tanto se grafica la
proxima muestra
                X& = i& * 1# / XScale# 'pero salta xscale puntos
sobre el eje X.
            End If
        Wend
        Promedio_Por_Segundo = Suma / NPts
        puntobuf(contador) = Promedio_Por_Segundo
        Label1.Caption = Promedio_Por_Segundo
        presion = ((60 * (puntobuf(contador) - volt_min) / (Volt_Max -
volt_min)))
        If presion < 0 Then presion = 0
        If contador = 60 Then
            llego_60 = 1
        End If
    End Sub

```

```

Else
  If llego_60 = 0 Then
    Grafica_segundo.NumPoints = cuenta_segundos + 2
    Grafica_segundo.GraphData = presion
    Grafica_segundo.DrawMode = 3
  End If
End If
Grafica_Global.NumPoints = num_grafica
Grafica_Global.GraphData = presion
Grafica_Global.DrawMode = 3
Indica_Presion.Caption = Format$(presion, "0.00")
segundos(contador Mod 60) = presion
contador = contador + 1
Else
  For i& = 1 To NPts
    Suma = Suma + buf(i&)          ' grafica cada punto
recolectado
  Next i&
  Promedio_Por_Segundo = Suma / NPts
  puntobuf(contador) = Promedio_Por_Segundo
  Label1.Caption = Promedio_Por_Segundo
' Linealiza el instrumento, conversión Voltaje a presión
  presion=((60*(puntobuf(contador)-volt_min)/(Volt_Max-volt_min)))
  If presion < 0 Then presion = 0
If contador = 60 Then
  llego_60 = 1
Else
  If llego_60 = 0 Then
    Grafica_segundo.NumPoints = cuenta_segundos + 2
    Grafica_segundo.GraphData = presion
    Grafica_segundo.DrawMode = 3
  End If
End If
Grafica_Global.NumPoints = num_grafica
Grafica_Global.GraphData = presion
Grafica_Global.DrawMode = 3
Indica_Presion.Caption = Format$(presion, "0.00")
segundos(contador Mod 60) = presion
contador = contador + 1
End If

End Sub

Sub Segundero_Timer ()
pic_todos(num) = presion
cuenta_segundos = cuenta_segundos + 1
If cuenta_segundos < 60 Then
segundos(cuenta_segundos) = Abs(presion)
If llego_60 = 1 Then
For j = 1 To Grafica_segundo.NumPoints - 1
  segundos2(j) = segundos(j + 1)
  Grafica_segundo.GraphData = segundos2(j)
Next j
segundos2(59) = presion
Grafica_segundo.DrawMode = 3
End If
Else
cuenta_segundos = 0
Suma = 0

```

```

For i& = 0 To 59
    Suma = Suma + segundos(i&)
Next i&
mediasegundos! = Suma / 60
minutos(Cuenta_Minutos) = mediasegundos!
Grafica_Hora.GraphData = mediasegundos!
Grafica_Hora.DrawMode = 2

```



'Cada 60 Segundos, Se intercambia (L5RO.Put) con Level 5 Object el valor 'de la presión intracraneal y L5 alcanza una conclusión (L5RO.Pursue)

```

L5RO.Put"Presion Endocraneal", "Presion Intracraneal",
Int(mediasegundos!)

```

```

Diag_EPG = L5RO.Pursue("domain", "Conclusion EPG")

```

```

Recomendacion.Text = Diag_EPG

```

```

Cuenta_Minutos = Cuenta_Minutos + 1

```

' Cada 60 segundos se escriben los datos del buffer a un archivo de texto de salida.

```

Open archivo For Append As 1 'Abre archivo
de Salida.

```

```

For i& = 0 To 59
    Write #1, segundos(i&)

```

```

Next i&

```

```

Close #1

```

```

End If

```

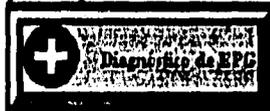
```

End Sub

```

La interpretación experta de la presión intracraneal.

Existen en CRANIUM 2 tipos de conclusiones que pueden ser alcanzadas, una de ellas corresponde con el valor de la Escala Pronóstica de Glasgow y la otra con el tratamiento según los niveles y tiempos de ciertos niveles de PIC. La primera es alcanzada cuando se



presiona el botón, cuyo código asociado es el que sigue:

```

Sub Boton_EPG_Click ()

```

```

Recomendacion.Text = "Level 5 Está buscando una conclusión inicial"

```

```

Recomendacion.Refresh

```

```

Cerebro_PIC.MousePointer = 11

```



' Creación y ejecución de un Objeto incrustado en Visual Basic desde Level 5 Object. Notese que el KNB se llama cerebro.

```

If Ya_estoy_corriendo = 0 Then

```

```

    AppName = "c:\cranium\cerebro.knb"

```

```

    Debug.Print "Ruta KNB : " + AppName

```

```

    Set L5RO = CreateObject("L5RO.3.5")

```

```

    L5RO.Run AppName

```

```

End If

```

```

If L5RO.Status <> 0 Then

```

```

    Debug.Print "Run error:" & L5RO.Status & " " & L5RO.statusMessage

```

```
Exit Sub
End If
Debug.Print "Corriendo Aplicación:" & L5RO.Application
```



```
'VB pone atributos de la clase Paciente en Level 5 Object.
L5RO.Put "Presion Endocraneal", "Presion Intracraneal", -1
L5RO.Put "Paciente", "Edad en numero", Guarda_Edad
L5RO.Put "Paciente", "Sexo", Guarda_Sexo
L5RO.Put "Paciente", "Peso en numero", Guarda_Peso
L5RO.Put "Paciente", "Talla en numero", Guarda_Talla
L5RO.Put "Paciente", "Policontundido", Guarda_Poli
L5RO.Put "Paciente", "Edema Cerebral", Guarda_diagnostico
L5RO.Put "Paciente", "Glasgow en numero", Guarda_Glasgow_inicial
' Se persigue una conclusión en la base de conocimientos
Diag_EPG = L5RO.Pursue("domain", "Conclusion EPG")
Recomendacion.Text = Diag_EPG
Cerebro_PIC.MousePointer = 0
End Sub
```

CRANIUM

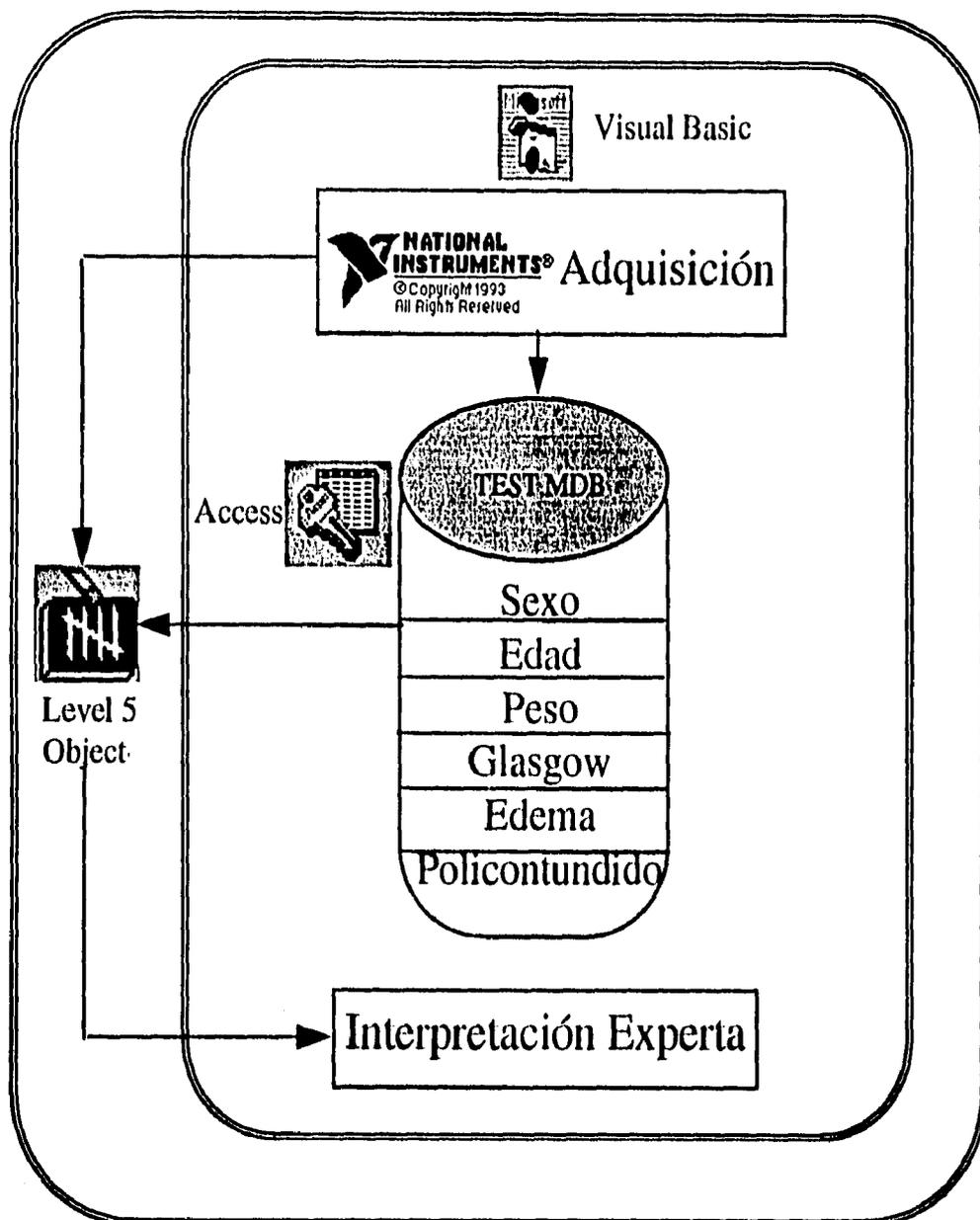


Figura 3.18. Entidades de Software interactuantes en CRANIUM

La otra conclusión que alcanza tiene que ver con el tratamiento a seguir según los niveles de PIC. El tratamiento finaliza cuando de acuerdo a ciertos niveles de PIC en determinado tiempo, el paciente requiere las condiciones para ser egresado de la unidad de cuidados intensivos, o cuando es conveniente realizar los procedimientos de Ley para determinar muerte cerebral del paciente y sus órganos útiles puedan ser donados, previo consentimiento de los familiares. El procedimiento se inicia cuando el botón



es oprimido. El tratamiento es dirigido según el esquema 2-4. El código asociado a este botón y a los procedimientos interrelacionados y recursivos que desencadenan eventos en el dominio del tiempo es el siguiente:

```

Sub Inicia_Tratamiento_Click ()
cero_trata = num + 1
Tiempo_Tratamiento = 0
suma_promedio = 0
Timer_Tratamiento.Enabled = True
End Sub

Sub Timer_Tratamiento_Timer ()
Dim i_tratamiento As Integer
Tiempo_Tratamiento = Tiempo_Tratamiento + 1
Label_trata = Str(Tiempo_Tratamiento)
If Tiempo_Tratamiento = 5 Then
Timer_Tratamiento.Enabled = False
For i_tratamiento = 1 To 300
    suma_promedio = suma_promedio + pic_todos(cero_trata -
i_tratamiento)
Next i_tratamiento
promedio_presion = suma_promedio / 300
If promedio_presion <= 20 Then
    cero_standby = num
    Timer_Standby.Enabled = True
Else
    cero_mayor_20 = num
    Timer_Mayor_20.Enabled = True
End If
End If
End Sub

Sub Timer_Mayor_20_Timer ()
Dim i_mayor_20 As Integer
Dim guarda_peso2 As Variant
guarda_peso2 = Guarda_Peso
Tiempo_Mayor_20 = Tiempo_Mayor_20 + 1
If Tiempo_Mayor_20 = 1 Then
'tratamiento = drenaje ventricular
Recomendacion.Text = "En pacientes con un catéter intraventricular, el
drenaje del líquido cefalorraquídeo es un método rápido y efectivo de
disminuir la PIC. Por lo tanto en esta etapa del tratamiento se
recomienda realizar drenaje ventricular de 5-10 cm de H2O. los
periodos de drenaje podrían estar también limitados de 1 ó 2 minutos
por vez. En caso de ausencia de drenaje de un catéter abierto, éste
deberá ser recolocado o en su caso vigilar que no se encuentre
obstruido por pequeños coágulos de sangre."
End If
'monitorear 15 min
If Tiempo_Mayor_20 = 15 Then
    For i_mayor_20 = 1 To 900
        suma_promedio = suma_promedio + pic_todos(num - i_mayor_20)
    Next i_mayor_20
    promedio_presion = suma_promedio /900
If promedio_presion <= 20 Then
    Timer_Mayor_20.Enabled = False

```

```

Tiempo_Mayor_20 = 0
cero_standby = num
tiempo_standby = 0
Timer_Standby.Enabled = True
Exit Sub
Else
Recomendacion.Text = "Los agentes osmóticos tienen un papel importante
en el tratamiento de la hipertensión intracraneal. Ellos parecen tener
más de un mecanismo de acción. Existe evidencia de que su efecto toma
lugar tanto en cerebros normales como en cerebros traumatizados.
Actualmente el agente osmótico por excelencia es el Manitol. A causa
de que ha sido demostrado que dosis de 0.25 g/kg de peso son
igualmente efectivos en reducir la PIC que dosis mayores, es
recomendable administrar ésta dosis. Por lo tanto, se recomienda
administrar a este paciente " + Str(guarda_peso2 * .25) + "g de
MANITOL durante 30 min. por inyección de bolos."
End If
End If
If Tiempo_Mayor_20 = 45 Then
suma_promedio = 0
For i_mayor_20 = 1 To 1800
suma_promedio = suma_promedio + pic_todos(num - i_mayor_20)
Next i_mayor_20
promedio_presion = suma_promedio /1800
If promedio_presion <= 20 Then
Timer_Mayor_20.Enabled = False
Tiempo_Mayor_20 = 0
cero_standby = num
tiempo_standby = 0
Timer_Standby.Enabled = True
Exit Sub
Else
Recomendacion.Text = "Las anteriores dosis de Manitol no han sido
efectivas para reducir los niveles de PIC. Aunque Furosemide es
frecuentemente administrado, parece ser menos efectivo que el Manitol
en reducir la PIC. Existe sin embargo evidencia de que reduce los
niveles de PIC de una manera sinérgica cuando es administrado con
Manitol. Por lo tanto se recomienda repetir la dosis de MANITOL (" +
Str(guarda_peso2 * .25) + "g) junto con una ampollita de Furosemide
durante 30 min. por inyección de bolos. Sin embargo, hay que hacer
notar que administraciones frecuentes de Manitol podrían producir
estados de hiperosmolaridad en el paciente, que harían la terapia de
Manitol ineficiente; éste estado de hiperosmolaridad ha sido asociado
con falla renal aguda. Además el Furosemide acelera el efecto
deshidratante del Manitol, haciendo el mantenimiento de la eovolemia
más difícil. También induce al desgaste de potasio. En consecuencia
es necesaria"
Recomendacion.Text = Recomendacion.Text + " la frecuente y estricta
vigilancia de los niveles de osmolaridad en el paciente, la cual no
deberá rebasar los 320 m Osm/Kg de peso."
End If
End If
If Tiempo_Mayor_20 = 75 Then
suma_promedio = 0
For i_mayor_20 = 1 To 1800
suma_promedio = suma_promedio + pic_todos(num - i_mayor_20)
Next i_mayor_20

```

```

promedio_presion = suma_promedio / 1800
If promedio_presion <= 20 Then
  Timer_Mayor_20.Enabled = False
  Tiempo_Mayor_20 = 0
  cero_standby = num
  tiempo_standby = 0
  Timer_Standby.Enabled = True
  Exit Sub
Else
  Recomendacion.Text = "La terapia con Manitol y Furosemide no ha sido
suficiente para disminuir los niveles de la PIC. A pesar de que la
acción de los Barbitúricos es controversial, se recomienda su uso
cuando la terapia convencional con Manitol ha fallado en controlar
los niveles de PIC. Los pacientes a quienes se les administra
Barbitúricos deberán estar normotensos, tener un nivel adecuado
intravascular y una salida cardiaca. Debe insertarse un catéter
arterial pulmonar y los parámetros cardiodinámicos deben corregirse.
El establecimiento de coma barbitúrico debe ser manejado única y
exclusivamente por un neurocirujano. "
  Recomendacion.Text = Recomendacion.Text + "En caso de que el
neurocirujano así lo establezca, la dosis de pentobarbital para éste
paciente es de " + Str(10 * guarda_peso2) + " mg. en 30 minutos,
seguidas de " + Str(5 * guarda_peso2) + " mg. por hora para las
próximas 3 horas. Después la dosis se mantiene por " + Str(1 *
guarda_peso2) + "a" + Str(2 * guarda_peso2) + " durante las proximas
24 hrs. y hasta donde el neurocirujano lo considere pertinente. La
depresión cardiaca es tratada con dobutamina y la dopamina es usada
para tratar la hipotensión consecuente en caso de que no halla
dopamina se ha encontrado útil usar levarterenol que generalmente es
bien tolerado en pacientes juvenes."
End If
End If
If Tiempo_Mayor_20 = 255 Then
suma_promedio = 0
For i_mayor_20 = 1 To 3600
  suma_promedio = suma_promedio + pic_todos(num - i_mayor_20)
Next i_mayor_20
promedio_presion = suma_promedio / 3600
If promedio_presion <= 20 Then
  Timer_Mayor_20.Enabled = False
  Tiempo_Mayor_20 = 0
  cero_standby = num
  tiempo_standby = 0
  Timer_Standby.Enabled = True
  Exit Sub
Else
  Recomendacion.Text = "Considerar determinación de muerte cerebral"
End If
End If
If Tiempo_Mayor_20 > 255 Then
suma_promedio = 0
For i_mayor_20 = 1 To 3600
  suma_promedio = suma_promedio + pic_todos(num - i_mayor_20)
Next i_mayor_20
promedio_presion = suma_promedio / 3600
If promedio_presion <= 20 Then
  Tiempo_Mayor_20 = 0

```

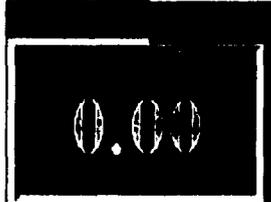
```

disminuir la PIC se considera pertinente que el Monitoreo deje de
realizarse quedando a consideracion del neurocirujano el egreso del
paciente de la unidad."
End If
End If
If Tiempo_Menor_20 > 45 Then
suma_promedio = 0
For i_menor_20 = 1 To 900
    suma_promedio = suma_promedio + pic_todos(num - i_menor_20)
Next i_menor_20
promedio_presion = suma_promedio / 900
If promedio_presion > 20 Then
    Timer_Menor_20.Enabled = False
    Tiempo_Menor_20 = 0
    tiempo_standby = 0
    Timer_Mayor_20.Enabled = True
    Tiempo_Mayor_20 = 0
    Exit Sub
Else
    Recomendacion.Text = "Considerando que el paciente ha evolucionado
satisfactoriamente a las medidas terapéuticas aplicadas con el fin de
disminuir la PIC se considera pertinente que el Monitoreo deje de
realizarse quedando a consideracion del neurocirujano el egreso del
paciente de la unidad."
End If
End If
End Sub
Sub Timer_Standby_Timer ()
suma_promedio = 0
tiempo_standby = tiempo_standby + 1
Label_standby.Caption = Str(tiempo_standby)
Stand_enabled = Str(Timer_Standby.Enabled)
Recomendacion.Text="El paciente se encuentra con una presión
intracraneal considerada normal. Se considerará candidato para poder ser
egresado en cuanto no haya ascensos de su PIC y continúe así por espacio
de 8 horas. Por lo pronto el paciente tiene " + Str(tiempo_standby) + "
minutos."
For i_standby = 1 To 900
    suma_promedio = suma_promedio + pic_todos(num - i_standby)
Next i_standby
promedio_presion = suma_promedio / 900
If promedio_presion <= 20 Then
    stand_by
Else
    Timer_Standby.Enabled = False
    tiempo_standby = 0
    cero_mayor_20 = num
    Timer_Mayor_20.Enabled = True
End If
End Sub
Sub stand_by ()
If tiempo_standby = 480 Then '8 horas con PIC normal
    Timer_Standby.Enabled = False
    cero_menor_20 = num
    Timer_Menor_20.Enabled = True
End If
End Sub

```

El funcionamiento general de la pantalla de monitoreo es como sigue:

- Del lado superior izquierdo puede apreciarse un rectángulo en el cual se mostrará la gráfica general del monitoreo de la presión intracraneal, es decir, aquí podrán observarse todos los valores de la presión intracraneal del paciente durante todo el tiempo que esté monitorizado. Vease gráfica 3.18.
- Inmediatamente abajo, aparece otro rectángulo de dimensiones idénticas al anterior. Ese espacio tiene características variables ya que mostrará el tipo de gráfica de entre las opciones representadas con botones que se mostrarán del lado derecho de ésta misma gráfica, es decir, el aspecto y la velocidad de despliegue de los puntos en esta gráfica depende de la opción habilitada en la parte derecha de la pantalla. Estas opciones serán descritas más adelante. Vease gráfica 3.18.
- Por debajo de estas dos gráficas se encuentran los datos generales y el diagnóstico del paciente que está siendo monitorizado. En esta misma parte se encuentra el resultado de la búsqueda de conclusiones por parte del motor de inferencias de Level 5 Object. Esta parte del programa variará conforme a los datos clínicos del paciente, así como a los valores de su presión intracraneal. La evaluación de Level 5 Object se hace aproximadamente cada 60 segundos. Vease gráfica 3.18.
- Sobre el lado superior derecho se observa un cuadro (vease figura siguiente) en donde se registra el valor de la presión intracraneal que está siendo registrada. Por encima de él se puede observar la hora del sistema.



- Debajo del cuadro de registro se encuentran dos botones que tienen la función de iniciar el monitoreo o de hacer una pausa del mismo.



- Debajo de los botones de inicio y pausa de monitoreo se encuentra un botón que definirá el tipo de gráfica mostrada del lado izquierdo de este. Existen dos opciones para el tipo de gráfica: Una en la cual se despliegan los datos del último minuto de la evolución de la presión intracraneal o la otra en la cual el despliegue de los datos corresponden a las muestras adquiridas cada milisegundo.



- Enseguida se encuentra un botón con la leyenda calibrar, esta rutina tiene la finalidad de corregir los voltajes máximos y mínimos a similares niveles de líquido sobre la columna de cristal del sensor de PIC.



- La parte restante de la pantalla, es decir, la parte inferior derecha es utilizada por botones para las operaciones de inferencia descritas anteriormente y para algunas operaciones estándares tales como regresar al menú principal, imprimir, y hacer visible la aplicación que corre en transfondo (Level 5 Object).

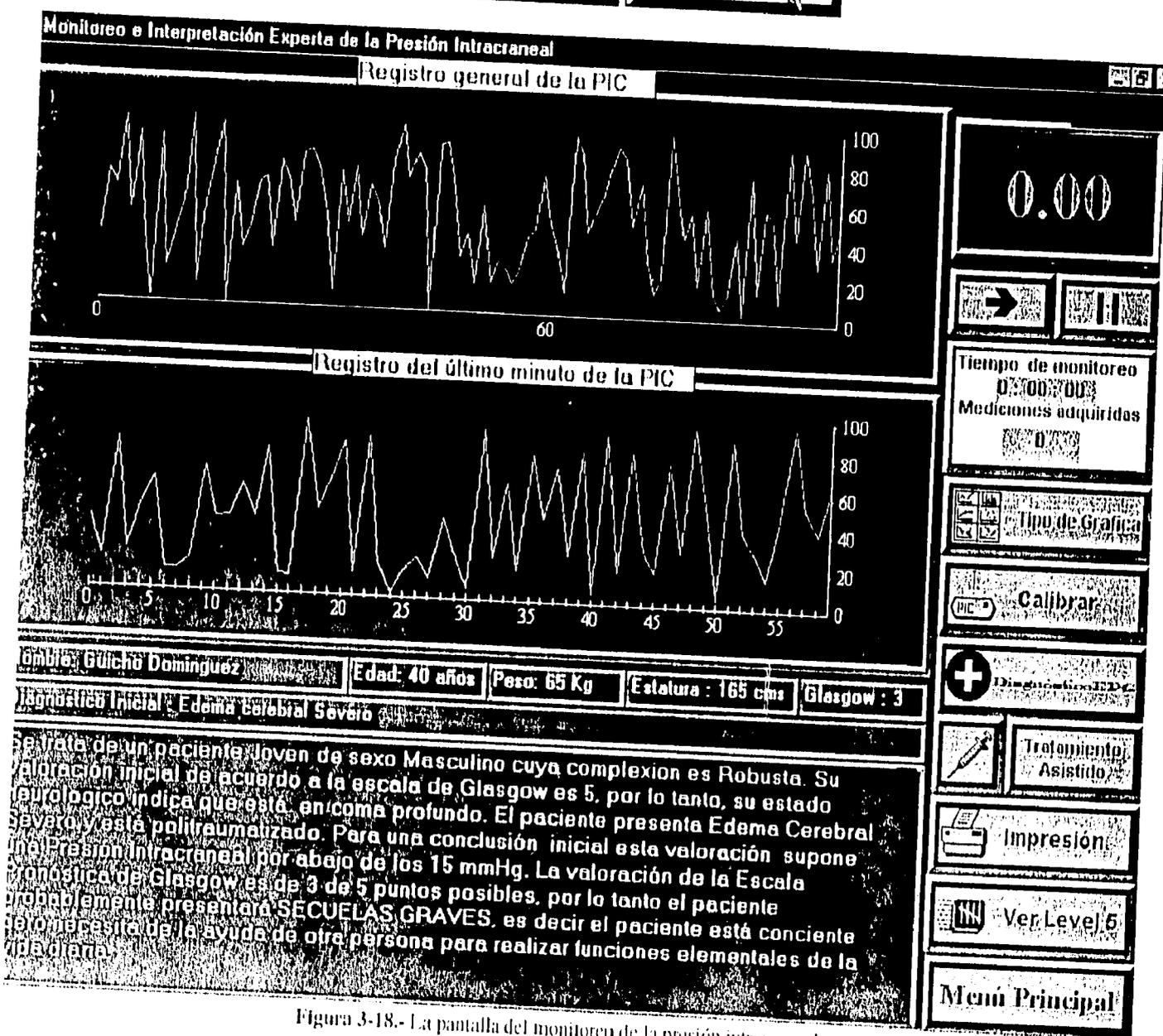


Figura 3-18.- La pantalla del monitoreo de la presión intracraneal.

El manejo de la inferencia en Level 5 Object.

La base de conocimiento es forzada a arrojar una conclusión cada 60 segundos y la estrategia de solución del problema es un encadenamiento hacia adelante (forward chaining). El control del espacio de búsqueda es manejado como *fire first* (primera ocurrencia) en la cual, la estrategia del encadenamiento está determinada por la primera ocurrencia en la cual los antecedentes o atributos de la conclusión concuerdan. Esta estrategia permite no evaluar de inicio muchas conclusiones que son irrelevantes. A continuación se muestra a manera de ilustración, el editor de reglas de Level 5 Object. Y en seguida el árbol de inferencias implementado en Level 5 Object R. 3.5, en el cual sus ramas van siendo podadas hasta encontrar una conclusión. Hay que hacer notar que el software que implementa el motor de inferencias NO evalúa todos los demons como lo haría un software tradicional y además se detiene cuando el patrón de búsqueda coincide con alguno en la base de conocimientos.

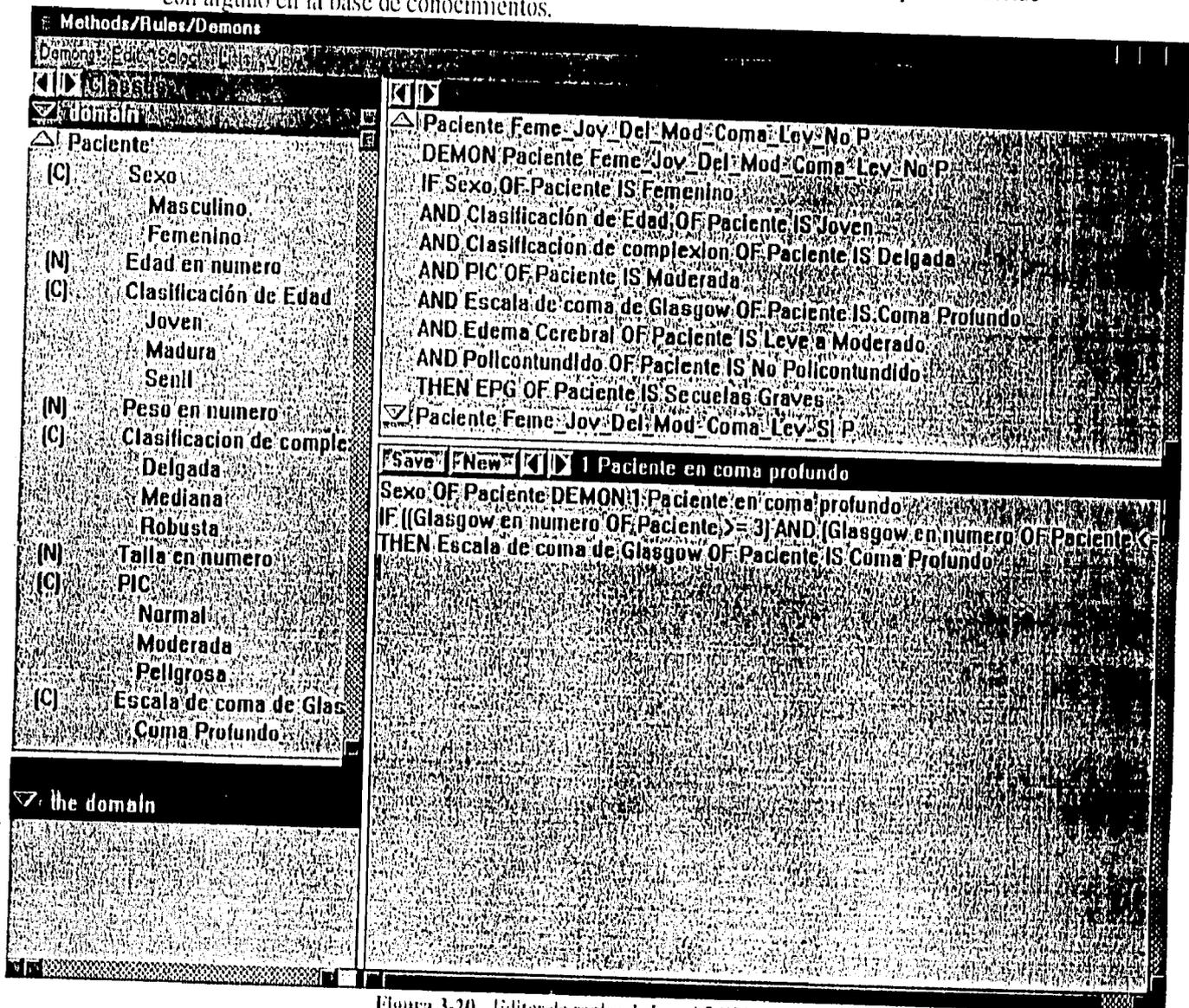


Figura 3-20. -Editor de reglas de Level 5 Object.

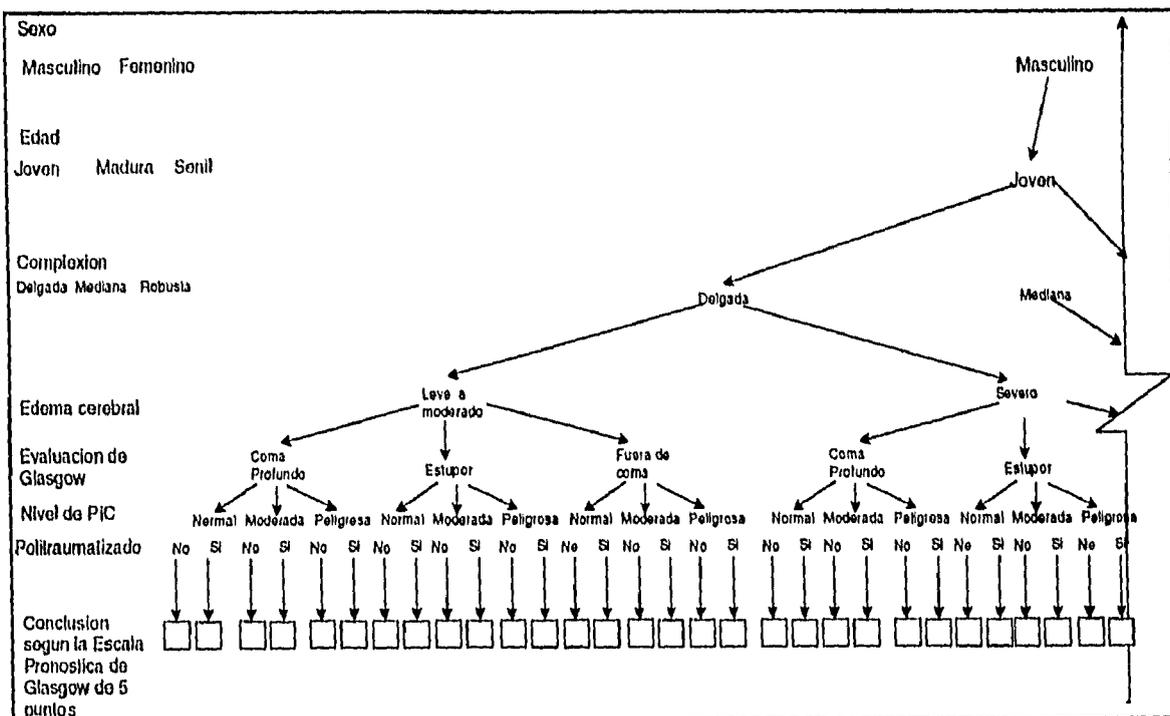


Figura 3-21.-Fragmento del árbol de inferencia de Level 5 Object R. 3.5. implantado en CRANIUM

CAPITULO IV.- VALIDACIÓN Y PRUEBAS DE CRANIUM.

Allí terminaba la ciudad. Calma y tristeza por doquier. Tenue susurrar del bosque y primaverales olores de la tierra que renacía. Allí habían muerto valerosamente sus camaradas para que fuera más bella la vida de quienes nacieran en la pobreza, de aquellos para los que el propio nacimiento era ya el comienzo de la esclavitud.

Pável se quitó lentamente la gorra, y una inmensa tristeza embargó su corazón.

"Lo más preciado que posee el hombre es la vida. Se le otorga una sola vez y hay que vivirla de forma que no se sienta un dolor torturante por los años pasados en vano, para que no queeme la vergüenza por el ayer vil y mezquino, y que para al morir se pueda exclamar: ¡Toda la vida y todas las fuerzas han sido entregadas a lo más hermoso del mundo, a la lucha por la liberación de la humanidad! Y hay que apresurarse a vivir. Pues una enfermedad estúpida o cualquier casualidad trágica pueden cortar el hilo de la existencia"

Pável Korchaquin en "Así se temple el acero" de Nikolai Ostrovski.

Escrítor ruso.

PRUEBAS DE CRANIUM.

Ésta parte del desarrollo de **CRANIUM** involucró dos etapas : la primera fue aquélla durante la cual se ajustaron los detalles para que el monitoreo de la presión intracraneal fuera lo más preciso posible; la segunda etapa consistió de pruebas del monitoreo e interpretación de este último junto con los datos clínicos del paciente con la ayuda de la base de conocimientos. A continuación describimos las dos etapas anteriores.

PRIMERA ETAPA: Monitoreo preciso.

En ésta primera etapa se actuó bajo la premisa de que lecturas erróneas en el sensor de presión conduciría al sistema a dar diagnósticos y cursos de acción inapropiados que serían de lamentables consecuencias. Las pruebas se realizaron con la ayuda y dirección del experto neurocirujano Dr. Gregorio Miranda Lovera en un principio utilizando perros vivos en el bioterio de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de

CAPÍTULO IV.- VALIDACIÓN Y PRUEBAS DE CRANIUM.

México y posteriormente en el Hospital de "Xoco" de la Dirección General de Servicios Médicos del Departamento del Distrito Federal. (D.G.S.M.D.D.F.) y en el Hospital de Traumatología y Ortopedia "Lomas Verdes" del Instituto Mexicano del Seguro Social (I.M.S.S.) con pacientes humanos.

Describiremos nuestra experiencia y resultados con los pacientes humanos, monitorizados en el Hospital de "Xoco". Ellos fueron dos.

Primer caso

La primera experiencia con un paciente humano fue caracterizada por la dificultad de nuestra parte de adaptarnos al ambiente de un hospital de traumatología. Sin embargo superada la impresión y el nerviosismo primerizo *conectamos* la computadora al sensor de presión que estaba a su vez directamente conectado al paciente. El resultado gráfico del monitoreo se muestra en la figura 4-1. El paciente era del sexo masculino de 17 años de edad, 170 cm de estatura, 70 kg. de peso. El paciente cayó mientras se encontraba pintando de una altura aproximada de 10 mts. Los rayos X mostraron fractura del hueso frontal izquierdo y la tomografía reveló edema cerebral severo. El paciente estaba en coma profundo y en estado muy grave. Durante la neurocirugía efectuada por el Dr. Miranda Lovera para colocar el tornillo de Richmond pudo observarse que la inflamación de la masa cerebral era tan severa que había ya roto la dura madre, por lo que automáticamente se decretó muerte cerebral del paciente. A un paciente en tales circunstancias no le es útil el monitoreo de la presión intracraneal, no obstante se le midió durante un espacio de 5 minutos. Y en la cual se observaron los valores mostrados en la gráfica 4-1. Analizando los puntos se llegó a la conclusión de que no eran confiables ya que presentaban múltiples picos, hecho imposible en un cerebro muerto. Esta deficiencia fue debido al tipo de transformador de corriente que se estaba empleando en el sensor de PIC. Los picos se debían a las variaciones de voltajes en la línea de corriente, es lo que se conoce en electrónica como *ruido*. Se procedió entonces a eliminar en la manera de lo posible éstas variaciones de voltaje, sustituyendo la fuente de poder existente por una nueva con una salida de voltaje más lineal.

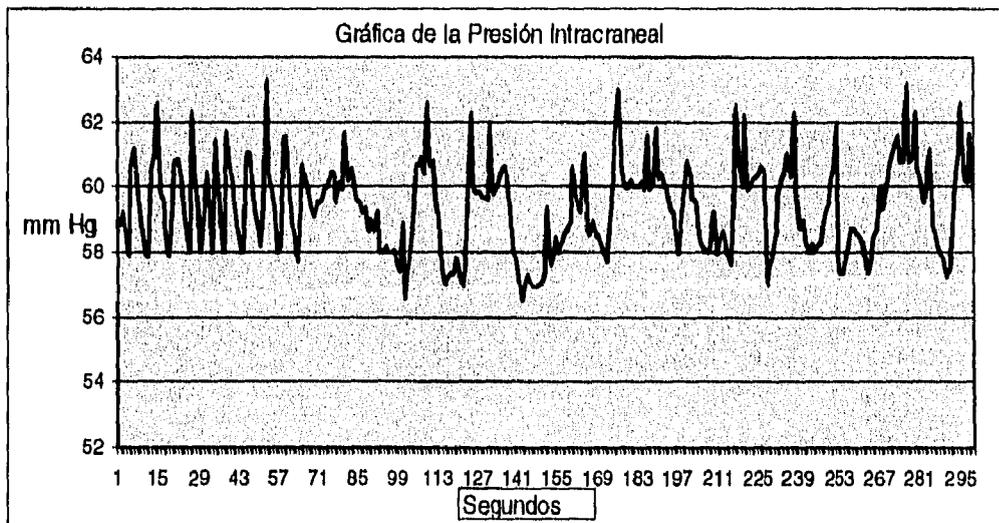


Figura 4-1.- Gráfica de la presión intracraneal del día 29 de Septiembre de 1995.

Ésta sustitución mejoró considerablemente los resultados del monitoreo en el segundo paciente.

Segundo paciente

El segundo paciente monitoreado fue un paciente de sexo masculino de 17 años de edad, 165 cm de estatura, 70 kg de peso, había sufrido un accidente vial y presentaba traumatismo craneo encefálico de grado III, con una puntuación en la escala de coma de Glasgow de 7 puntos, los rayos X mostraron fractura del hueso frontal, parietal, temporal del lado izquierdo. La angiografía reveló hematoma subdural en la región de los huesos fracturados. La gráfica de la presión intracraneal de éste paciente se muestra en la figura 4-2. En ella puede observarse su tendencia decreciente de la presión intracraneal, ya de un valor inicial de 35 mm Hg., por demás peligrosa, terminó en niveles de 11 mm Hg., que puede considerarse dentro del rango normal. El descenso de los niveles de la PIC, se debió a la administración de furosemide al inicio, complementando la terapia la administración de manitol con furosemide para disminuir los niveles de PIC. La administración de los medicamentos y el monitoreo se llevó a cabo por espacio de 27 minutos. Ésta gráfica presenta también picos, que son atribuibles al estado semi-convulsivo que presentaba el paciente y que es hasta cierto punto normal en pacientes con altos niveles de PIC, aplanándose ésta cuando se alcanzaron niveles normales de PIC.

La disminución del ruido permitió confiar en la precisión de la medición durante el monitoreo de los dos pacientes, se encontraron algunos inconvenientes tales como la dificultad de encontrar una toma de corriente libre cercana a la cama de terapia intensiva, además de la dificultad de acomodar una computadora personal y el sensor de presión en un punto cercano al paciente dentro del cubículo estrecho de la unidad de terapia intensiva del hospital de "Xoco".

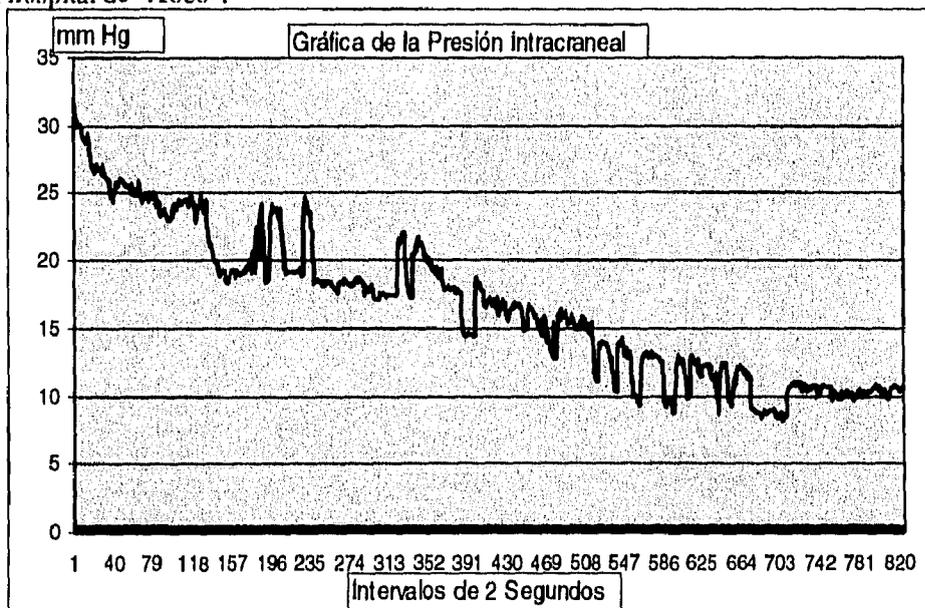


Figura 4-2.- Gráfica de la presión intracraneal del segundo paciente.

Salvo estos ligeros inconvenientes se procedió continuar con la segunda etapa.



Foto 4-1.- Paciente con edema cerebral en monitoreo en el Hospital de "Xoco".

SEGUNDA ETAPA: Prueba y validación de la base de conocimientos.

La segunda etapa puso a prueba algunas de las reglas más generales en el manejo de pacientes que presentan hipertensión intracraneal por edema cerebral causado por traumatismo cráneo encefálico. Las pruebas continuaron tanto en la terapia de cuidados intensivos del hospital de "Xoco" y en la Terapia Intermedia Neuroquirúrgica del Hospital de Traumatología de "Lomas Verdes" (TINLV). En ésta etapa de prueba y validación del prototipo se hicieron suficientes pruebas simuladas, es decir, se llenó con solución fisiológica la columna de vidrio del sensor de presión para emular los ascensos y descensos de presión intracraneal y se probaron los mecanismos de acción sugeridos, tanto en éste tipo de pruebas ficticias y las pruebas con los dos pacientes humanos, se contó con la supervisión del Dr. Gregorio Miranda Lovera, quien estuvo de acuerdo con las aproximaciones generales en ambos tipos de pruebas. La prueba clínica con los dos pacientes se describen a continuación:

Primer caso.

Era un paciente de sexo masculino, de 37 años de edad, 165 cm de estatura y 70 kg. de peso. Había sufrido un accidente vial, presentaba fractura fronto-parietal derecha y la angiografía presentada mostraba edema cerebral moderado, no sufría de lesiones en tórax ni miembros inferiores. Fue evaluado con una puntuación de 5 en la escala de Glasgow. Dadas éstas características al sistema e iniciado el monitoreo de la presión intracraneal, el sistema ofreció las siguientes indicaciones en los tiempos que muestra la gráfica 4-3.

• Tiempo 1:

Diagnóstico de EPG: Secuelas Graves.

Tratamiento: Administración de Manitol : 70 mg en bolos .Control de líquidos, administración de 2 ampolleta de KCl.

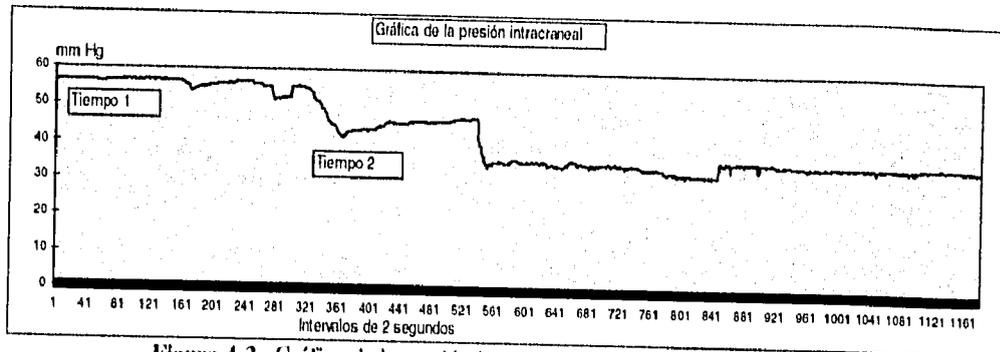


Figura 4-3.- Gráfica de la presión intracraneal. Primer caso, segunda etapa.

La sola administración de manitol, ayudo a disminuir los niveles de presión intracraneal de 55 mm Hg. a 40 mm Hg.

• **Tiempo 2:** (10 minutos después)

Diagnóstico de EPG: Secuelas Graves.

Tratamiento: Administración de Manitol : 70 mg en bolos más una dosis de furosemide .Control de líquidos, supervisión de osmolaridad, administración de 2 ampolletas de KCl.

La administración de furosemide con manitol, ayudó a disminuir los niveles de presión intracraneal de 40 mm Hg. a 32 mm Hg.

De común acuerdo con el Dr.Gregorio Miranda Lovera, ésta primera prueba en la segunda etapa no iría más allá de 40 minutos, pasados éstos, se dejó de monitorear y por lo tanto de sugerir los mecanismos de acción por parte de **CRANIUM**. El paciente monitorizado vivió con secuelas neurológicas de moderadas a graves.

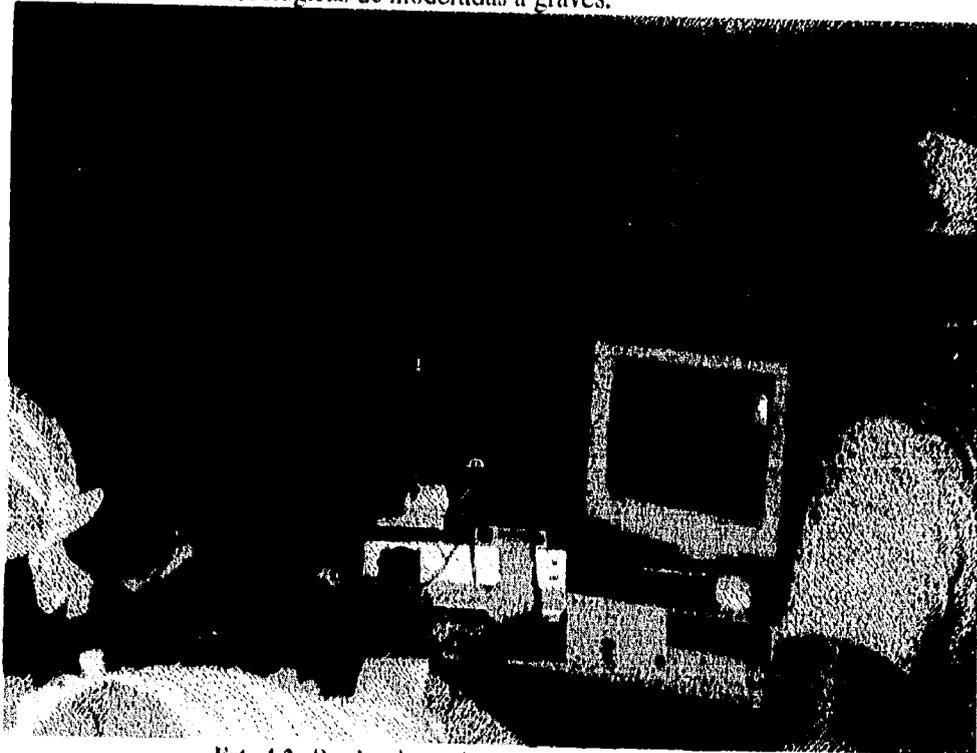


Foto 4-2.- Pruebas de monitoreo en el Hospital de "Xoco".

Segundo caso

Era un paciente de sexo masculino, de 82 años de edad, 180 cm de estatura y 90 kg. de peso. Había sufrido un atropellamiento, presentaba fractura parietal derecha y la tomografía mostraba hemorragia intraventricular izquierda, no sufría de lesiones en tórax ni miembros inferiores. Fue evaluado con una puntuación de 4 en la escala de Glasgow y presentaba edema cerebral severo. Establecidas las condiciones iniciales al sistema e iniciado el monitoreo de la presión intracraneal, a razón de adquirir un promedio muestral cada 3 segundos, el sistema ofreció las siguientes indicaciones en los tiempos que muestra la gráfica 4-4.

- **Tiempo 1 y 2:(Diferencia de 30 minutos)**

Diagnóstico de EPG: Fallecido.

Tratamiento: Administración de Manitol : 90 mg en bolos con dosis de furosemide. Control de líquidos, supervisión de osmolaridad.

Administración de 2 ampolletas de KCl.

Éste caso presentó una singularidad digna de mención. El paciente en su juventud o madurez había sido intervenido quirúrgicamente en la región parietal izquierda, la TAC mostró que le había sido practicada una craneotomía (intervención en la cual se retiran algunos fragmentos óseos del cráneo). Por lo tanto, su cráneo ya no era una cavidad completamente hermética y esto seguramente hizo que el tiempo transcurrido desde que sufrió el traumatismo hasta el momento en que hubo la fase de descompensación del equilibrio endocraneal fuera más prolongado de lo normal, esto sumado a que la edad senil del paciente (82 años) supone que su masa encefálica ha perdido volumen y no ejerce la misma presión sobre la cavidad craneal como la que ejercería un cerebro joven. En opinión del Dr. Miranda Lovera, lo anterior provocó que el paciente no muriera en los días próximos al traumatismo, sino que se alargara unos días más, sin que por ello se modificaran los pronósticos.

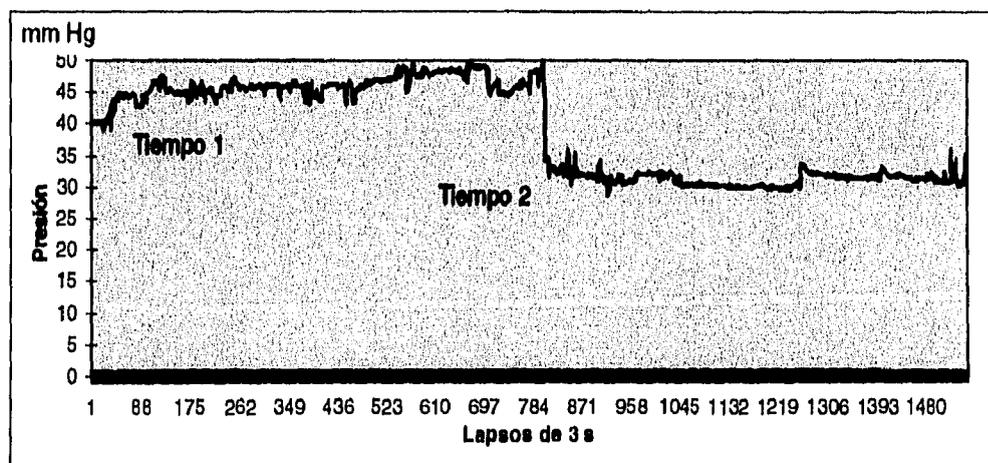


Figura 4-4.- Gráfica de la presión intracraneal. Segundo caso, segunda etapa.

CONCLUSIONES

No he llegado a mi verdad por muchos caminos y en muchas formas: no he subido por una sola escala hasta la altura donde mis ojos pudiesen contemplar la lejanía.

Y jamás pregunté por el camino sin violentarme. ¡Siempre preferí interrogar y probar a los mismos caminos!

Probando e interrogando caminé y, naturalmente, hay que aprender también a responder a tales preguntas. Ese es mi gusto: no es ni bueno ni malo, pero es el mío, y no tengo que ocultarlo ni avergonzarme de él.

¡Ese es ahora mi camino! ¿dónde está el vuestro?" Eso es lo que contestaba a los que me preguntaban por "el camino". Porque el camino no existe".

Así hablaba Zaratustra.

Frederich Nietzsche. Filósofo Alemán.

CONCLUSIONES.

SOBRE CRANIUM

El desarrollo de **CRANIUM** en su calidad de prototipo nos permite afirmar que cumple en lo general con las expectativas con las cuales se inició su creación en Marzo de 1995. Se modificó el encefalobarometro original del Dr. Miranda Lovera y se adecuó para que funcionara en conjunto con una computadora, sumándole además un módulo experto. El resultado final fue un sensor de Presión Intracraneal (PIC) eficiente y de un costo tres veces menor comparado con sus equivalentes extranjeros. Hay que hacer mención en este punto, que los instrumentos de medición extranjeros son muy sofisticados y super eficientes, por lo tanto caros. Sobrepasan, en el aspecto fino del monitoreo, por mucho al instrumento que hemos diseñado. Sin embargo, se ha desarrollado un instrumento, que en lo general funciona eficientemente y puede ser utilizado fácilmente, además, incluye un módulo experto que ningún instrumento extranjero contiene. También hay que destacar que el hecho de que la computadora sea parte del instrumento, no significa que ésta no funcione aisladamente, se ha concebido a la computadora como un aditamento virtual para el funcionamiento del instrumento ya que el sensor de PIC y el programa de *software* resultante puede ser conectado e instalado en cualquier computadora, aprovechando con ello las ventajas que cualquier computadora ofrece, aún durante el tiempo en que esté monitoreando.

CONCLUSIONES

Una conclusión resultante respecto al tamaño de la computadora es que debido a las limitantes de espacio en las unidades de terapia intensiva, mientras más compacta sea esta computadora, se tendrán mejores condiciones para operarla.

CRANIUM trabaja bajo un principio simple, por lo tanto, los costos de producción podrían ser reducidos en mucho si el convertidor analógico digital que se usó y se importó para su construcción hubiera sido construido en México por un profesional del área de la electrónica. No obstante, aunque sabemos que la construcción no es fácil, es factible de realizar para eliminar la dependencia tecnológica del exterior en la cual ha vivido México durante muchos años.

CRANIUM puede ser mejorado en algunos aspectos, uno de los cuales es la incorporación de más sensores de PIC para monitorizar varias camas al mismo tiempo. La mejora consiste y puede hacerse aprovechando cuatro de los siete canales simples disponibles que quedan sin ocuparse en el convertidor analógico digital. Proponemos cuatro y no los siete, por la razón de que habiendo más canales adquiriendo en el mismo convertidor, las tasas de muestreo tendrían que reducirse trayendo consigo la pérdida de calidad en la señal. Habiendo cinco canales en adquisición, consideramos, no demeritan la calidad de la señal para los fines que se persiguen. El aprovechamiento de estos canales adicionales, llevaría por un lado a la construcción de un transductor por canal que quisiese aprovecharse y por otro, llevaría a la modificación del software para adquirir datos. No obstante, dado que no tendría que comprarse otro convertidor analógico-digital, los beneficios de aprovechar sus capacidades son notorias. El trabajo que involucra ésta mejora es considerable, por eso aunque se ha tomado en cuenta no se ha realizado en el proyecto de tesis que sustentamos.

SOBRE IA, SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y MEDICINA.

Pensar que una computadora posea un comportamiento inteligente como los humanos, es un sueño utópico. Mientras todas las potencialidades del cerebro humano no sean desarrolladas, o peor aún, permanezcan desconocidas, mucho menos podrán ser emuladas en una computadora. El avance en los estudios de detección de los principales neurotransmisores y de como estos funcionan, traerán sin duda, muchas ideas de como programar computadoras o de como construir las.

El mejor desempeño del software para optimizar los accesos directos a la memoria de las computadoras y la rapidez con que estas últimas trabajan hoy en día, hacen posible que se desarrollen sistemas de instrumentación más eficaces y más confiables. La proliferación de estos también abarata los costos de producción de los módulos de adquisición de datos.

Anteriormente los sistemas de instrumentación eran aparatos electrónicos o electromecánicos independientes que difícilmente podían ser adaptados a una computadora común y corriente. La aparición de los llamados instrumentos virtuales, que permiten controlar el proceso de monitoreo, control y adquisición de datos desde el ambiente gráfico de casi cualquier computadora con ayuda de un simple *ratón* que manipula virtualmente switches, palancas, perillas, botones, etc., resulta tan eficaz como sus equivalentes reales.

El control desde una computadora común y corriente de los procesos de adquisición, permite gracias a las ventajas que el software ofrece, que los datos puedan ser analizados e interpretados en tiempo real por un programa de software *inteligente* creado con las técnicas de la IA.

CONCLUSIONES

CRANIUM es un sistema de control inteligente asistido por computadora, no obstante y dado que hace análisis e interpretación de los datos cada 60 segundos, no puede catalogarse estrictamente como un sistema de tiempo real.

Creemos que pronto las causas anteriores serán de peso para reemplazar a los poco flexibles y caros aparatos de medición en los hospitales, por pequeños, confiables, flexibles, y relativamente más baratos sistemas virtuales de instrumentación asistidos por computadora y que además eventualmente contendrán módulos inteligentes para un máximo beneficio, para el paciente, para el médico, para el hospital y para la sociedad en su conjunto.

APENDICE 1.- PRODUCTION RULE LANGUAGE OF LEVEL 5 OBJECT.

VERSIONS

LOCATIONS ARE PREFIXES

CLASS Paciente

WITH Sexo COMPOUND

Masculino

Femenino

WITH Estado en numero NUMERIC

WITH Clasificación de Estado COMPOUND

Joven

Madura

Señil

WITH Grado en numero NUMERIC

WITH Clasificación de compleción COMPOUND

Delgada

Mediana

Robusta

WITH Talla en numero NUMERIC

WITH Tipo COMPOUND

Normal

Moderada

Peligrosa

WITH Escala de coma de Glasgow COMPOUND

Coma Profundo

Profundo

Fuera de coma

WITH Glasgow en numero NUMERIC

WITH Esfera Cerebral COMPOUND

Leve a Moderada

Severa

WITH Policondado COMPOUND

SI Policondado

NO Policondado

WITH EPO COMPOUND

Fallecido

Estado Vegetativo

Secuelas Graves

Secuelas Moderadas

Buena Recuperación

CLASS Predion Embarranal

WITH Predion Intracranial NUMERIC

ATTRIBUTE Suministro de Manifiesto NUMERIC

ATTRIBUTE Conclusión EPO STRING

ATTRIBUTE EPO_Sexo STRING

ATTRIBUTE EPO_Estado STRING

ATTRIBUTE EPO_Clasificación STRING

ATTRIBUTE EPO_Glasgow STRING

ATTRIBUTE EPO_Esfera STRING

ATTRIBUTE EPO_PIC STRING

INT "Para una conclusión final esta valoración supone una predion"

Intramural por abajo de los 15 mmHg"

ATTRIBUTE EPO_Policondado STRING

ATTRIBUTE EPO_General STRING

ATTRIBUTE EPO_Consejo reporte SIMPLI

WITH CHIANNIZ

THEN

IF EPO OF Paciente IS Normal THEN

IF Predion Intracranial OF Predion Embarranal = 1 THEN

EPO_PIC := "Para una conclusión final esta valoración

supone una Predion Intracranial por abajo de los 15 mmHg."

ELSE

EPO_PIC := CONCAT "La predion intracranial en el

difundo normal o es considerada NORMAL, su promedio fue: ", TO STRING(

Predion Intracranial)

normal OF Predion Embarranal, " mmHg."

IF PIC OF Paciente IS Moderada THEN

EPO_PIC := CONCAT "La predion intracranial en el difundo

normal es considerada PELIGROSA, su promedio fue: ", TO STRING(

Predion Intracranial)

normal OF Predion Embarranal, " mmHg."

IF Esfera Cerebral OF Paciente IS Severa THEN

EPO_Esfera := "Esfera Cerebral Severa"

ELSE

EPO_Esfera := "Esfera Cerebral de Leve a Moderada"

IF Policondado OF Paciente IS SI Policondado THEN

EPO_Policondado := "está politraumatizado."

ELSE

EPO_Policondado := "no está politraumatizado."

IF Sexo OF Paciente IS Masculino THEN

EPO_Sexo := "Masculino"

ELSE

EPO_Sexo := "Femenino"

IF Escala de coma de Glasgow OF Paciente IS Coma

Profundo THEN

EPO_Glasgow := "en coma profundo"

IF Escala de coma de Glasgow OF Paciente IS Estupor THEN

EPO_Glasgow := "en estupor"

IF Escala de coma de Glasgow OF Paciente IS Fuera de coma

THEN

EPO_Glasgow := "fuera de coma"

IF Clasificación de compleción OF Paciente IS Delgada

THEN

EPO_Compleción := "Delgada"

IF Clasificación de compleción OF Paciente IS Mediana

THEN

EPO_Compleción := "Mediana"

IF Clasificación de compleción OF Paciente IS Robusta

THEN

EPO_Compleción := "Robusta"

IF Clasificación de Estado OF Paciente IS Joven THEN

EPO_Estado := "Joven"

IF Clasificación de Estado OF Paciente IS Madura THEN

EPO_Estado := "de edad madura"

IF Clasificación de Estado OF Paciente IS Señil THEN

EPO_Estado := "de edad senil"

Str Glasgow := TO STRING(Glasgow en numero OF

Paciente)

EPO_General := CONCAT "Se trata de un paciente ",

EPO_Estado, " de "

EPO_Sexo, " cuya compleción es ", EPO_Compleción, "

Su valoración

inicial de acuerdo a la escala de Glasgow es ", Str Glasgow, "

por lo

tanto, su estado neurológico indica que está ", EPO_Glasgow,

" el pa

ciente presenta ", EPO_Esfera, " y ", EPO_Policondado,

EPO_PIC)

IF EPO OF Paciente IS Secuelas Moderadas THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 4 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente presentará SECUELAS MODERADAS, es

decir podrá reali

zar en forma independiente las actividades de la vida diaria, e

incluso

podrá trabajar en actividades poco complejas o reincorporarse a

su vida

normal (actividades poco complejas)

IF EPO OF Paciente IS Secuelas Graves THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 3 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente presentará SECUELAS GRAVES, es decir

el paciente es

incapaz de realizar en forma independiente las actividades de la vida diaria, e

incluso

podrá trabajar en actividades poco complejas o reincorporarse a

su vida

normal (actividades poco complejas)

IF EPO OF Paciente IS Fallecido THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 1 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente PALIECERÁ."

IF EPO OF Paciente IS Estado Vegetativo THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 2 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente PALIECERÁ."

IF EPO OF Paciente IS Estado Vegetativo THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 2 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

autónoma)

IF EPO OF Paciente IS Buena Recuperación THEN

Conclusión EPO := CONCAT EPO_General, "La

valoración de la Escala

de Pronóstica de Glasgow es de 5 de 5 puntos posibles, por lo

tanto el pa

ciente probablemente podrá sobrevivir en ESTADO

VEGETATIVO en el cual el

paciente es incapaz de realizar ninguna función vital de forma

