

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

"DESARROLLO DE UN SIMULADOR COMPACTO DE DIVULGACIÓN Y DOCENCIA EN INGENIERÍA NUCLEAR"

TESIS:

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN COMPUTACIÓN

PRESENTAN:

RICARDO GUTIÉRREZ FERIA

MARÍA GUADALUPE ORTEGA BARBOSA

DIRECTOR DE TESIS:
DR. CARLOS CHÁVEZ MERCADO

MEXICO, D. F. **2005**

Cada párrafo, en el desarrollo de esta tesis, fue el resultado del impulso y apoyo de muchas personas, que a veces sin ellos saberlo me daban fuerzas para continuar, es por ello que quiero agradecer de manera muy especial:

A mis padres Ricardo Gutiérrez González y Teodora Feria Santiago, quienes son el motivo de todas mis metas y quienes depositaron en mi toda su confianza, me alentaron en todo momento sin importar las circunstancias y forjaron en mi el hombre que soy.

A mis hermanos de sangre Eduardo y Sandra Luz con quienes he compartido el tiempo de cada uno de mis esfuerzos y las firmes enseñanzas de mis padres, sin mencionar los buenos y malos momentos.

A mi chaparrita Jeanette V.P., quien creyó en mi en todo momento y que es la inspiración de mis sueños, de mi fuerza y de mi superación como individuo.

A mis hermanos: Salvador Tello Avellaneda, Carlos A. Márquez Orozco, Francisco Ricardo Olvera López y Cesar David Pérez.

A Don Héctor Márquez Mayorga y a la Sra Ma Carmen Erendira Cureño por haberme recibido en su casa como un miembro más de su familia. Al abuelo de Carlitos que desde el cielo se que cree firmemente en cada uno de nosotros.

Al Sr. Salvador Tello Tello y a la Sra. Angélica Avellaneda López quienes me abrieron las puertas de su casa, integrándome a su familia y tratándome como un Tello Avellaneda.

A mis tíos Guillermo y Neofito Feria y a mis primos Rodolfo, Héctor Luis, Guillermo y Andrea, quienes a pesar de estar lejos siempre ha estado al pendiente de mi.

Pero sobre todo doy gracias a Dios por haberme dejado conocer a cada una de estas personas y darme las fuerzas para lograr cada una de mis metas.

Gracias

Ricardo Gutiérrez Feria

Antes que nada quiero darles las gracias a mis padres: Maria Guadalupe Barbosa y Luis Ortega, por sus consejos y ejemplos que me han servido de guía durante mi vida, así como por su apoyo incondicional.

De igual manera agradezco a mis hermanas Erika, Bety y Lulú por toda una vida de compañerismo y complicidad.

A Dios le doy gracias por haberme permitido cumplir esta meta, una de las más importantes en mi vida.

Gracias

A la Familia de la Facultad por todos aquellos bellos y divertidos momentos que compartimos durante todos estos años.

A Iván, Jerson, José, Julio y Alain por la bella amistad que me brindaron, y porque sé que podré contar con ellos en todo momento.

A Karla por su apoyo y amistad sincera.

A Teresa, Anabel y Eder por las palabras de aliento que siempre me impulsaron a seguir adelante.

Haz que las contrariedades te alienten y los obstáculos
te engrandezcan.

Fenelon

Lupita Ortega

Queremos agradecer a nuestro director de tesis, el Dr. Carlos Chávez Mercado por su apoyo y guía en la realización de este trabajo

De igual manera agradecemos a la M. en C. Pamela Fran Nelson Edelstein por sus ideas para mejorar el sistema desarrollado.

Agradecemos a nuestros sinodales, el Dr. Juan Luis Francois Lacuture, Dra. Cecilia Martin del Campo y al M. en C. Edgar Salazar Salazar por las observaciones hechas que sirvieron para mejorar el presente trabajo de tesis.

Damos las gracias al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) y a la Facultad de Ingeniería por el apoyo técnico y financiero para el presente trabajo.

INDICE

Lista de tablas …… ii
Lista de figuras…… iii
Acrónimos..... iv
Introducción…… v

Capítulo 1. Antecedentes y Conceptos Teóricos

1.1 Definición de Energía Nuclear…….. 2
1.2 Conceptos Básicos sobre Energía Nuclear…… 6
1.3 Reactores Nucleares…….. 10
1.3.1 Elementos de una Central Nuclear……. 10
1.3.2 Tipos de Centrales Nucleares…… 15
1.4 Beneficios de la Energía Nuclear……..... 22
1.5 La Energía Nuclear en México……. 25
1.6 Conocimiento de la Energía Nuclear en México…….. 30

Capítulo II. Percepción Visual, Pedagogía, Aprendizaje y Principios de Ingeniería de Factores Humanos

2.1 Percepción Visual……. 36
2.2 Estudio Básico de color (cromática)…… 40
2.3 Educación y Pedagogía…… 46
2.4 Estrategias de aprendizaje…… 48
2.5 Principios de Ingeniería de Factores Humanos…… 53
2.5.1 Despliegues de Información Estática……. 54
2.5.2 Despliegues de Información Dinámica……. 61

Capítulo III. Implementación del Sistema

3.1 Simulador Compacto para Divulgación y Docencia en Ingeniería Nuclear…… 66
3.2 Descripción de las Herramientas para el Desarrollo……. 68
3.3 Descripción y desarrollo del sistema…… 70

Capítulo IV. Evaluación y Discusión de la Implementación

4.1 Resultados de las Encuestas y el sistema……. 89
4.2 Diseño de los despliegues de información…….....……. 98
4.3 Resultados del estudio de color …….....……...…… 99
4.4 Información contenida en el sistema ……..... 101

Capítulo V. Conclusiones

5.1 Conclusiones…….. 103
5.2 Trabajo a Futuro…… 104
Bibliografía…….. 106

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Diferencias entre Fusión y Fisión …….	9
Tabla 1.2 Institutos y Centros de Investigación en la UNAM donde se aplican diversos aspectos relacionados con la Energía Nuclear……...	27
Tabla 4.1. Resultados principales de la encuesta aplicada a adultos……..	94
Tabla 4.2. Resultados principales de la encuesta aplicada a niños…….	95

Lista de figuras

Figura 1.1 Modelo de Ernest Rutherford……..... 3
Figura 1.2. Modelo atómico de Niels Bohr……..….... 4
Figura 1.3. Los átomos tienen el mismo número de protones y electrones……. 5
Figura 1.4 Reacción Nuclear……... 7
Figura 1.5 Reacción Nuclear en Cadena…….. 8
Figura 1.6 Fusión Nuclear…… 9
Figura 1.7 Diagrama de una Central Nuclear…….. 11
Figura 1.8 Reactor de Agua a Presión……... 16
Figura 1.9 Reactor de Agua en Ebullición ……..... 16
Figura 1.10Reactor Refrigerado por Gas……. 18
Figura 1.11Reactor Rápido de Cría…….. 20
Figura 1.12Reactor CANDU-6.……..... 21
Figura. 2.1 Proceso perceptivo……... 37
Figura 2.2 Demostración de contraste de luminosidad…… 38
Figura 2.3 FSC en los niños……... 39
Figura 2.4 Fotorreceptores en la vista Humana…… 42
Figura 2.5 Fases del aprendizaje……... 51
Figura 2.6 Concepto de ángulo visual……... 56
Figura 2.7 Razón de anchura de trazo y altura de letras y numerales……... 59
Figura 3.1 Funcionamiento de una planta nuclear…… 71
Figura 3.2 Animación del concepto de reacción nuclear……. 72
Figura 3.3 Juego interactivo (Memorama)…… 73
Figura 3.4 Diagrama del edificio del reactor de la CNLV…… 74
Figura 3.5 Descripción de las barreras de protección contra liberación de la radiación. ……... 75
Figura 3.6 Descripción de la CNLV…….. 76
Figura 3.7 Edificios de la CNLV……... 77
Figura 3.8 Edificio del reactor……. 78
Figura 3.9 Generador principal……..... 79
Figura 3.10Piso de recarga…… 80
Figura 3.11Cuarto de control……..... 81
Figura 3.12Cuarto de computadoras……. 82
Figura 3.13Ejemplo de un despliegue de autoevaluación……..... 84
Figura 3.14Diagrama de un reactor BWR……... 85
Figura 3.15Grafica de variación de la potencia……... 86
Figura 3.16Barras de control (fase media)……... 87
Figura 4.1 Encuesta realizada a la población adulta……. 91
Figura 4.2 Encuesta realizada a la población infantil……... 93
Figura 4.3 Gráficas de resultados obtenidos de las encuestas realizadas a los adultos. 97
Figura 4.4 Gráficas de resultados obtenidos de las encuestas realizadas a los niños.... 98
Figura 4.5 Grupo de estudio y sus dibujos…… 100

ACRÓNIMOS

CNLV - Central Nuclear Laguna Verde

BWR - Boiling Water Reactor (Reactor de Agua Hirviente)

PWR – Pressurized Water Reactor (Reactor de Agua Presurizada)

PHWR – Pressurized Heavy Water Reactor o CANDU (Reactor de Agua Pesada)

HTGR- High Temperature Gas Cooled Reactor (Reactor de alta temperature enfriado por gas)

LMFR- Liquid Metal Cooled Fast Reactors (Reactores rápidos refrigerados por metal líquido)

ALMR- Advanced Liquid Metal Reactor (Reactor Avanzado de Metal Líquido)

EFR -European Fast Reactor (Reactor Rápido Europeo)

C. N. S. N. S. - Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias

C.F.E.-C.N.L.V. -Comisión Federal de Electricidad - Central Nucleoeléctrica Laguna Verde

U. N. A. M.- Universidad Nacional Autónoma de México

I. P. N. - Instituto Politécnico Nacional

ESFM - Escuela Superior de Físico Matemáticas

UAZ - Universidad Autónoma de Zacatecas

CREN - Centro Regional de Estudios Nucleares

IIE - Instituto de Investigaciones Electricas

OPANAL - Organismo para la Proscripción de las Armas Nucleares en la America Latina y el Caribe

ONU - Organización de las Naciones Unidad

TNP - Tratado de no Proliferación Nuclear

CTBT - Tratado para la Prohibición Completa de Ensayos Nucleares

FSC - Función de sensibilidad al contraste

SEP - Secretaria de Educación Pública cuyos objetivos son [40]:

VA - Ángulo Visual

CRTs - Tamaño de caracteres alfanuméricos en pantallas electrónicas

DGDC - Dirección General de Divulgación de la Ciencia

ODBC - Open Data Base Connectivity

SIIP - Sistema Integral de Información del Proceso

Introducción

El hombre a través de su historia evolutiva ha realizado muchos descubrimientos e inventos, tales como el fuego, la rueda, la máquina de vapor, así como también diferentes tipos de energía (energías renovables, como el sol y el viento y no renovables como por ejemplo el carbón, los hidrocarburos y el uranio).

Con el paso del tiempo el hombre fue descubriendo nuevos tipos de energía hasta llegar a la energía nuclear con la utilización del uranio, con la llegada de este descubrimiento surgieron nuevas formas para aprovecharla al máximo, ésto ha traído como consecuencia grandes avances en la Industria Energética.

Hoy en día es importante conocer el uso adecuado de la Energía Nuclear para de esta manera acrecentar el desarrollo energético y con ello el de México, de aquí la inquietud por realizar un sistema de difusión del uso y generación de la Energía Nuclear, tarea a la cual va encaminado el presente trabajo de tesis.

Objetivos

- Desarrollar e implementar un sistema didáctico, divertido e interactivo que enseñe los conceptos básicos de la Energía Nuclear.

- Dar a conocer los usos y obtención de la Energía Nuclear.

- Concientizar a los niños y a la población en general acerca de los beneficios de la Energía Nuclear.

- Informar, educar y provocar interés en la Energía Nuclear.

- Utilizar los métodos de enseñanza adecuados para el desarrollo de un software enfocado a la divulgación de la Energía Nuclear.

- Mostrar las partes que componen la Central Nuclear Laguna Verde (CNLV) mediante el uso de despliegues dinámicos.

- Dar a conocer la utilización de algunos sistemas usados en la operación de la CNLV.

Justificación

Dar a conocer qué es la Energía Nuclear y comunicar a la población en general los conceptos sobre la energía nuclear no es algo fácil, y son muchos los factores para que esto sea así: uno de los más importantes es el sector energético en México, debido a que no proporciona lo necesario para el desarrollo de la Energía Nuclear, otro factor, tal vez el más importante, es la creciente distribución de información errónea acerca de los beneficios de la Energía Nuclear, por parte de Asociaciones o grupos, tal es el caso del grupo ecologista Green Peace, que sin estar bien enterados de los procesos para la obtención de la Energía Nuclear, alertan a la población creando situaciones inexistentes (complejidad inherente de su estudio y malas interpretaciones de la gente en cuanto a su aparición) e incertidumbre entre los mismos.

Por otra parte en los últimos años, la industria del software en nuestro país ha centrado muchos de sus esfuerzos en el sector infantil, desarrollando sistemas con base a la fórmula de “aprender jugando”, siendo esta fórmula muy atractiva debido a que los niños aprenden de sus experiencias durante el juego; de acuerdo a esto y debido al desarrollo tecnológico que se vive en todo el mundo, las empresas se han dado a la tarea de explotar al máximo las cualidades multimedia de los actuales equipos de cómputo, creando con esto software atractivo con un alto nivel educativo.

La industria del software infantil nace con el desarrollo de los videojuegos, creando una gran polémica en torno si éstos poseen las características necesarias para poder ser considerados con un verdadero valor educacional. En la actualidad existen muchos títulos en el mercado, pero tal vez el peor error es la temática que es manejada por juegos, tal es el caso de la violencia, dejando atrás el objetivo principal que es ayudar a la buena formación de los niños. Otra problemática es la edad para la cual están diseñados, provocando que el software sea inadecuado en contenido y temática para su edad.

Por otra parte el software enfocado a niños no posee las características adecuadas para despertar el interés necesario en áreas específicas, esto es debido a que no son considerados sus gustos y preferencias, y mucho menos son consideradas sus capacidades, limitaciones y habilidades de aprendizaje, además de tampoco considerar las verdaderas necesidades de los niños.

De aquí nace la interrogante: ¿poseen todos estos productos la calidad necesaria para considerarse “educativos”?, para poder resolver esta interrogante es necesario plantear diferentes parámetros de evaluación para determinar la idoneidad de los materiales y los recursos informáticos utilizados, para de esta manera asegurar que el sistema es educativo.

Hoy en día la mayoría de los niños y adultos desean sistemas que sean entretenidos, altamente interactivos y atractivos, es por ello que es necesario manejar tanto el color, como imágenes y movimiento para el desarrollo de sistemas multimedia para de esta manera asegurar la atención en el software desarrollado. En relación con la energía nuclear, en nuestro país no se han desarrollado sistemas educacionales y/o de difusión de este tipo, por consiguiente los productos disponibles son de origen extranjero y vienen en diversos idiomas, por lo general inglés.

En la actualidad en México las personas tienen ideas erróneas sobre lo que es la energía nuclear y su utilización en la sociedad, y lamentablemente estas ideas son transmitidas de padres a hijos. Existe una gran necesidad de sensibilizar a las nuevas generaciones de los beneficios y las ventajas que otorga la utilización de la energía nuclear en diversas áreas. Aunque existen diversas formas de facilitar el aprendizaje, el uso de multimedia proporciona una gran ayuda para el desarrollo de software educativo. Se propone en este trabajo de tesis lograr a través de este medio, la difusión y facilitar el conocimiento de la energía nuclear en México.

La importancia del estudio de la energía nuclear y su aceptación por la sociedad es fundamental, y en el caso del sector infantil deben tomarse en cuenta múltiples aspectos adicionales. Desde el punto de vista didáctico radica en considerar el tipo de juegos, animaciones y preguntas que deben plantearse de acuerdo a su edad y lograr captar su total atención. Por otra parte considerando que los niños gustan de jugar y son atraídos en gran medida por los colores y el movimiento y que en general no poseen conocimiento alguno acerca de la energía nuclear, el software a desarrollar debe partir de conceptos básicos para informar, educar y provocar el interés.

En el presente trabajo se ha seleccionado el empleo de una herramienta multimedia: *Flash 5.0 de Macromedia*, ya que cumple con las características adecuadas para poder conseguir los objetivos planteados. Además para poder llevar a cabo el desarrollo de despliegues dinámicos de la CNLV se considera pertinente la utilización del software especializado *DataViews 2.3*, debido a la facilidad que presenta esta herramienta en la elaboración de diversas interfaces gráficas y tipos de despliegues de información.

Los gustos en general son cambiantes al paso del tiempo, es por ello que a pesar de tener estudios previos acerca de la aceptación de un sistema especifico, es necesario corroborarlo mediante diversos mecanismos de evaluación que deberán ser planteados teniendo en cuenta a quién van dirigidos.

El sistema propuesto, además de facilitar la difusión y aprendizaje de conceptos relacionados con la energía nuclear, permitirá la visualización y simulación de procesos nucleares básicos así como de sus aplicaciones. Como parte del sistema se incluyen juegos interactivos mediante los cuales se pretende que el usuario recuerde con mayor facilidad los conceptos aprendidos durante su utilización, así como la aplicación de un cuestionario como mecanismo de retroalimentación y para autoevaluación del grado de asimilación de cada uno de los aspectos involucrados.

Breve Descripción del Trabajo de Tesis.

El presente trabajo de Tesis trata del desarrollo de un sistema enfocado a la difusión, enseñanza y concientización de la importancia y beneficios de la energía nuclear. Para el desarrollo del mismo son tomados en cuenta diversos factores, tales como: color, movimiento, forma, mecanismos de retroalimentación y autoevaluación, entre otros. Durante el desarrollo de la tesis se tratan diferentes aspectos relacionados con el diseño de un software educativo en el área de energía nuclear.

El Capitulo I presenta la definición y los conceptos fundamentales de energía nuclear, así como los diferentes tipos de plantas de generación de electricidad por medios nucleares, particularmente tres: BWR (*Boiling Water Reactor*), PWR (*Pressurized Water Reactor*), y PHWR (*Pressurized Heavy Water Reactor o Candu*), de las cuales son tratados su funcionamiento y constitución, haciendo énfasis en la Central Nuclear Laguna Verde. Para finalizar son mencionados los beneficios en la utilización de la energía nuclear, así como las instituciones y aplicaciones que existen en México que utilizan o están relacionadas con esta fuente energética.

El Capitulo II describe diversos aspectos relacionados con el componente humano en la utilización de sistemas de información. Se incluyen aspectos de la percepción visual del ser humano, capacidades y limitaciones para el procesamiento de información, además de describir aspectos pedagógicos en torno de la enseñanza y estrategias de aprendizaje. También se incluye un estudio piloto sobre las preferencias de color, y por ultimo algunos aspectos para elaboración de despliegues dinámicos y estáticos.

El Capitulo III plantea el problema a resolver así como el criterio de diseño empleado para el desarrollo del software prototipo, además de dar una descripción de las herramientas mediante las cuales se realizó el sistema.

El Capitulo IV describe el sistema prototipo desarrollado y su entorno. Se presentan aspectos sobre la interactividad del mismo y de sus componentes, incluyendo animaciones, vistas, juegos y mecanismos de autoevaluación y resultados obtenidos.

En el capitulo V se presentan las conclusiones del trabajo de tesis y se propone trabajo a futuro en relación con el sistema prototipo desarrollado.

CAPITULO I

Antecedentes y Conceptos Teóricos

El presente capítulo presenta algunos conceptos fundamentales relacionados con la energía nuclear así como una breve descripción de los principales tipos de instalaciones nucleares para la producción de electricidad. En el mismo también se incluye a manera de resumen, los principales beneficios de la energía nuclear y su aplicación en nuestro país, así como un resumen sobre el conocimiento que se tiene acerca de esta fuente de energía en México.

1.1 Definición de Energía Nuclear

Siglos antes de Cristo los antiguos griegos indicaban la existencia de algunas partículas fundamentales, que actuaban como elementos constituyentes de la materia, prediciendo la existencia de unos átomos de diminuto tamaño, y enumerando una pequeña cantidad de diferentes tipos.

La palabra *átomo* (en griego "lo que no se puede partir") fue inventada por un hombre llamado Demócrito. Para Demócrito, los átomos eran aquellas últimas partículas a las que no podemos reducir más en otras más pequeñas. "Todo está hecho de átomos unidos intrínsicamente -decía-, incluso nosotros los humanos. Nada existe aparte de átomos y el vacío" [1] [2].

A finales del siglo XIX fueron descubiertos más aspectos sobre estos elementos, como el cálculo de su tamaño medio, que se estimó en 10^{-8} cm de diámetro (cien millones de átomos linealmente en un centímetro). El peso se dedujo de su tamaño, aunque según la materia de que se trate pueden ser muy ligeros (el hidrógeno) o muy pesados (la plata); de todas formas, un átomo de plata sólo pesa 10^{-24}gramos (cien mil trillones de átomos en cada gramo).

J. J. Thomson, junto a otros investigadores, descubrió en 1897 que los átomos no eran indivisibles como se creía, sino que podían ser separados en componentes más pequeños. Asimismo, descubrió la composición de los átomos y la existencia de otras partículas que orbitaban en la zona exterior denominadas *electrones*, cuya masa era mucho menor que la del *núcleo*; éste, por su parte, tenía carga positiva y su peso suponía casi la totalidad del átomo en conjunto. A pesar de que no fue capaz de determinar la composición del núcleo, quedaron las bases para posteriores investigaciones.

El átomo está formado de un núcleo de gran tamaño sobre el que flotan (orbitan) los electrones. Ernest Rutherford desarrolló en 1911 un modelo basado en un sistema solar en miniatura, en el que el núcleo era una estrella (un sol) y los electrones los planetas (ver Figura 1.1) [1] [2].

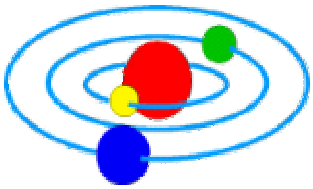


Figura 1.1 Modelo de Ernest Rutherford.
Tomada de [1]

En 1913 Niels Bohr enuncia una nueva teoría atómica consistente en un sistema con un núcleo alrededor del cual giraban los electrones, pero con órbitas que obedecían a ciertas reglas restrictivas. De acuerdo a estas reglas, sólo podrían existir un número determinado de órbitas y cada órbita tendría un nivel de energía, por tanto el electrón que ocupase una órbita concreta poseería la energía correspondiente a esa órbita. Asimismo, un electrón no podría saltar de una órbita a otra, salvo recibiendo una energía adicional igual a la diferencia de energía de

ambas órbitas; si un electrón cambiara de una órbita de energía superior a otra inferior, emitiría igual cantidad de energía en forma de *onda electromagnética*, que sería de espectro fijo para los mismos tipos de átomos (ver Figura 1.2).

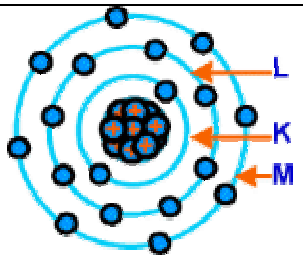
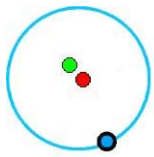


Figura 1.2 Modelo atómico de Niels Bohr. Tomada de [1]

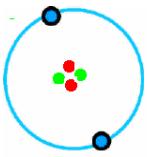
La teoría de Bohr, a pesar de los adelantos en las explicaciones sobre la estructura de la materia, también contenía errores, aunque hoy es aceptada en líneas generales. Los electrones deberían emitir energía al girar alrededor del núcleo, invalidando que las órbitas fueran de energía constante. La teoría de la *mecánica cuántica* vino a solucionar estas interrogantes, mediante la enunciación del principio de la dualidad *onda-partícula*, por la cual toda partícula puede comportarse igualmente como una onda. Estas teorías y estudios fueron fruto del desarrollo y aportaciones de muchos y notables científicos como Schrödinger, Heisenberg, Dirac, Planck, Louis de Broglie, etc.

Lo siguiente fue establecer el sistema de las órbitas electrónicas, esto es determinar la estructura del núcleo. En estado normal un átomo no posee carga eléctrica, sin embargo, se observó que la carga del núcleo era positiva y siempre múltiplo de la carga del electrón; así pues, se concluyó que el núcleo estaba compuesto por un conjunto de partículas, cada una de ellas con igual carga que la del electrón, pero positiva; esas partículas fueron denominadas *protones*, de acuerdo a esto, los átomos, en su estado fundamental, tienen el mismo número

de electrones que de protones para poder mantener una carga neutra (ver Figura 1.3).



Átomo de hidrógeno



Átomo de helio

Figura 1.3 Los átomos tienen el mismo número de protones y electrones.

En 1932 James Chadwick, de la Universidad de Cambridge, descubrió un nuevo elemento en el núcleo cuando estudiaba las colisiones entre partículas a alta velocidad, al que se le denominó *neutrón*. El neutrón es una partícula sin carga eléctrica de masa similar a la del protón. Quedó así definitivamente determinada la estructura fundamental del átomo.

El paso entre la determinación de la estructura de la materia y la teoría para la obtención de la energía nuclear por fisión lo dio Albert Einstein. Algunos experimentos realizados, y según el principio de conservación de la energía, demostraron que al bombardear un átomo pesado con otra partícula, las diversas partes en que se separaba el núcleo tenían en conjunto masas menores que la del núcleo original, liberándose por tanto una cantidad de energía. Si se aplicaba la fórmula de Einstein ($E = mc^2$) sobre la diferencia de masas, se observaba que los resultados eran coincidentes con los de la energía liberada [3].

En 1938-1939, Otto Hahn y Fritz Srassmann por un lado y Lisa Meitner y Otto Frisch por otro, descubrieron la facilidad con que podía ser dividido el núcleo del uranio mediante el choque de un neutrón, produciéndose más neutrones que podían dividir a su vez otros núcleos.

El Uranio es un mineral que se encuentra en la naturaleza en 150 formas diferentes, por lo que puede ser encontrado en forma primaria como Uranita, en forma oxidada o en forma refractaria [4].

El Uranio natural consta de 92 protones y tres isótopos distintos que contienen 142, 143 y 146 neutrones respectivamente, para poder distinguir entre los tres isótopos de Uranio, son sumados los neutrones y protones, dando como resultado el nombramiento de uranio 234, 235 y 238. De los tres isótopos únicamente el Uranio 235 es fisil, es decir puede ser utilizado como combustible Nuclear [5].

A partir del descubrimiento de la fisión del Uranio comenzó a desarrollarse la energía nuclear, superando las limitaciones para generar energía nuclear aprovechable, pero no fue si no hasta 1942 cuando comenzó a funcionar en la Universidad de Chicago el primer prototipo de reactor nuclear, construido por Enrico Fermi [1].

Sin embargo en la actualidad la mayoría de las personas continúan preguntando qué es la energía nuclear y de dónde proviene. En los párrafos siguientes se explica qué es, cómo y dónde se produce.

1.2 Conceptos Básicos sobre Energía Nuclear

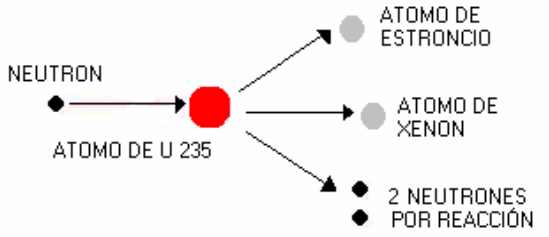
La energía nuclear se define como; la energía que es liberada por el resultado de una *reacción nuclear*. Durante esta reacción es liberada una gran cantidad de energía, debido a que una parte considerable de la masa de las partículas involucradas es transformada directamente en energía.

Una *reacción en cadena* es la parte fundamental en la generación de la energía nuclear. Durante ésta se efectúan procesos de transformación de núcleos atómicos, y consiste en que un neutrón con una determinada velocidad se impacta con algún núcleo de un átomo pesado (por ejemplo de Uranio), provocando su

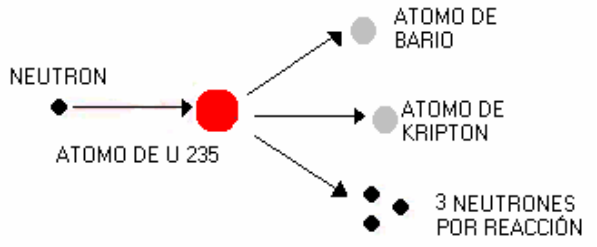
división en dos fragmentos, normalmente diferentes, y que depende de la energía del neutrón incidente (ver Figura 1.4). Dependiendo de los fragmentos que sean producidos por la división del núcleo, se liberan cierto número de *neutrones de fisión* los cuales inducen más fisiones en otros núcleos, liberándose una gran cantidad de energía. La figura 1.5 esquematiza el proceso de reacción en cadena.



Choque del neutrón con átomo de Uranio 235

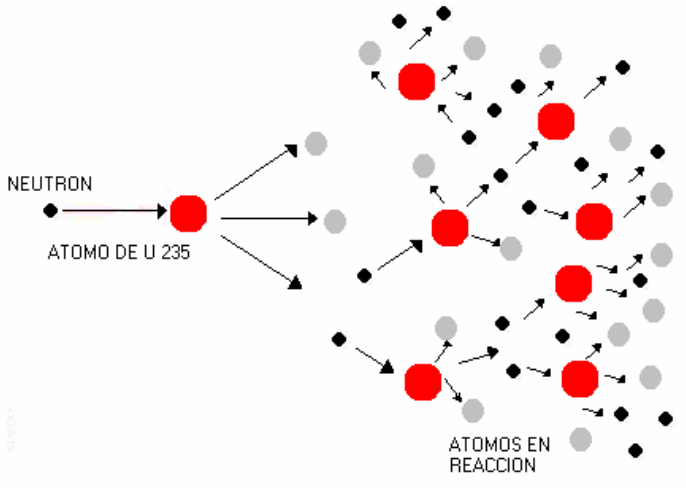


Partición del átomo de Uranio, en un átomo de Sr y otro de Xe, y la producción de 2 neutrones



Partición del átomo de Uranio, en un átomo de Ba y otro de Kr, y la producción de 3 neutrones

Figura 1.4 Fisión Nuclear



Reacción en Cadena repetida infinidad de veces

Figura 1.5 Reacción Nuclear en Cadena

Otra forma de obtener la energía nuclear es por medio de la *fusión nuclear*, consistente en la unión de dos núcleos atómicos muy livianos (Litio o Deuterio), formando de esta manera uno átomo más pesado (por ejemplo Helio), que posee mayor estabilidad. Durante este proceso son liberadas enormes cantidades de energía.

La fusión nuclear puede ser representada por el ejemplo mostrado en la Figura 1.6, en donde se muestra el esquema y la relación de equilibrio. Las diferencias entre los procesos de fisión y fusión se resumen en la Tabla 1.1.

$^{2}H + {}^{2}H \rightarrow {}^{3}He + 1n + 3{,}2\ MeV$

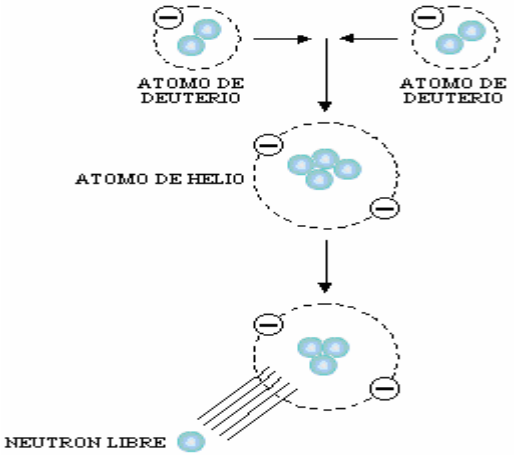


Figura 1.6 Fusión Nuclear. Tomada de [5]

Tabla 1.1 Diferencias entre Fusión y Fisión. Información tomada de [6]

Fisión	Fusión
Es producida cuando un núcleo pesado como el U – 235 es dividido en dos núcleos más ligeros.	Se produce mediante la unión de dos núcleos ligeros (Litio o Deuterio) para formar uno más pesado (Helio)
Son liberados dos o tres neutrones por la colisión de un neutrón con el núcleo de U – 235.	Se unen dos núcleos ligeros para formar uno más pesado
Se produce una reacción en cadena, generando energía.	Se produce en instalaciones que no operan de manera comercial
La energía generada por la Fisión Nuclear, es controlable actualmente y es utilizada para generar energía comercialmente	

En la actualidad la *fisión nuclear en cadena controlada* es el proceso por el cual se obtiene la energía nuclear en sistemas complejos denominados reactores nucleares. Para controlar la fisión nuclear en cadena, dentro del reactor existen unos elementos llamados *barras de control*, las cuales tienen como objetivo mantener la intensidad de la reacción en cadena, que se desarrolla dentro del reactor [6].

1.3 Reactores Nucleares

Un *reactor nuclear* es una instalación física donde se produce, mantiene y controla una reacción nuclear en cadena. Por lo tanto, en un reactor nuclear se utiliza un combustible adecuado que permita asegurar la normal producción de energía generada por las fisiones. Algunos reactores pueden disipar el calor obtenido de las fisiones en un gran volumen de agua, son utilizados principalmente en la investigación o en la producción de radioisótopos, otros sin embargo utilizan el calor para producir energía eléctrica, en cuyo caso se denomina *Central Nuclear*.

1.3.1 Elementos de una Central Nuclear.

La Figura 1.7 muestra el diagrama general de una central nuclear. A continuación se describen los principales componentes de una central nuclear.

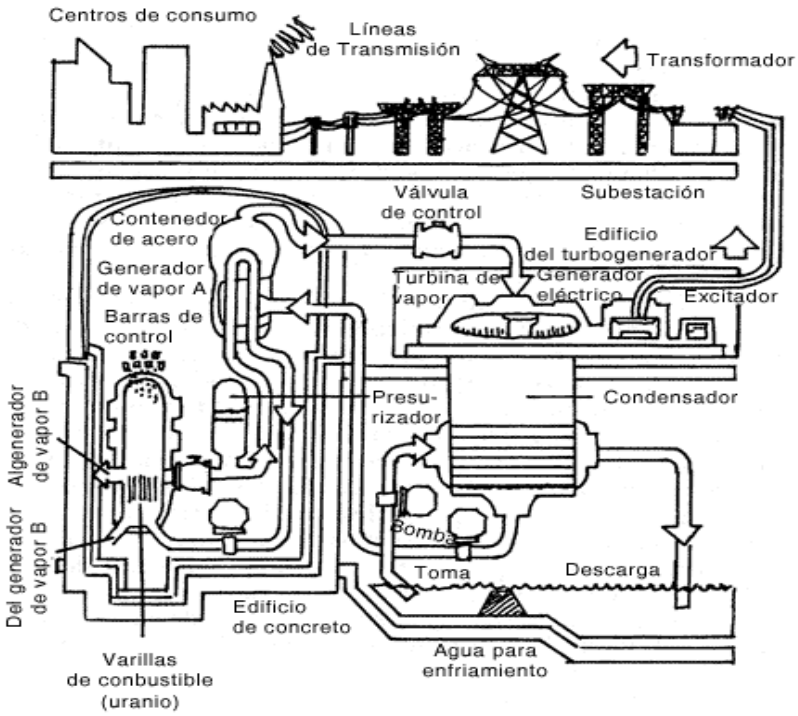


Figura 1.7 Diagrama de una Central Nuclear. Tomada de [13].

Núcleo

Está constituido por las Varillas de Combustible. El núcleo es refrigerado por un fluido, generalmente agua. En algunos reactores el núcleo se ubica en el interior de una piscina con agua a unos 10 a 12 metros de profundidad, o bien al interior de una vasija de presión construida en acero.

Barras de control

Todo reactor posee un sistema que permite iniciar o detener las fisiones nucleares en cadena. Este sistema lo constituyen las Barras de Control, capaces de capturar los neutrones que se encuentran en el medio circundante. La captura neutrónica evita que se produzcan nuevas fisiones de núcleos atómicos del Uranio. Generalmente las Barras de Control se fabrican de Cadmio o Boro. Si se desea disminuir la intensidad de la reacción bastara con insertar las barras de control entre los ensambles de combustible del núcleo. En caso de querer aumentar la

potencia del reactor, solo se tendrían que extraer las barras de control hasta lograr la potencia deseada

Moderador

El moderador está presente sólo en los denominados reactores térmicos. Es utilizado para *moderar*, es decir, para frenar los neutrones y lograr con esto una mayor efectividad en su interacción con los núcleos de Uranio-235 causando un mayor numero de fisiones. Se utilizan con este fin el agua ligera, el agua pesada y el grafito.

Vasija

La vasija del reactor contiene el núcleo con el combustible, el moderador, las barras de control y en algunos reactores, ciertos componentes del denominado sistema de suministro de vapor nuclear. Si los componentes están bajo presión se denomina la vasija de presión. Consiste normalmente de una estructura cilíndrica de acero inoxidable diseñada para soportar una gran presión así como las severas condiciones térmicas y de alta radiación imperantes.

Generador de vapor

Componente específico de algunos reactores (ver Reactor de Agua a Presión, PWR más adelante). Es un tipo de intercambiador de calor, donde agua calentada y a alta presión entra por el fondo y se dirige hacia arriba y luego hacia abajo a través de múltiples tubos en forma de “u” invertida. La superficie exterior de los tubos está en contacto con el agua de alimentación a baja presión que proviene del condensador. El calor se transfiere del agua caliente en el interior de los tubos causando ebullición del agua de alimentación y produciendo vapor. La sección del generador de vapor donde se produce el vapor se denomina sección del vaporizador. El vapor húmedo producido pasa al denominado *tambor de vapor* donde el vapor se seca en varios separadores de humedad antes de dirigirse a la turbina.

Presurizador

En un reactor PWR, debido a que el agua es esencialmente incompresible, ligeros cambios en el volumen del agua puede producir grandes cambios de presión que podría tener efectos adversos en el sistema. Asimismo, si por alguna razón disminuyera el volumen de refrigerante, la subsiguiente caída de presión resultaría en la vaporización de cierta cantidad de agua en el reactor, lo que podría dañar ciertos elementos del combustible. Para impedir esto, un reactor PWR está equipado con un *presurizador*. Un presurizador consiste de un tanque conteniendo vapor y agua en su sección superior e inferior respectivamente, con un aspersor que actúa por cambios de presión en la parte superior y con un calentador de inmersión en el fondo. Un incremento en la temperatura promedio del reactor provocaría un aumento en el volumen del refrigerante. La expansión del refrigerante eleva el nivel del agua en el presurizador, lo que provoca un aumento de presión y la actuación del aspersor, condensando una parte del vapor. Dicha acción limita entonces el incremento de presión. Por otro lado, si por alguna razón disminuye el volumen de agua en el presurizador, la presión disminuye, esto actúa el calentador provocando una mayor vaporización, limitando con esto la reducción de la presión [6][7].

Turbina

La turbina es el dispositivo rotativo que convierte en energía mecánica la energía de un afluente de vapor de agua o gas. El elemento básico es el rotor que se encuentra unido a palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal manera que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa al rotor y lo hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar movimiento a un generador.

Generador

La rotación de la turbina provocada por el vapor se transmite a un generador, el cual consiste de conductores eléctricos que giran en un campo magnético, produciendo electricidad [8].

Condensador

Consiste en una serie de tubos en cuyo interior circula el agua de enfriamiento. El vapor proveniente de la zona de baja presión de la turbina pasa por fuera de los tubos y se condensa, es decir, pasa nuevamente a su fase líquida.

Refrigerante

El calor generado por las fisiones se debe extraer del núcleo del reactor. Para lograr este proceso se utilizan fluidos en los cuales se sumerge el núcleo. El fluido no debe ser corrosivo, debe poseer gran poder de absorción calorífico y tener pocas impurezas. Se puede utilizar de refrigerante el agua ligera, el agua pesada, el anhídrido carbónico, etc.

Contención

Está constituido por una serie de barreras múltiples que impiden el escape de la radiación y de los productos radiactivos. La primera barrera, en algunos reactores, es un material cerámico de dióxido de Uranio utilizado como combustible. La segunda barrera es la estructura que contiene al Uranio, es decir, se trata de las barras de combustible.

La tercera barrera es la vasija que contiene el núcleo del reactor. En los reactores de potencia se denomina vasija de presión y se construye de un acero especial con un revestimiento interior de acero inoxidable.

La cuarta barrera la constituye el edificio que alberga al reactor en su conjunto. Se conoce con el nombre de "Edificio de Contención" y se construye de hormigón armado de, a lo menos, 90 cm de espesor. Se utiliza para prevenir posibles escapes de productos radiactivos al exterior, resistir fuertes impactos internos o externos, soportar grandes variaciones de presión y mantener una ligera depresión en su interior que asegure una entrada constante de aire desde el exterior, de tal forma de evitar cualquier escape de material radiactivo.

Toda central nuclear se diseña y construye bajo el concepto de defensa a profundidad, es decir, se privilegia ante todo la seguridad de toda instalación. Se busca reducir al mínimo posible toda exposición a las radiaciones de su personal, no sólo en caso de accidente sino durante la operación normal de la planta.

1.3.2 Tipos de Centrales Nucleares.

Los tipos de centrales nucleares se pueden clasificar de acuerdo al tipo de reactor utilizado para generar el calor requerido para producir la electricidad. Los principales tipos son:

Reactor de agua a presión (PWR, Presurized Water Reactor)
Son los más utilizados del mundo. Disponen de un reactor térmico, moderado y refrigerado por agua, y utilizan como combustible UO_2.

Este tipo de centrales tienen dos circuitos de refrigeración completamente aislados entre sí denominados primario y secundario. El agua del circuito primario pasa por el interior de los tubos en forma de U del generador de vapor. Dentro de este generador de vapor circula agua de refrigeración del circuito secundario, de forma que nunca se mezcla con el agua del primario.

El agua del circuito secundario absorbe el calor del agua del circuito primario y se convierte en vapor. Éste se hace incidir sobre los álabes de una turbina, la cual al girar mueve un alternador que produce energía eléctrica.

Además existe un tercer circuito de refrigeración exterior que es el único cuya agua tiene contacto con el medio ambiente circundante. La Figura 1.8 muestra un esquema de un reactor de este tipo. Las partes que lo forman son: (1) núcleo, (2) barras de control, (3) generador de vapor, (4) presurizador, (5) vasija, (6) turbina, (7) alternador, (8) bomba de alimentación, (9) condensador, (10) agua de refrigeración y (11) contención.

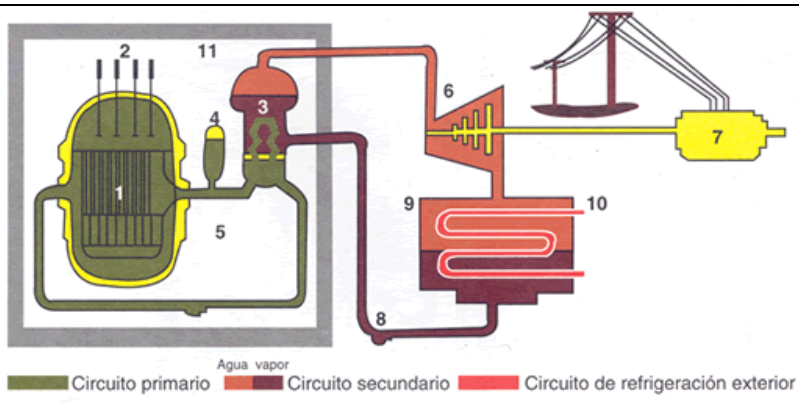


Figura 1.8 Reactor de Agua a Presión. Tomada de [3]

Reactores de agua en ebullición (BWR, Boiling Water Reactor)

Como en el caso de los reactores PWR, también utilizan el agua como refrigerante y moderador y el dióxido de uranio como combustible.

Se diferencian de los anteriores en que el generador de vapor se encuentra incorporado al reactor de forma que el agua refrigerante se convierte en el vapor que mueve la turbina. Por tanto sólo dispone de un circuito de refrigeración.

La Figura 1.9 muestra un esquema de un reactor de este tipo. Las partes que lo forman son: (1) núcleo, (2) barras de control, (3) separadores de vapor, (4) secadores de vapor, (5) vasija, (6) turbina, (7) alternador, (8) bombas de alimentación y recirculación, (9) condensador, (10) agua de refrigeración y (11) contención.

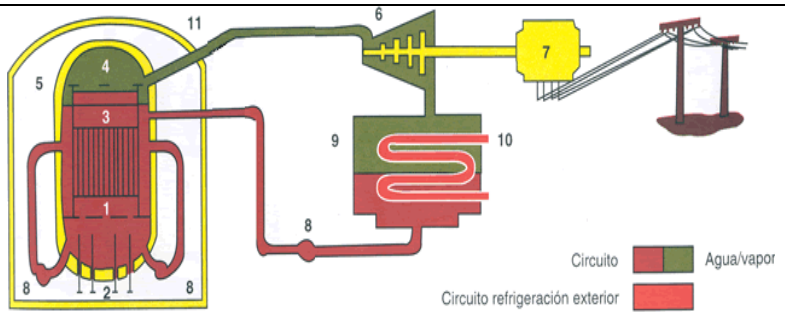


Figura 1.9 Reactor de Agua en Ebullición. Tomada de [3]

Reactores refrigerados por gas

Los reactores de alta temperatura refrigerados por gas (HTGR) se vienen desarrollando desde hace mucho tiempo, y aunque ya se han construido varias centrales prototipo o de demostración, no se ha logrado tener pleno éxito en su explotación. El HTGR es básicamente un reactor moderado por grafito con un gas (Helio, He) como refrigerante. El gas He inerte y el diseño especial del combustible hacen posible su funcionamiento a temperaturas considerablemente superiores a las de los reactores refrigerados por agua, lo que permite, a su vez, producir a una temperatura (y presión) mucho más alta el vapor destinado a los generadores convencionales accionados por turbina de vapor, lográndose así una mejora considerable de la eficiencia térmica de la central, o producir calor industrial en régimen de alta temperatura para aplicaciones especiales.

En los últimos años, los trabajos de desarrollo se han centrado en unidades modulares pequeñas, visto que los experimentos y análisis han demostrado que dichas unidades pueden lograr un grado excepcional de autoprotección.

El combustible HTGR está contenido en partículas de combustible. Estas partículas miden entre 0,2 y 0,6 mm y consisten en una mezcla de óxido o carburo de uranio o torio o uranio/torio. A fin de retener los productos de fisión, cada partícula está revestida con varias capas de material cerámico resistente a altas temperaturas. Las partículas se dispersan de manera homogénea en una matriz de grafito que se comprime ulteriormente en elementos esféricos, bolas, o en forma de barras, que se introducen en los canales de combustible de un bloque de grafito de agujeros múltiples. Las partículas permanecen intactas y retienen prácticamente todos los productos de fisión hasta una temperatura de unos 1600 ºC. Estas partículas no se funden a una temperatura umbral y sólo fallan gradualmente en condiciones de accidente; por lo tanto, no se puede producir una liberación súbita de los productos de fisión.

Los futuros trabajos de desarrollo de los HTGR se centrarán en los estudios para mejorar el comportamiento y prolongar la vida útil de las centrales. Con respecto a lo primero, actualmente se realizan considerables esfuerzos en relación con el denominado ciclo de turbina de gas, en el que el gas en régimen de alta temperatura pasa directamente a una turbina de gas, lo que permite obtener una eficiencia térmica muy elevada y prever costos energéticos reducidos, así como en lo que atañe a la producción de calor industrial en régimen de muy alta temperatura.

La Figura 1.10 muestra un esquema de un reactor enfriado por gas. Las partes principales que lo caracterizan (ver Figura 1.10) son: (1) barras de control, (2) envolvente de concreto, (3) elementos combustibles, (4) moderador de grafito, (5) vasija, (6) generador de vapor [10].

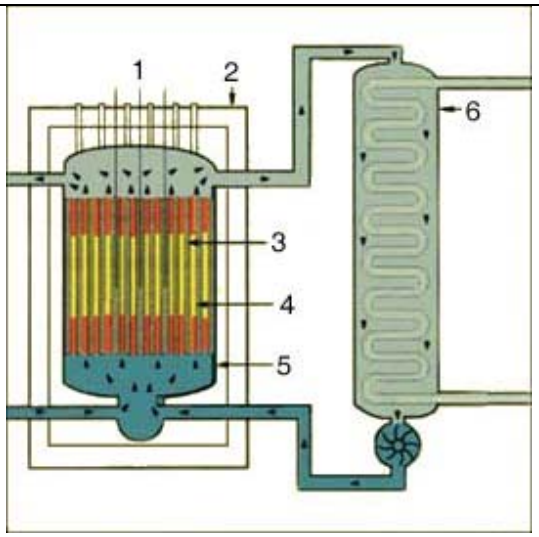


Figura 1.10 Reactor Refrigerado por Gas (Fuente: AEA Technology)

Reactores rápidos

Los reactores rápidos utilizan neutrones rápidos en apoyo del proceso de fisión, contrariamente a los reactores refrigerados por agua y por gas, los cuales utilizan neutrones térmicos. Los reactores rápidos se conocen también generalmente como reproductores, ya que producen combustible, además de consumirlo. La

reproducción de plutonio permite a los reactores rápidos extraer 60 veces más energía del uranio que los reactores térmicos por lo que podrían resultar económicos y ventajosos para los países que no disponen de abundantes recursos de uranio.

Los reactores rápidos están refrigerados normalmente por metal líquido (sodio), por lo que se denominan reactores rápidos refrigerados por metal líquido (LMFR). Se han diseñado, construido y explotado con éxito centrales LMFR, tales como el BN-600 en Rusia, el Phénix de 250 MWe en Francia, y el Monju de 280 MWe en el Japón.

Los nuevos trabajos de desarrollo de los reactores rápidos se centran en los requisitos económicos y de seguridad revisados para la próxima generación de centrales nucleares. Prosiguen igualmente los trabajos encaminados a mejorar el grado de quemado y la tecnología de reciclado del combustible, a fin de reducir las cantidades de desechos radiactivos producidos en las centrales.

Actualmente se encuentran en estudio varios tipos distintos de LMFR, así como el empleo más amplio de sistemas pasivos para lograr una mayor seguridad; entre éstos se encuentran el BN-800M de Rusia, el DFBR del Japón, y el PFBR de la India. También existe un diseño de LMFR avanzado de pequeña y mediana potencia, desarrollado por la General Electric de los Estados Unidos de América. Este concepto de Reactor Avanzado de Metal Líquido (ALMR) incorpora dispositivos de seguridad pasiva, e incluye instalaciones de gestión y reelaboración de desechos, así como la fabricación de combustible en el emplazamiento de la central, formando un sólo parque nuclear a fin de minimizar los riesgos de proliferación de materiales fisionables. Entre otros reactores rápidos avanzados figura el Reactor Rápido Europeo (EFR), que podría llegar a ser ampliamente utilizado para el reciclado de plutonio y la producción de electricidad.

La Figura 1.11 muestra un esquema de un reactor rápido de cría. Las partes principales que lo caracterizan son: (1) envolvente de concreto, (2) núcleo de plutonio-uranio, (3) intercambiador de calor, (4) circuito secundario de sodio líquido, (5) circuito terciario de agua, (6) sodio líquido, (7) envolvente del núcleo [10].

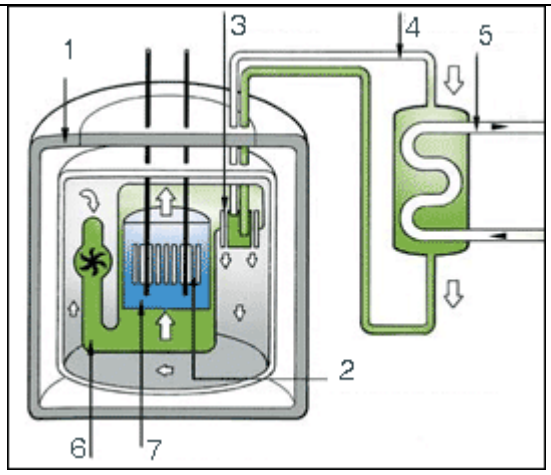


Figura 1.11. Reactor Rápido de Cría (Fuente: AEA Technology)

Central con reactor de agua pesada.

En el periodo inicial del desarrollo de la energía nuclear, en los primeros años de la década de 1950, sólo disponían de uranio enriquecido Estados Unidos y la Unión de Repúblicas Soviéticas Socialistas (URSS). Por ello, los programas de energía nuclear de Canadá, Francia y Gran Bretaña se centraron en reactores de uranio natural, donde no puede emplearse como moderador agua normal porque absorbe demasiados neutrones.

Esta limitación llevó a los ingenieros canadienses a desarrollar un reactor enfriado y moderado por *agua deuterada o pesada* (D_2O) El sistema de reactores canadienses de deuterio-uranio (CANDU), empleado en 20 reactores, ha funcionado satisfactoriamente, y se han construido centrales similares en la India, Argentina y otros países.

Un central CANDU es muy similar a una central del tipo PWR. Las principales diferencias se encuentran en la configuración del núcleo. La figura 1.12 muestra esquemáticamente la configuración del núcleo para un reactor CANDU-6. Las partes principales que lo caracterizan (ver Figura 1.12) son: (1) Calandria, (2) tapa terminal de la calandria, (3) barras de control y de apagado, (4) inyectores de veneno líquido, (5) ensambles de combustible, (6) tubos de alimentación, (7) envolvente del núcleo [11].

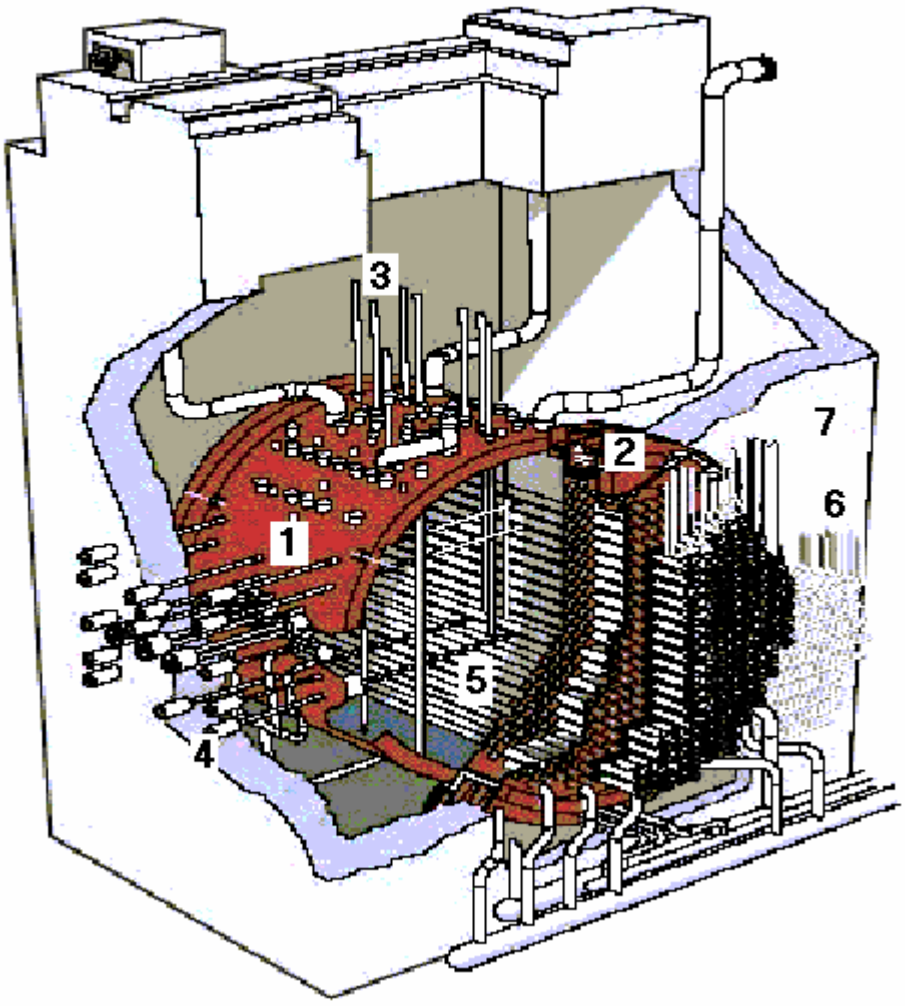


Figura 1.12. Reactor CANDU-6). Tomada de [4].

1.4 Beneficios de la Energía Nuclear

La energía nuclear en el mundo ha colaborado considerablemente con el avance tecnológico, haciendo importantes aportaciones en muy diversas áreas, en los siguientes párrafos se mencionan algunas áreas y se proporcionan algunos ejemplos.

En el área de la agricultura y la alimentación, por ejemplo, se tiene las siguientes aportaciones.

- Control de plagas: En esta área se aplica una técnica nuclear, denominada "Técnica de los Insectos Estériles (TIE)", consistente en aplicar altas emisiones de radiación a insectos machos, provocando su esterilidad, para posteriormente dejarlos en libertad y estos puedan aparearse con la población de hembras, teniendo como consecuencia decadencia en la población de la plaga.

- Irradiación de semillas: La utilización de energía nuclear para la Irradiación de semillas, permite cambiar la información genética de ciertas variedades de plantas y vegetales de consumo humano. Esta técnica permite obtener nuevas variedades de especies, con características que permitan un aumento en la resistencia y productividad del producto.

- Conservación de alimentos: Consiste en irradiar los alimentos. Es importante señalar que la irradiación de los alimentos no genera ninguna clase de efectos secundarios en la salud humana, por lo contrario ayuda a reducir de forma considerable el número de infecciones y enfermedades. En México dicha técnica es aplicada en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), ubicada en la carretera México – Toluca, donde existe un irradiador comercial (*rayos gamma de* Co^{60}).

No cabe duda que un área donde la incursión de la energía nuclear ha marcado un gran avance tecnológico es la medicina, a continuación se mencionan algunas de las más importantes aportaciones.

- Radiovacunas: Este tipo de vacunas permite combatir enfermedades parasitarias, permitiendo, erradicar en gran medida el peligro de reinfección, después de una operación.

- Radiaciones y radioisótopos: Son utilizados como agentes terapéuticos y de diagnóstico. Para el diagnóstico son utilizados radiofármacos, para realizar estudios de Tiroides, Hígado, Riñón, Metabolismo, Circulación sanguínea, Corazón, Pulmón, Tracto gastrointestinal, etc. Los radiofármacos permiten combatir ciertos tipos de cáncer de manera oportuna.

- El uso de radiaciones en la medicina, permite estudiar, mediante imágenes bidimensionales (centelleografía) o tridimensionales (tomografía), el estado de diversos órganos del cuerpo humano.

En relación a estudios del medio ambiente existen algunas aportaciones, un ejemplo de ello es el siguiente:

- Análisis de Activación Neutrónica: Consiste en irradiar una muestra, (biológica, mineralógica, metalúrgica), para posteriormente analizar, por ejemplo el nivel de contaminantes.

Otro sector es el de la industria y la investigación en donde la energía nuclear incursiona en:

- Producción y utilización de Trazadores: Consiste en elaborar sustancias radiactivas, que permiten detectar la trayectoria de una sustancia por medio de la emisión radiactiva. Entre otras variables, pueden ser determinadas caudales de fluidos, filtraciones, velocidades en tuberías, dinámica del transporte de materiales, cambios de fase de líquido a gas, velocidad de desgaste de materiales, etc.

- Instrumentación: En esta área se crean radioisótopos que permiten realizar mediciones sin contacto físico directo.

- Imágenes: En la actualidad se obtienen imágenes de estructuras internas utilizando radiografías con el uso de rayos gamma o por medio del flujo de neutrones. Estas imágenes son de gran utilidad en la industria como método no destructivo de control de calidad, ya que se puede comprobar la calidad en soldaduras estructurales, en piezas metálicas fundidas, en piezas cerámicas, para análisis de humedad en materiales de construcción, etc.

- Datación: Son técnicas isotópicas que se emplean para determinar la edad en formaciones geológicas y arqueológicas basado en el proceso de decaimiento radiactivo de ciertos radioisótopos naturales como el carbono-14 y el potasio-40, rubidio-87, etc.

- Investigación en ciencias de materiales: Para la investigación de materiales, son utilizados haces de neutrones generados por reactores. Por ejemplo es posible obtener información respecto de estructuras cristalinas, defectos en sólidos, estudios de monocristales, distribuciones y concentraciones de elementos livianos en función de la profundidad en sólidos, etc [9].

Estos son sólo algunos de los beneficios de la energía nuclear, que contribuyen en el desarrollo de la tecnología, economía e investigación en el mundo y nos proporcionan hoy por hoy una mejor calidad de vida.

1.5 La Energía Nuclear en México

En México existen Instituciones que se dedican tanto al área de la investigación como a la aplicación, seguridad y generación de la energía nuclear. A continuación se mencionan las principales Instituciones en México dedicadas a este ámbito, así como sus principales actividades.

- **C. N. S. N. S. (Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias):** Se encuentra ubicada en Dr. José María Barragán No. 779, Col. Narvarte, Delegación Benito Juárez, México, y fue creada en 1979 con la publicación en el Diario Oficial de la Federación, de la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear.

Sus principales tareas son: establecer y vigilar la aplicación de las normas y de los reglamentos tanto de seguridad nuclear, como radiológica, física y las salvaguardias, para poder llevar a cabo el funcionamiento de instalaciones nucleares y radiactivas, así como que sean llevados a cabo con la máxima seguridad, el uso, manejo y transporte del material nuclear y radiactivo, tanto por los usuarios directos como por el público en general.

Algunas de las actividades que realiza la C. N. S. N. S. son las siguientes:

- Elaboración de Normas y Reglamentos.
- Extensión de licencias de Instalaciones Nucleares y Radiactivas.
- Evaluación de Programas de Garantía de Calidad y de Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental.

- Realización de auditorías, supervisiones, visitas técnicas, inspecciones y verificaciones a instalaciones nucleares y radiactivas.
- Realización de inspecciones y auditorías para corroborar la seguridad física y salvaguardias.
- Evaluación y Extensión de licencias de operadores de instalaciones nucleares.
- Expedición de licencias y permisos para la importación, uso, transporte y almacenamiento de materiales radiactivos.
- Evaluación y expedición de licencias de depósitos definitivos para desechos radiactivos.
- Participación en convenios de asistencia técnica y cooperación internacional.
- Ejecución de proyectos de investigación y desarrollo [12].

C.F.E.-C.N.L.V. (Comisión Federal de Electricidad - Central Nucleoeléctrica Laguna Verde): En el ámbito Nuclear CFE es propietario de la Central Nucleoélectrica de Laguna Verde. (C.N.L.V.) que se encuentra localizada sobre la costa del Golfo de México, en el municipio de Alto Lucero, estado de Veracruz. En ella se encentran dos unidades, cada una posee una capacidad de 682.44 MWe (Mega Watts eléctricos); los reactores son tipo agua en ebullición de ciclo directo (BWR-5) y poseen una contención tipo Mark II. Ambas unidades representan el 3.12% de la capacidad efectiva instalada de CFE, dando una aportación del 5.23% de Energía eléctrica nacional al año 2003 [13].

U. N. A. M. (Universidad Nacional Autónoma de México): Hoy en día es la máxima casa de estudios en México y Latinoamérica. En la actualidad la UNAM posee diversos institutos y centros dedicados al estudio e investigación en donde se aplican diversos aspectos relacionados con la energía nuclear. Los principales son mostrados en la tabla 1.2 [14]-[16].

TABLA 1.2 Institutos y Centros de Investigación en la UNAM donde se aplican diversos aspectos relacionados con la energía nuclear.

Institutos o Centros de investigación	Departamento, Área de Investigación o aplicaciones	Equipo o material	Ubicación
Centro de Ciencias Físicas	Física Atómica, Molecular y Óptica. Física Teórica	Acelerador Fuente de Electrones Fuente de Iones	Campus Morelos
Centro de Ciencias Genómicas/Instituto de Biotecnología	Ecología Molecular y Microbiana, Evolución Molecular y Biología Molecular de plantas, Ingeniería metabólica. Ingeniería celular y biocatálisis	Equipo de medición y Trazadores radiactivos	Campus Morelos
Instituto de Ciencias Nucleares	Estructura de la Materia, Física de Altas Energías, Física de Plasmas y de Interacción de Radiación con Materia, Gravitación y Teoría de Campos, Química de Radiaciones y Radioquímica	Laboratorio y equipo para mediciones nucleares y de radioisótopos, Irradiador de Co^{60}, Fuente de Neutrones	Ciudad Universitaria
Instituto de Física	Física Experimental, Física Teórica, Física Química, Estado Sólido, Materia Condensada, Sistemas Complejos,Física Médica	Acelerador Peletrón, Acelerador Van de Graff, Laboratorios de dosimetría, preparación de muestras, instrumentación nuclear, gotatrón	Ciudad Universitaria
Instituto de Geofísica/Geología	Geofísica Nuclear, Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica, Química Analítica, Paleomagnetismo y Geofísica	Laboratorio de isótopos pesados(Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb), Laboratorio de K-Ar, Laboratorio de Isótopos estables (O, C), espectrómetro de masas, fluorescencia de rayos X.	Ciudad Universitaria
Facultad de Medicina	Edificio de Investigación Unidad PET-Ciclotrón	Tomografía por Emisión de Positrones	Ciudad Universitaria
Facultad de Química Facultad de Ciencias Facultad de Ingeniería Instituto de Física Centro de Ciencias Físicas Instituto de Ciencias Nucleares Centro de Investigación en Energía	Posgrado en Ciencias Químicas Posgrado en Ciencias Físicas Posgrado en Ingeniería	Laboratorios, instrumentación, hardware y software especializado	Ciudad Universitaria Temixco y Jiutepec, Morelos

Además de los anteriores Centros e Institutos de Investigación, la Facultad de Ingeniería cuenta con un grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico en el campo de la Ingeniería Nuclear (Grupo de Ingeniería Nuclear, GRIN). El GRIN cuenta con el Laboratorio de Análisis en Ingeniería de Reactores Nucleares, LAIRN) ubicado en Jiutepec, Morelos. El GRIN tiene como misión el realizar y promover la formación de recursos humanos mediante la docencia, la investigación y el desarrollo tecnológico en el campo de la Ingeniería Nuclear y ciencias afines, para fomentar el uso de la energía nuclear en beneficio de la sociedad [17].

- **I. P. N. (Instituto Politécnico Nacional). Escuela Superior de Físico Matemáticas** (**ESFM**): Es una institución educativa laica, gratuita, dedicada a la generación, aplicación, difusión y transferencia del conocimiento científico y tecnológico, es creada para contribuir al desarrollo económico, social y político de la nación. En el **Departamento de Ingeniería Nuclear** se imparte la Maestría en Ingeniería Nuclear. Este departamento cuenta con laboratorios de medición e instrumentación nuclear y el laboratorio del reactor nuclear, en el cual existe un conjunto subcrítico Chicago Modelo 9000, esto es un dispositivo que consta principalmente de combustible de uranio natural metálico, moderado por agua ligera y una fuente de plutonio-berilio [18].

- ININ (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares): Nace el 1º de Enero de 1956 bajo el nombre de Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) e inició sus labores con los siguientes programas; Física nuclear, Educación y Capacitación, Seminarios, Reactores, Radioisótopos, Aplicaciones Industriales de la radiación, Agronomía, Genética y Protección Radiológica. Más tarde cambia su nombre en el año de 1972 por el de Instituto Nacional de Energía Nuclear, pero no fue sino hasta el año de 1979, que con la emisión de la Ley Nuclear (reglamentaria del artículo 27 constitucional sobre la materia), la institución se transformó para crear la Comisión

Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Uranio Mexicano (ya desaparecida) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (que nunca entró en función), de esta manera nace el actual Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, quien tiene como objetivo; planear y realizar investigación así como desarrollo en el campo de las ciencias y tecnologías nucleares, además de promover los usos pacíficos de la energía nuclear y difundir los avances para vincularlos al desarrollo económico, social, científico y tecnológico del país. Cuenta con diversas instalaciones nucleares entre las que destacan el Reactor Experimental TRIGA Mark-III, el Acelerador Tandem y una planta industrial de irradiación gamma de Co^{60}. Se encuentra ubicado en el Km. 36.5, Carretera México-Toluca, Mpio. de Ocoyoacac, Edo. de México [19].

- **Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ)**. **Centro Regional de Estudios Nucleares, CREN:** Imparte la Maestría en Ciencias Nucleares con orientaciones terminales en Ingeniería Nuclear, Técnicas Analíticas Nucleares e Instrumentación Nuclear. Cuenta con laboratorios de instrumentación nuclear y con un ensamble subcrítico Chicago Modelo 9000. Este centro se encuentra ubicado en Calle Ciprés #10 Fracc. La peñuela Col centro, Zacatecas [20].

- **Universidad Autónoma del Estado de México.** La Facultad de ciencias junto con el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) imparte la maestría y doctorado en ciencias con opción en Ciencias Nucleares. Las áreas de investigación son: generación de técnicas innovadoras de análisis para la solución de problemas ambientales, determinación cuantitativa multielemental, destrucción de desechos peligrosos, estudios de fenómenos geofísicos y solución de problemas en arqueología, entre otros. La Facultad de Medicina junto con el ININ imparte la maestría y doctorado en ciencias con especialidad en Física Médica. Las áreas de investigación son:

Radioterapia, Radiología Diagnóstica, Medicina Nuclear y Seguridad y Protección Radiológica [21].

- **Instituto de Investigaciones Electricas (IIE).** En la Gerencia de Energía Nuclear se tienen las áreas de Modelado de Procesos Nucleares y Tecnología de la Seguridad Nuclear. En la Gerencia de Simulación se desarrollan simuladores de entrenamiento de operaciones y prueba de equipos. Esta institución tuvo a su cargo el desarrollo del Simulador de Entrenamiento para la Central Laguna Verde. El IIE se encuentra localizado en Temixco Morelos [22].

Es importante mencionar que en todo el país existen diversas instituciones públicas y privadas en donde la utilización de técnicas nucleares así como la utilización de radioisótopos ocupan un lugar importante en las áreas de diagnóstico y tratamiento médico, desarrollo en la agricultura, pesca y ganaderia, diagnóstico y mediciones en equipo industrial, etc. Una descripción de estas instituciones no se considera necesaria en el presente trabajo de tesis.

1.6 Conocimiento de la Energía Nuclear en México

El conocimiento de la población en general en México sobre la energía nuclear, a diferencia de otros lugares del mundo, es escaso ya que las personas la perciben con riesgos mucho más altos que los calculados por los mismos expertos en este campo. Este hecho demuestra la importancia de difundir información al respecto, ya que es de considerarse que la energía nuclear puede tener un alto impacto en el desarrollo del campo energético en México.

En la población adulta la percepción acerca de la energía nuclear es errónea, debido a que es comúnmente relacionada con accidentes, desastres y guerras, como es el caso del accidente de Chernobyl y la bomba atómica, haciendo que la divulgación y aceptación de esta fuente de energía sea aun más difícil. Aunque las

labores de divulgación se han intensificado y las aplicaciones en los campos en los que ha incurrido este tipo de energía se han incrementado, las personas no alcanzan a comprender los grandes beneficios que traería una amplia explotación de esta fuente energética, que a comparación de otros energéticos (petróleo, carbón, agua y gas) tiene un menor impacto en el ambiente.

En cuanto a la población infantil existen modificaciones en los programas educativos, las cuales pretenden integrar el conocimiento, y en consecuencia la aceptación, de la energía nuclear como un campo energético de gran valor. En la actualidad en los libros de enseñanza primaria y secundaria se enseñan de manera básica conceptos primordiales del funcionamiento y obtención de la energía nuclear en México.

En México existen varios grupos de investigadores de alto nivel con formación en física e ingeniería nuclear, producto de una tradición de alrededor de cinco décadas en las que la física nuclear, tanto teórica como experimental, ha sido parte esencial y en ocasiones símbolo y motor de la ciencia mexicana, con una contribución fundamental a la formación de recursos humanos de alto nivel. Sin embargo para satisfacer las necesidades en un escenario en el que la industria nuclear juegue un papel decisivo en un plano energético nacional es necesario formar muchos más. Puesto que la presencia de la energía nuclear en el mundo es grande, es clara la importancia de que haya mucha más gente que la entienda en toda sociedad, en particular en la sociedad mexicana.

Después del holocausto de Hiroshima, es decir después del 6 de agosto de 1945, los líderes y los pueblos del mundo confrontaron un nuevo código ético para la humanidad. En 1945 el mundo conoció, de una manera cruel y con actitud horrorizada, el poder destructivo que la energía nuclear tiene cuando es usada para dichos fines. La realidad de la época y el enfrentamiento de los bloques regionales hicieron que esta energía fuera inicialmente usada con fines bélicos.

En abril de 1963 México, bajo el mandato del Presidente Adolfo López Mateos firmó conjuntamente con los presidentes de Bolivia, Brasil, Chile y Ecuador, la Declaración sobre la Desnuclarización de la América Latina base fundamental del de Tratado de Tlatelolco, auspiciado por el Organismo para la Proscripción de las Armas Nucleares en la America Latina y el Caribe, OPANAL. En dicho tratado, los gobiernos de los países sustentantes se comprometerían a no fabricar, recibir, almacenar, ni ensayar armas nucleares o artefactos de lanzamiento nuclear, a fin de que la América Latina fuera reconocida lo más pronto posible como una zona desnuclearizada. El 27 de noviembre del mismo año, en asamblea general, la Organización de las Naciones Unidad, ONU, reconoció los preceptos contenidos en el Tratado de Tlatelolco, y el 5 de Diciembre de 1967, también en asamblea general, la ONU emite la resolución 2286, la cual prohíbe las armas nucleares en Latinoamérica. Actualmente se han adherido al Tratado de Tatelolco muchos otros países incluyendo, Estados Unidos, Inglaterra, Francia, Rusia y China, la cuales, como es sabido, son potencias con armamento nuclear [23].

México también ha firmado y ratificado otros tratados internacionales, como el Tratado de no Proliferación Nuclear (TNP) en 1969, y el Tratado para la Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (CTBT) en 1996. Esta visión y actitud pacifista de México debiera ser garante y promotor de la energía nuclear para fines no bélicos.

Otro hecho importante mediante el cual se puede lograr una mayor aceptación en el público en general es el que surge de la gran seguridad que existe en las plantas nucleares comerciales para la generación de electricidad, en la que existe más alta garantía de que los productos de fisión están confinados y no pueden ser liberados al medio ambiente en niveles de radiactividad dañinos a la salud humana.

La energía nuclear se encuentra situada en un punto en donde es crucial ganar la aceptación del público. Para ello es necesario difundir, así como satisfacer los requisitos técnicos, institucionales e internacionales para su adecuada utilización.

La base para una mayor aceptación pública debe recaer en el entendimiento informado sobre los beneficios y riesgos de la energía nuclear, así como en respaldar la credibilidad de la información y de las organizaciones que la proveen. Para que esta credibilidad pueda ser lograda es necesario proveer de explicaciones lógicas y objetivas así como hacer énfasis en los logros en materia de seguridad y aspectos económicos. Es también necesario que la información sea ofrecida en forma expedita y precisa además de involucrar a las personas en la toma de decisiones.

La información debe ir dirigida a tres tipos de población:

1. Al público en general: quienes forman la base de la opinión pública
2. Líderes de opinión: personas que afectan a la opinión pública, como las involucradas en los medios masivos de comunicación, educadores y expositores.
3. Las comunidades aledañas a las plantas nucleares.

La información que se proporciona a las tres poblaciones mencionadas es diferente. A continuación se menciona cómo debe ser estructurada dicha información:

- Información al público. Debe ser dirigida a reducir o acabar con la preocupación del mismo en relación a los efectos de la radiación en los seres vivos y el medio ambiente. Es esencial una comunicación que permita que el receptor entienda claramente, debe ser sincera además de compartir los sentimientos y el empleo de términos de uso común.

- Líderes de opinión. El entendimiento en estas personas debe ser amplio ya que se encuentran en continuo contacto con los jóvenes quienes representan la siguiente generación de adultos, por lo tanto, debe

asegurarse que éstos se formen un juicio veraz con respecto del uso de la energía nuclear.

- Comunidades aledañas a las plantas nucleares. La información dada a estas personas se plantea de manera previa a la selección del sitio de la instalación de una planta nuclear. Aunque es bien sabido que los gobiernos estatales y federales garantizan que una planta nuclear pueda coexistir con la región que le rodea; es necesaria una comunicación continua después de la selección del sitio, además de incluir la distribución de información relacionada con las plantas en operación [24].

Dada la importancia que conlleva el estudio, proyección y difusión de la energía nuclear, sus beneficios y aportaciones en el desarrollo de nuestro país, el presente trabajo pretende contribuir a que se logre un mayor entendimiento de esta fuente energética en México.

CAPÍTULO II

Percepción Visual, Pedagogía, Aprendizaje y Principios de Ingeniería de Factores Humanos

El presente capitulo surge como una inquietud de conocer los procesos básicos de la percepción visual y el origen del significado de los colores y de las emociones que éstos son capaces de transmitir tomando en cuenta que los significados de cada color son dependientes de la cultura y/o de percepción de la persona. También se incluye un pequeño resumen sobre la pedagogía y las formas de aprendizaje del ser humano. Finalmente se mencionan las principales características de los despliegues de información dinámica y estática tomando en consideración aspectos de Ingeniería de Factores Humanos.

2.1 Percepción Visual

La percepción visual ha sido estudiada desde tiempos remotos debido a que muchos de los estímulos que recibimos a diario son captados por el sentido de la vista, dando como resultado la modificación en el comportamiento humano. Debido a esto uno debe examinar a detalle las imágenes de los objetos que percibimos, así como las características que los conforman.

Lo primero es describir cómo se lleva a cabo el proceso visual en los humanos, de aquí surge la pregunta ¿cómo tiene lugar la visión? La visión es generada a través de un Proceso Perceptivo (ver Figura 2.1), las fases de este proceso se mencionan a continuación:

1.- La luz alcanza al objeto y lo refleja en nuestro ojo.
2.- Se forma una imagen del objeto en la retina.
3.- Se generan señales en los receptores de la retina.
4.- Se transmiten impulsos eléctricos en dirección al cerebro a través de los nervios.
5.- Los impulsos eléctricos alcanzan al cerebro y son procesados por éste.
6.- Por último percibimos el objeto

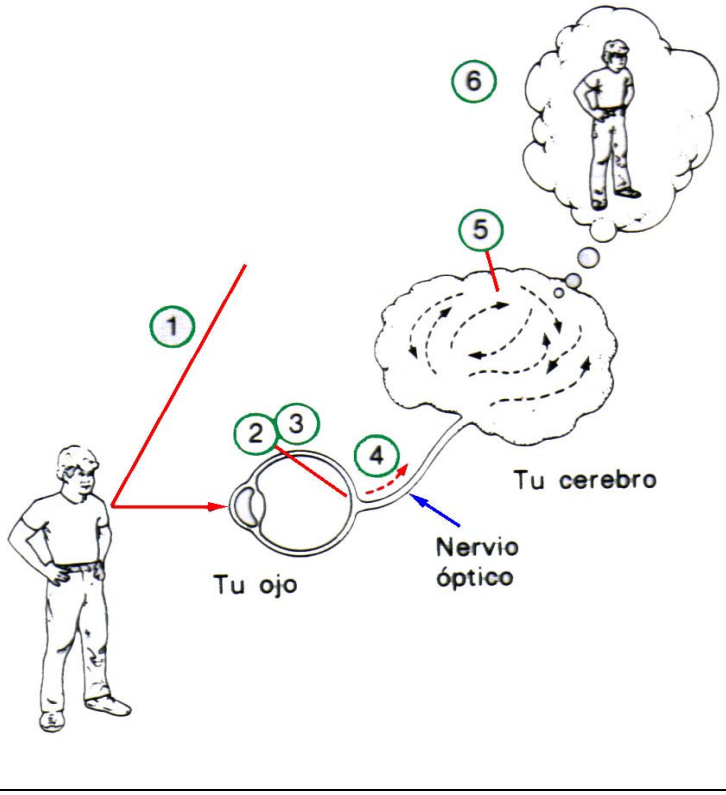


Figura. 2.1 Proceso perceptivo. Tomada de [25]

Mediante este proceso nuestra vista no sólo recibe objetos o eventos, ni mucho menos sólo puntos de luz, sino que también recibe información visualmente importante tales como contornos, texturas, colores, entre otras [25].

La percepción humana además de visualizar objetos y sus características, también percibe la luz que se describe generalmente en términos de brillo, matiz y saturación:

- El **Brillo** se refiere a la cantidad de luz percibida.
- El **Matiz** hace referencia al color (rojo, naranja, azul, etc.)
- La **Saturación** se refiere a la viveza o palidez de un color.

La percepción de la luz es muy importante ya que, para que ésta pueda ser percibida, es necesario incorporar características específicas tales como; *contraste de luminiscencia, constancia de luminiscencia, resolución, agudeza*

visual, y la *función de sensibilidad al contraste*, cada una de ellas son descritas a continuación:

- **Contraste de luminiscencia**: El contraste de luminosidad hace que figuras iguales sean vistas diferentes debido a la cantidad de luz que se ve en ellas, como se muestra en la figura 2.2, donde la figura de la derecha demuestra tener mayor luminosidad, viéndose mas grande su disco central que el de la figura de la izquierda.

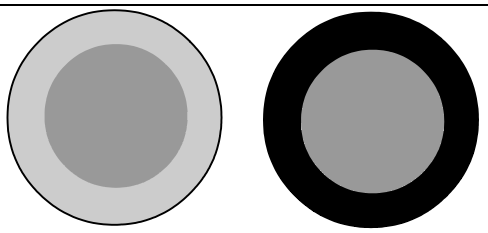


Figura 2.2 Demostración de contraste de luminosidad. Tomada de [26]

- **Constancia de luminiscencia:** Cuando se percibe un objeto bajo diferentes niveles de luz, bajo estas condiciones la percepción de la luminosidad tiende a ser constante a pesar de las variaciones en la cantidad de luz que son recibidas por la retina, a este fenómeno se le conoce como “constancia de luminosidad”.

- **Resolución:** Se refiere a la habilidad de poder distinguir diferencias en la distribución de la luz en una imagen, la mejor medida de la resolución es la *agudeza visual*.

- **Agudeza Visual:** Se refiere al detalle más pequeño que puede ser correctamente discriminado en una imagen.

- **Función de sensibilidad al contraste (FSC):** Es la capacidad visual de detectar objetos de diferentes tamaños y percibir los detalles estructurales de los mismos bajo condiciones de luminosidad específicos. Por ejemplo, al

manejar de noche probablemente uno sea incapaz de detectar los detalles finos de algunos arbustos a lo largo del camino, sin embargo, es posible ver objetos mayores (como otros automóviles) con la misma facilidad que se podría con la luz de día. Mediante esta función se establece que dos objetos son claramente visibles cuando tienen un alto contraste. La función de sensibilidad al contraste varia de acuerdo a la edad, ya que por ejemplo los niños requieren más contraste que un adulto y se adecuan mejor a ver los objetos a distancias cortas, ésta es una de las causas por las que los niños gustan ver la televisión más cerca (ver Figura 2.3) [26].

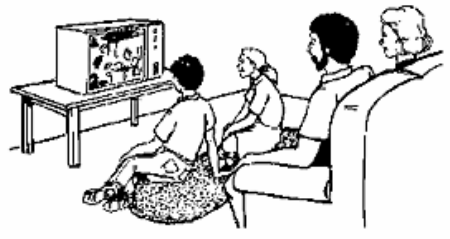


Figura 2.3 FSC en los niños. Tomada de [26]

Por supuesto, existen diferencias personales en cuanto a la Función de Sensibilidad al contraste que pueden ser resultado de diversos factores. Una persona con sensibilidad baja del contraste puede tener dificultades de visión tales como:

- No distinguir las luces de los semáforos o los coches en la noche
- No poder ver detalles en objetos con figuras complejas
- No percibir gestos faciales en otras personas.
- No distinguir si el quemador de una estufa está encendido o no
- Necesitar mucha luz para leer.
- Experimentar ojos cansados mientras mira la televisión. [27]

2.2 Estudio Básico de color (cromática)

Cuando la luz entra al ojo a través de la pupila, pasa por el lente y es proyectada en la retina en el fondo interior. Los músculos denominados extraoculares permiten el movimiento ocular en su orbita provocando que la imagen sea enfocada en la parte central de la retina llamada fóvea.

La retina es un mosaico de dos tipos de fotorreceptores, bastones y conos. Los bastones son sensitivos a la luz azul-verde con picos de sensitividad a longitudes de onda de 498 nm, y son utilizados bajo condiciones de poca luz o en la oscuridad. Existen tres tipos de conos que nos permiten la percepción básica de los colores, éstos son, los conos-L (rojo) con un pico de sensitividad de 564 nm, los conos-M (verde) con un pico de sensitividad de 533 nm, y los conos-S (azul) con un pico de sensitividad de 437 nm (ver Figura 2.4).

Los conos se concentran en un área cerca del centro de la retina en una cantidad de 180,000 por mm^2 y rápidamente esta densidad decrece fuera de la fóvea a un valor menor de 5,000 por mm^2. Es importante mencionar que el conocido punto ciego, es causado por el nervio ótico, el cual carece de fotorreceptores [28].

En los siguientes renglones se describen algunas concepciones que diversos estudiosos del color le dan a los colores, tales como Goethe, Luckiesh, Lüscher, Kandinsky, Le Heard, Graves y Dériberè. La elección de estos autores está basada en que sus estudios han reunido una serie de significados para diferentes propósitos, a partir de sus experiencias personales y de considerar las tradiciones del grupo cultural al que pertenecen.

En los párrafos posteriores se describe brevemente a dichos autores:

Goethe: Principal psicólogo del color, escribe un ensayo llamado “La teoría de los colores” en 1820.

Luckiesh: Utilizó su propio *metro de la visibilidad* para medir la diferencia en niveles de la visibilidad.

Lüscher: Establece su prueba del color en 1947, actualmente es utilizada en diversos campos como productos farmacéuticos, empaquetado, Arquitectura y publicidad.

Kandinsky: Pintor que estableció el tratado “De lo espiritual en el arte” en 1910 y establece relaciones recíprocas entre la pintura y la música.

Le Heard: Psicólogo que establece que el color representa ciertos tipos de vibración emocional y cada color del arco iris responde a un periodo de la vida humana.

Graves: Diseñador y Arquitecto que ha diseñado murales, carteles, alfombras, vestidos y muebles, además de casas, galerías de arte y edificios a gran escala, con base en la armonía de los colores con la naturaleza.

Es importante mencionar que los significados son totalmente subjetivos [29-36], por lo que se establecieron los colores más convenientes para nuestro sistema, tomando en cuenta a estos expertos y al estudio básico de color aplicados a niños y adultos, dicho estudio se muestra en este trabajo.

Por otra parte es importante recalcar que no existe un estándar en el empleo de los colores, esto debido a que su empleo depende del área donde se este trabajando.

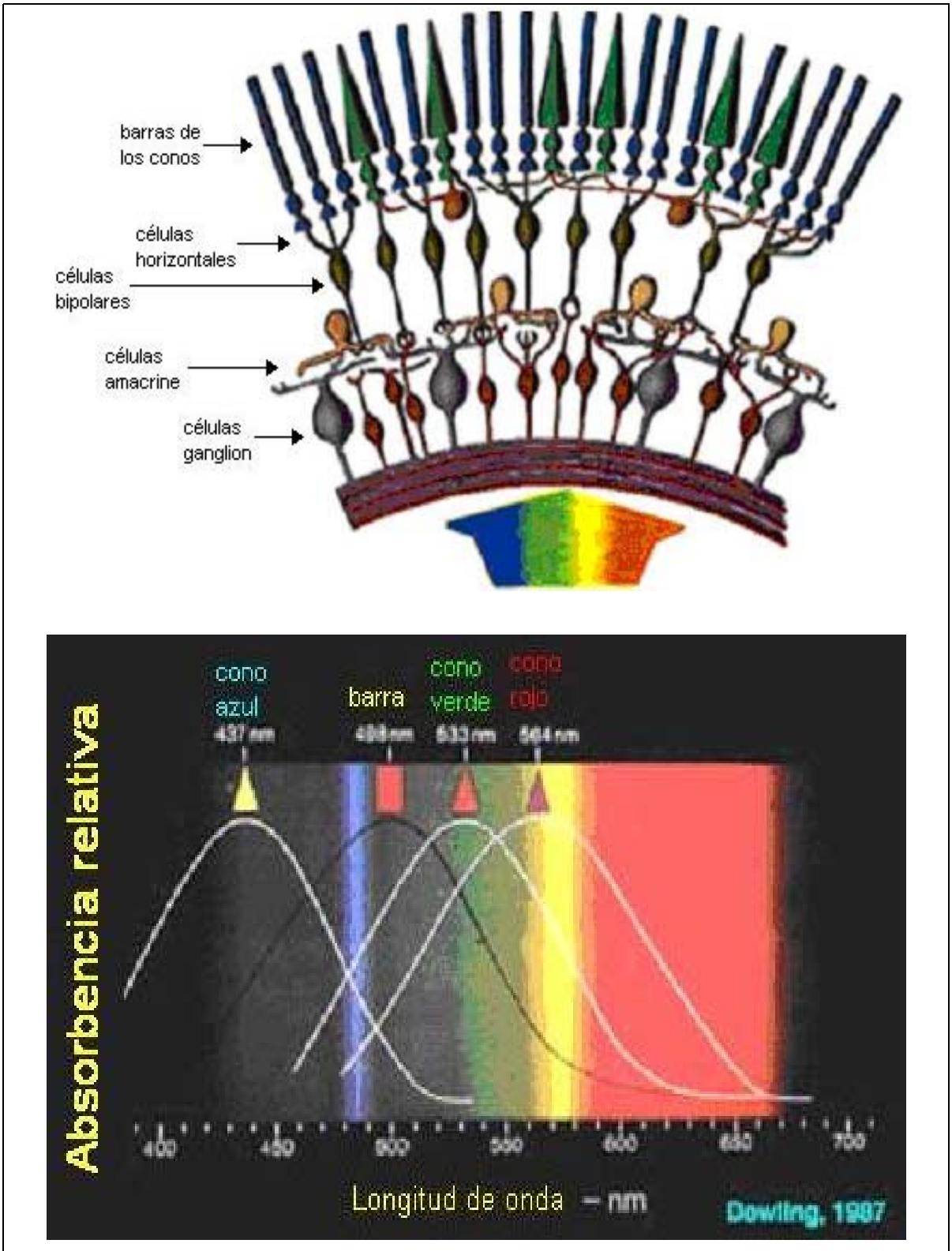


Figura 2.4. Fotorreceptores en la vista Humana. Tomada de [28].

Según Goethe, el **rojo** significa dignidad y seriedad; por otro lado para Le Heard es el color del amor, del espíritu y del corazón y representa la inestabilidad o la transición. Kandinsky nos dice que es la pasión incontrolable, una fuerza sólida por sí misma [30-31].

Goethe menciona que el naranja es símbolo de disturbio y da sensación de calor; para Kandinsky este color simboliza fuerza, energía, ambición, determinación alegría y triunfo. Deriberé menciona que es un color cálido, íntimo, acogedor, sobresaliente y evoca al fuego, al sol a la luz y al color. Es un color fisiológicamente activo y capaz de afectar la digestión [30, 31, 33].

El color amarillo para Goethe es un color positivo y significa luz, claridad, fuerza, cercanía, atracción y afinidad por los ácidos. Dice también que da una impresión grata y confortable. Deriberé dice que es un color luminoso, evoca riqueza material, así como al espíritu [30, 33].

Goethe menciona que el verde es un color que logra descansar el ánimo y da la sensación de que existe un perfecto equilibrio. Para Kandinsky es tranquilidad completa e inmovilidad [30,31].

Un color azul oscuro según Goethe simboliza privación, sombra, oscuridad, debilidad, lejanía, repulsión e inquietud. Según Luckiesh el azul está asociado con el firmamento, se atribuye a los dioses, significa esperanza, constancia, fidelidad, serenidad, generosidad, inteligencia, verdad, libertad y aristocracia. Lüsher dice que está asociado con la tranquilidad, la pasividad, lo perceptivo, lo unificador, la satisfacción, la ternura, lo sensible y el afecto, además representa satisfacción, logro, verdad, confianza, indivisión, dedicación y entrega [30, 34,35].

Para un color violeta Kandinsky dice que es un elemento de fragilidad, que inspira tristeza; para Goethe es excitación libre de alegría. Según Lüsher está relacionado

con la mafia y se identifica en una unión íntima y erótica, es el color preferido por los jóvenes, por la asociación con la magia [30, 32,35].

En lo que respecta al color púrpura según Goethe significa riqueza, además de coraje, virilidad y espiritualidad y nobleza; por otro lado para Graves significa muerte, tristeza y actualmente simboliza ley en las Universidades [30,36].

Le Heard dice que el color blanco significa inocencia, pureza; según Goethe representa turbiedad absoluta, es el elemento más neutro y claro. Significa luz, pureza, castidad, paz, verdad, modestia e inocencia. Dice Luckiesh que simboliza delicadeza, feminidad y también achaques, además en la religión significa paz y pureza [30, 31,34].

De acuerdo con Le Heard el color negro representa una cualidad negativa, así como para Luckiesh significa desgracia, duelo, oscuridad, noche y desesperanza, simboliza terror, horror, maldad, satanismo, crimen y muerte. Según Graves este color indica depresión, solemnidad y profundidad, significa tristeza y muerte, para los niños significa secreto, temor, mal [31, 34, 36].

Según Luckiesh el color gris significa la sobriedad, la penitencia, la humildad, la piedad, la tristeza, la edad de los juicios maduros. Representa el cansancio, la inconformidad. Para Lüscher este color es sinónimo de encerrarse en si mismo, es ausencia de compromiso [34,35].

Con respecto al color café Luckiesh dice que significa tristeza, frustración, también está asociado con el vigor, la fuerza, solidaridad, confidencia y dignidad, en la naturaleza representa madurez. Según Lüscher este color se relaciona con la sensualidad, con lo que respecta a la condición sensorial. Para Le Herat significa destrucción [31, 34,35].

Según varios autores el rosa tiene relación con lo dulce, lo agradable y la inocencia.

Los colores además de su significado, provocan diversas reacciones en el comportamiento de seres humanos, causando interés en el campo de la psicología, de aquí que muchos de los psicólogos y psiquiatras hayan encontrado la manera de utilizar el color como una forma de detección de problemas emocionales o mentales y estados de ánimo.

En psicología se ha dado una clasificación en dos grupos que son los colores cálidos (rojo, naranja, amarillo) y los colores fríos (verde, turquesa, azul), los colores calidos aceleran el comportamiento y lo hacen más hiperactivo, además de que hacen que las gentes sean más apasionadas y sensuales, mientras que los colores fríos relajan, distensionan, además de ser depresivos.

Un supuesto ejemplo son los niños, quienes en ambientes cálidos se dice que se desarrollan más agresivos que en ambientes fríos, además prefieren los colores saturados, en cambio los adultos prefieren los colores de tonos más suaves o neutros.

Es importante mencionar que otro factor que afecta mucho las emociones de acuerdo a la percepción de los colores es que dependen fuertemente de la componente cultural. Como por ejemplo: en China la muerte se asocia con el verde mientras que en occidente se asocia al color negro. [29]

Como una forma de corroborar lo expuesto en los párrafos anteriores para el caso de niños en educación primaria se realizó un estudio informal. Los resultados del mismo se exponen en un capítulo IV.

2.3 Educación y Pedagogía

La pedagogía formal nace en la segunda mitad del siglo XIX, pero cobra fuerza en el siglo XX, después de la primera Guerra Mundial (1914 – 1918). Surge con la finalidad de orientar a los educadores y como consecuencia de la necesidad del ser humano de transmitir con eficiencia y eficacia a sus congéneres las experiencias adquiridas y la información obtenida en su enfrentamiento cotidiano con su medio natural y social. [37]

A partir de que surge la Pedagogía, nace la concepción de la escuela como la institución básica, primaria e insustituible, a fin de que el hombre pueda alcanzar los objetivos que persigue, propiciando que la Pedagogía Tradicional adquiera un carácter de tendencia educativa restrictiva, en cuyo modelo estructural los objetivos se encuentran dirigidos a la tarea que el profesor debe realizar y a las acciones que el alumno debe ejecutar y desarrollar, otorgándoles a estos últimos el papel de seres pasivos en el proceso de enseñanza a los cuales se les exige la memorización de la información que les es transmitida.

La tendencia pedagógica tradicional no profundiza en el conocimiento de los mecanismos mediante los cuales se desarrolla el proceso de aprendizaje. Ésta solamente modela los conocimientos y habilidades que se habrán de alcanzar en el estudiante. La información que recibe el alumno es en forma de discurso y la carga de trabajo práctico es mínima, la forma de medición de su aprendizaje consiste en la evaluación del sistema poniendo en evidencia el resultado alcanzado.

La tendencia pedagógica tradicional, plantea que el objetivo esencial de la capacitación del hombre, es que él mismo adquiera los instrumentos necesarios que le permitan intervenir en la sociedad. Esta teoría resulta deficiente por ver al

alumno como un simple receptor de información, sin preocuparse de los procesos que intervienen en las asimilaciones del conocimiento.

Es importante establecer una relación entre la educación y la pedagogía, a continuación se enumeran las principales relaciones:

- La pedagogía contemporánea cobra una proyección social importante junto al desarrollo de la educación.
- La educación mejora y se supera de manera social y cultural al mismo tiempo que la pedagogía avanza.
- Tanto la pedagogía como la educación, se ven afectadas por el comportamiento de la sociedad
- La pedagogía es la teoría que permite llevar a cabo un acto, en este caso es el acto de la educación.
- La educación y la pedagogía están ligadas a un mismo sistema, que tiene un fin común, conformando de esta manera un complejo sistema educativo.
- Hoy en día se puede decir que la Pedagogía está al mando como disciplina de todo lo que ocurre en la educación.

En el siguiente apartado se da un vistazo a algunas estrategias de aprendizaje, debido a la amplia relación existente para concretización del presente trabajo de tesis .

La preocupación por lo educativo constituye, justamente, una de las características de la pedagogía de hoy: no siempre adopta una forma sistemática, ni se integra en una rígida concepción científica, sino que aparece junto a otras reflexiones a fin de mejorar las técnicas de enseñanza. [38,39]

2.4 Estrategias de aprendizaje

En México los principios de la educación formal se remontan a los inicios del siglo XIX, con la llegada de ideas liberales, pero no fue sino hasta después de la revolución cuando se institucionaliza la educación pública, con la creación de la Secretaria de Educación Pública (SEP), cuyos objetivos son [40]:

1) Garantizar una educación popular, democrática y nacionalista,
2) Implementar un sistema educativo orgánico como medida para garantizar la calidad educativa nacional.

En la actualidad se aplican diferentes métodos de aprendizaje, ya que la sociedad al paso del tiempo requiere de estrategias con diferentes características para adquirir conocimientos.

El aprendizaje, según Julián De Zubiría [37] consiste en el proceso dinámico por el cual se cambian las estructuras cognoscitivas de los espacios vitales, a través de las experiencias interactivas, a fin de que lleguen a ser útiles como guías en el futuro.

El concepto del aprendizaje se ve mejor conceptualizado en los comportamientos adquiridos por las personas (académicos y estudiantes) tanto en las escuelas como en cualquier otro lugar en que éstas experimentan su mundo.

El aprendizaje está dividido en dos enfoques: el enfoque conductual y el enfoque cognitivo.

El enfoque conductual es la visión de que el comportamiento debe ser explicado por medio de experiencias que han sido observadas de manera directa y no a través de procesos mentales.

El enfoque cognitivo muestra énfasis en cuatro diferentes campos. El primero es el enfoque cognitivo-individuo, que enfatiza la interacción del comportamiento-ambiente y persona al explicar el aprendizaje. El segundo es el enfoque procesamiento-cognitivo de la información, se centra en cómo la persona procesa la información a través de la atención, memoria, pensamiento y otros procesos. El tercer enfoque, constructivo-cognitivo, enfatiza la construcción por parte del niño, del conocimiento y comprensión. Por último el cuarto campo cognitivo-social se centra en la colaboración con otros para de esta manera producir el conocimiento y la comprensión [41].

El proceso de aprendizaje está caracterizado por ocho fases, que pueden producirse en segundos o en varios meses (ver Figura 2.5).

En primer lugar, el contenido de la información ha de ser potencialmente significativo, tanto desde el punto de vista de su estructura interna (significado lógico: no debe ser arbitrario ni confuso), como desde el punto de vista de su asimilación (significado psicológico: debe haber en la estructura psicológica del individuo, elementos pertinentes y razonables).

La primera fase es la motivación, que se encuentra estrechamente ligada a los conceptos de expectativa y de refuerzo, es decir debe existir algún elemento de motivación o expectativa para que se pueda aprender.

La segunda fase es de atención y percepción selectiva, mediante la cual se modifica el flujo de información que llega al registro sensorial y que pasa a la memoria. La atención es en referencia a la dirección de los mecanismos de atención hacia el elemento o unidad que debe ser aprendida. La selección perceptiva es el percibir los elementos destacados de la situación.

La tercera fase es la adquisición, que comienza con la codificación de la información que ha entrado en la memoria de corto alcance y que para su ingreso

en la memoria de largo alcance, se transforma de la información que ha sido recibida en material simplificado, o como material verbal, o como imágenes mentales, etc.

La cuarta fase es la retención o acumulación en la memoria. En la fase de transición entre la memoria de corto alcance a la de largo alcance, hay veces que es necesario que la información pase por una serie de repeticiones o repasos breves, que hacen que pueda hacerse la codificación de la misma. En esta fase, la información puede ya ser almacenada de forma permanente si hubo suficiente motivación, o puede ser retenida sólo por un tiempo y luego ser desvanecida por similitudes de informaciones posteriores o anteriores a ella.

La quinta fase es la de recuperación de la información. En reacción a estímulos externos, cierta información que ya ha sido almacenada en la memoria de largo alcance puede ser recuperada. Esto se hace mediante un rastreo de la memoria hasta encontrar la información, utilizando la misma codificación que se empleó para almacenarla.

La sexta fase es la de la generalización. La recuperación de una información almacenada puede hacerse en circunstancias diferentes a las que produjeron su almacenamiento, o en situaciones que no están en el mismo contexto del aprendizaje original, por eso es que el individuo debe ser capaz de generalizar lo aprendido y aplicarlo en nuevas situaciones.

La séptima fase es la de generación de respuestas o fase de desempeño. La información ya recuperada y generalizada, pasa a un generador de respuestas, donde se organiza una respuesta al aprendizaje exhibiendo un desempeño que refleja lo que la persona ha aprendido.

La octava fase es la de retroalimentación, en general es un refuerzo cuando se realiza un desempeño favorable gracias a un aprendizaje. Presumiblemente el

reforzamiento en el ser humano se produce no porque el refuerzo esté presente, sino porque se confirman las expectativas que se habían presentado en el primer paso de este proceso. Hay veces que esta retroalimentación se presenta de forma "natural" a través de la misma conducta. Reconocer que se ha dado la respuesta correcta es suficiente para confirmar la situación. Otras veces hay que hacer un chequeo con otra persona o con un patrón o modelo, para tener la verificación de que la conducta presentada es la adecuada [42].

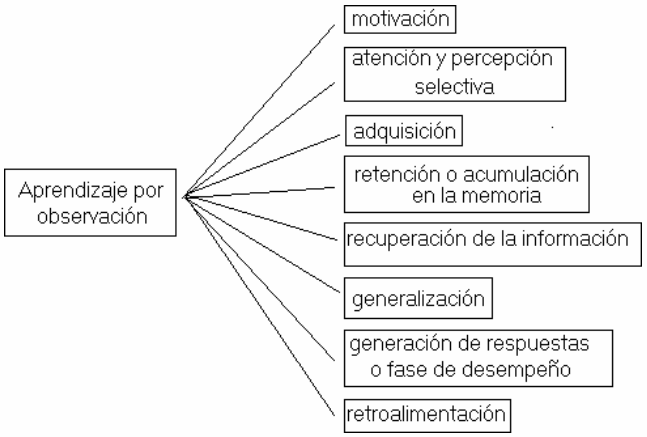


Figura 2.5. Fases del aprendizaje

La tecnología puede ser aprendida de una forma fácil, eficiente y continua mediante la aplicación de estrategias educacionales que reconocen la existencia de las 8 fases del aprendizaje descritas. En la actualidad la computadora es una herramienta muy poderosa en diversas disciplinas, y sin duda alguna, las microcomputadoras pueden tener un impacto significativo en el aprendizaje, por lo tanto es de sumo interés discutir su potencial. Es importante considerar que aunque la tecnología sea muy avanzada jamás podrá reemplazar al maestro en su papel de persona que planea e imparte la enseñanza, sin embargo, es necesario considerar que la computadora puede mejorar estos aspectos de planeación y enseñanza, siendo primordial su utilización en el proceso de enseñanza-aprendizaje. A continuación se menciona un ejemplo de cómo puede ser usada una computadora como herramienta para la enseñanza.

Digamos que se pretenda enseñar el concepto de triangulo equilátero utilizando una computadora. El proceso reconociendo las fases descritas sería más o menos el siguiente.

1. Motivación: Mostrar en forma llamativa una variedad de triángulos en un despliegue generado por computadora.
2. Atención y percepción selectiva: Proponer la pregunta ¿Cuál es un triángulo equilátero?
3. Adquisición: Proporcionar el mecanismo para acceder a la definición de triangulo equilátero y mostrar un ejemplo.
4. Retención: Mostrar un ejemplo resaltando un triangulo equilátero entre una serie de triángulos.
5. Recuperación: Solicitar la identificación de triángulos equiláteros en una serie de despliegues consecutivos similares al del ejemplo anterior.
6. Generalización. Solicitar la identificación de triángulos equiláteros en un despliegue con múltiples objetos que los contienen.
7. Generación de respuestas: Regresar al despliegue inicial y solicitar que se responda a la pregunta.
8. Retroalimentación: Evaluar el desempeño y proporcionar retroalimentación positiva.

La computadora, como herramienta de enseñanza puede ser utilizada para [43]:

- Programas tutorales en donde se le presenta a la persona con el material y a continuación una serie o conjunto de preguntas en relación a la información. Se asume que la persona no posee conocimiento previo del tema.

- Ejercicio y práctica, en donde se pretende guiar a que la persona logre una total comprensión de los conceptos que se le han enseñado.

- Simulaciones, en donde se proporciona una herramienta de análisis para el estudio de eventos que van más allá de la capacidad normal de los sentidos, como pueden ser los que ocurren demasiado rápido o demasiado lento o en su defecto que no puedan ser percibidos, como sería el caso del funcionamiento interno del motor de un automóvil, por ejemplo.

- Sistemas interactivos, los cuales permiten a la persona ingresar sus propios datos; estos pueden ser integrados a su vez con datos almacenados.

Mediante estos usos se dan alternativas para un mejor y rápido aprendizaje, ya que las computadoras enseñan de manera interactiva, y éstas pueden enlazarse con pantallas de video, mapas, archivos y hojas de trabajo, incrementando la cantidad y calidad de la información que pueden ser percibidas.

2.5 Principios de Ingeniería de Factores Humanos

En este apartado se analizan brevemente algunos de los principios fundamentales de Ingeniería de Factores Humanos para el diseño y desarrollo de despliegues gráficos de información. El propósito es obtener el conocimiento práctico para su aplicación en el presente trabajo de tesis.

La ingeniería de factores humanos es una herramienta que busca mejorar el diseño de los sistemas, así como el medio en el que se encuentran éstos, para así aprovechar al máximo las capacidades, minimizar las limitaciones y cubrir las necesidades de las personas [44].

Una parte importante de estos sistemas es la forma en que se presenta la información al usuario. La información se puede presentar de forma dinámica o estática, a continuación mencionan algunas de las características de estos tipos de despliegues.

2.5.1 Despliegues de Información Estática

Una de las formas más fuertes de representación análoga es el uso de formas gráficas de objetos. Los despliegues integrales han sido desarrollados para mundos estáticos, por ejemplo para representar el resultado de análisis multivariables, así como para mundos dinámicos como por ejemplo en medicina para ayudar al monitoreo del paciente o en procesos de control para ayudar al monitoreo del estado del sistema.

Es importante tener en cuenta las habilidades visuales en los humanos para la realización del diseño de los despliegues de información, asegurando de esta manera que al usuario no le será difícil observar la información que se le presente.

El proceso visual básico da lugar a varias habilidades visuales, algunas de las cuales son [44]:

Agudeza visual: es la habilidad para diferenciar entre los detalles y características de lo que vemos, por ejemplo cuando leemos las letras chiquitas de un contrato o cuando identificamos a una persona en la calle.

Convergencia: Cuando dirigimos nuestra atención visual a un objeto en particular es necesario que los dos ojos converjan en el mismo objeto, esto es, las imágenes del objeto en las dos retinas están en sus posiciones correspondientes, de esta manera tenemos la impresión de un solo objeto. La convergencia se controla por músculos que rodean el globo ocular.

Adaptación a la oscuridad: La adaptación del ojo a diferentes niveles de luz u oscuridad está dada por dos factores. Primero la pupila del ojo aumenta de tamaño cuando entramos a un cuarto oscuro para admitir más luz dentro del ojo; cuando entramos a un cuarto con mucha luz la pupila se contrae para limitar la cantidad de luz que entra.

También es importante tomar en cuenta las condiciones que afectan la discriminación visual para evitarlas dentro de lo posible. La habilidad del ser humano para hacer distinciones visuales depende de sus habilidades visuales, especialmente de su agudeza visual. Independientemente de las habilidades individuales, ciertos factores externos afectan la discriminación visual, como son:

Contraste de la luminiscencia: Se refiere a la diferencia en luminiscencia de las características del objeto observado, en particular de las características distinguidas gracias al contraste con su fondo (por ejemplo una flecha en una señal de dirección contrastando con su fondo).

Cantidad de iluminación: La cantidad de iluminación requerida para tener una buena visibilidad depende del lugar donde se encuentre la persona, así como del contraste y el tamaño de la letra del objeto que es visto. Por ejemplo al observar algo con alto contraste o de gran tamaño (leer un escrito con buena calidad de impresión) requiere de una menor cantidad de iluminación que cuando se tiene algo con poco contraste y de tamaño pequeño (por ejemplo al leer un escrito que está sobre un papel de poca calidad).

Tiempo: Dentro de limites razonables entre más largo es el tiempo de observación, mayor es la discriminación. Por ejemplo, si se observa un elefante para determinar si es hindú o no, entre mayor sea el tiempo de observación será más fácil determinar si lo es (el elefante hindú tiene las orejas más pequeñas que las demás especies de elefantes).

Proporción de luminiscencia: La proporción de luminiscencia es la relación numérica entre la luminiscencia de dos áreas cualesquiera en el campo de visión (usualmente entre el área de atención visual primaria y el área circundante). Las recomendaciones para radio de luminiscencia son: 1:3 entre la pantalla de la computadora y sus alrededores inmediatos y 1:10 para áreas remotas. Altas proporciones de luminiscencia pueden ser disminuidas aumentando la luminiscencia de la pantalla, decrementando la luminiscencia de los alrededores o incrementando en nivel de luminiscencia total.

Combinaciones de variables: Existen evidencias que indican efectos en el desempeño visual por interacción en ciertas combinaciones de algunos de los factores mencionados, por ejemplo efectos combinados de contraste y movimiento: otro ejemplo puede ser cuando se tienen letras pequeñas y también se tiene poco contraste, lo cual dificulta la visibilidad; sin embargo esto se puede corregir aumentando el nivel de luminiscencia.

Movimiento: El ángulo visual (VA) es medido en minutos de arco o en segundos de arco. Los 360º del círculo son divididos en 60 minutos de arco y cada minuto de arco es dividido en 60 segundos de arco. El concepto de ángulo visual se ilustra en la siguiente figura:

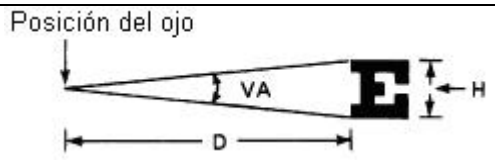


Figura 2.6. Concepto de ángulo visual. Tomada de [44]

La formula para calcular el ángulo visual es:

$$\text{VA(minutos)} = \frac{3438H}{D}$$

Donde H es la altura de un estímulo visual y D es la distancia del estímulo al ojo. H y D deben de estar en las mismas unidades; como son pies, metros, pulgadas, etc.

El movimiento de un blanco visual o del observador (o ambos) disminuye el umbral de agudeza visual. La habilidad para hacer distinciones visuales bajo estas circunstancias se llama agudeza visual dinámica y se expresa en grados de movimiento por segundo. La agudeza se deteriora rápidamente cuando la razón de movimiento excede los 60 grados por segundo.

Edad y visión: Las habilidades visuales, especialmente la agudeza visual tienden a deteriorarse con la edad. La importancia de esto es, que si personas de edad avanzada usaran despliegues visuales, éstos deben diseñarse tomando en cuenta la edad del usuario, por ejemplo, los caracteres alfanuméricos deben ser lo suficientemente grandes para verse y dar la iluminación adecuada.

Percepción: El ser humano tiene la necesidad de observar las características relevantes de los despliegues que utiliza (por ejemplo señales de tráfico, electrocardiogramas o puntos en una gráfica de presión). Pero la habilidad de observar estas características no siempre es suficiente para tomar decisiones adecuadas basadas en la información presente. Las personas deben entender el significado de lo que ven. En muchos casos esta interpretación depende de un aprendizaje previo (por experiencia o entrenamiento) como por ejemplo el código de colores en los sistemas eléctricos, abreviaciones en un teclado de computadora, significado de los zigs y zags en un electrocardiograma o el simple reconocimiento de las letras del alfabeto.

En consecuencia los despliegues visuales deben considerar dos objetivos: el despliegue debe ser claro y el diseño debe ayudar al usuario a percibir correctamente el significado del despliegue.

DESPLIEGUES ALFANUMÉRICOS

La forma más común de desplegar información es con el alfabeto y con números. Existen varios criterios en factores humanos involucrados:

- **Visibilidad**. La calidad de los caracteres que los hacen separable de sus alrededores.
- **Legibilidad**. Es el atributo de los caracteres que hace posible que cada uno sea identificado de los otros. Depende de características tales como la anchura y forma de los caracteres, contraste e iluminación.
- **Facilidad de lectura.** Una cualidad que hace posible el reconocer la información contenida en un material cuando es representado con caracteres alfanuméricos agrupados significativamente, como por ejemplo en palabras, oraciones o texto continuo.

Existen por lo menos cuatro circunstancias en las cuales es importante usar ciertas formas de tipografía para que ésta cumpla con las características de factores humanos mencionadas anteriormente: (1) cuando las condiciones de visión son desfavorables (como cuando hay poca luz o un corto tiempo de visión); (2) cuando la información es crítica o importante (como cuando las etiquetas de emergencia o las instrucciones deben ser leídas); (3) cuando la visión es a distancia y (4) cuando las personas con pobre visión deben utilizar el despliegue.

Anchura de trazo: La anchura del trazo de un carácter alfanumérico usualmente es expresada como la razón de la anchura del trazo y la altura de la letra o número. Algunos ejemplos son mostrados en la figura 2.7.

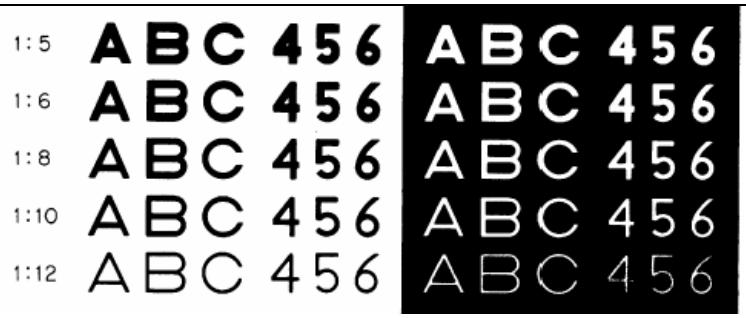


Figura 2.7. Razón de anchura de trazo y altura de letras y numerales. Tomada de [44]

Con buena iluminación las siguientes razones son satisfactorias para material impreso: caracteres negros en fondo blanco 1:6 a 1:8, caracteres blancos en fondo negro 1:8 a 1:10.

Cuando la iluminación es poca, las letras de mayor anchura son más legibles que las de menor anchura. Con poca iluminación y poco contraste, con el fondo, las letras impresas deben ser de preferencia en tipo negrita, con una razón anchura-altura pequeño, como 1:5. Para letras con mucha iluminación la razón debe de ir de 1:12 a 1:20. Para letras negras en un fondo muy iluminado, las letras con una anchura grande son las mejores.

Tamaño de caracteres alfanuméricos en pantallas electrónicas (CRTs): Para el material alfanumérico presentado en CRTs se recomiendan tamaños que sostengan un ángulo visual de por lo menos 11 o 12 minutos de arco. Estos valores deben de corresponder de 2.3 a 2.5 cm a una distancia de lectura convencional de 71 cm.

Por otro lado las pantallas de computadora son leídas a una distancia menor de la convencional (71 cm) cerca de 46 cm; a esta distancia el tamaño de la letra debe ser reducido considerablemente siempre y cuando se mantenga un valor de ángulo visual aceptable [45].

Significado: Es importante para el diseño de un despliegue visual el obtener la información correcta a mostrar, así como el diseñar el despliegue de forma adecuada para que el usuario pueda saber interpretarlo correctamente. Esto se puede lograr a través del uso de tablas, señales, direcciones, instrucciones, materiales de entrenamiento, etc. A veces es más fácil asimilar la información mediante símbolos. En la actualidad abundan los códigos visuales, símbolos y señales cuyo significado es comprendido por todos.

Señales simbólicas y señales verbales: Generalmente se prefiere el tener señales simbólicas, siempre y cuando la señal represente realmente lo que se quiere decir. Una razón para esto es que los símbolos no requieren la recodificación que las palabras requieren. Por ejemplo una señal en el camino mostrando ciervos cruzando inmediatamente tiene significado, en cambio el uso de las palabras “ciervos cruzando” requiere de recordar el concepto de esas palabras.

Criterios para seleccionar los símbolos de codificación: Algunos símbolos de codificación ya existen (o pueden ser desarrollados) que pueden ser usados con cierta confianza. Varios criterios han sido usados para ver si estos símbolos son adecuados. Algunos criterios son:

Reconocimiento. Para este criterio usualmente son presentados con símbolos experimentales y se les pide escribir abajo o decir qué representa cada símbolo.

Emparejamiento. En algunas investigaciones muchos símbolos son presentados a personas con una lista de todas las referencias presentadas y a las personas se les pide que hagan parejas con los símbolos y sus referencias. Usualmente este procedimiento produce una matriz de confusión que indica el número de veces que un símbolo es confundido con algún otro. Una variación consiste en presentarles a las personas un arreglo con símbolos de muchos tipos y pedirles que identifiquen el símbolo que representa cada referencia.

Preferencias y opiniones. En algunas circunstancias las personas son encuestadas para expresar sus preferencias u opiniones acerca de diseños experimentales de símbolos [44].

2.5.2 Despliegues de Información Estática

Vivimos en un mundo sujeto a cambios, un ejemplo de esto son los fenómenos naturales. A continuación se dan aspectos del diseño de despliegues usados para presentar información acerca de los parámetros en nuestro mundo sujetos a cambios; esto es, estos aspectos son dinámicos. Se pueden agrupar en aquellos que representan información cuantitativa, cualitativa, de estado y representativa [44].

El objetivo de los **despliegues cuantitativos** es dar información acerca del valor cuantitativo de algunas variables. En la mayoría de los casos la variable cambia o está sujeta a un cambio (como la velocidad o la temperatura). Pero también se pueden abarcar las medidas de algunas variables que, en sentido estricto, son más estáticas (como la longitud y el peso de los objetos).

En los despliegues cuantitativos hay un nivel implícito o explícito de precisión que es requerido o deseado; este nivel de precisión caracteriza el concepto de unidad de escala. Un termómetro médico, por ejemplo es leído desde cerca del décimo grado y la entrada y salida del termómetro es un grado completo.

Por otra parte la mayoría de los **despliegues representativos** que dibujan condiciones que cambian se forman con un fondo con elementos superpuestos, que tienden a cambiar posiciones o configuraciones. Muchos de estos despliegues representan la posición y movimiento de vehículos como aviones y barcos.

Al usar **despliegues para obtener información cualitativa** el usuario está interesado en el valor aproximado de una variable que cambia continuamente (como temperatura, presión o velocidad) o en su tendencia o tasa de cambio.

Bases cuantitativas para lecturas cualitativas

Los datos cuantitativos pueden ser usados como base para lecturas cualitativas, por lo menos de tres maneras: (1) para determinar el estado o condición de la variable, cada uno como un número límite de un rango determinado (por ejemplo, determinar si la temperatura de un automóvil es fría, normal o caliente) (2) para mantener algún rango deseable de valores (por ejemplo, mantener la velocidad entre 50 y 55 m/hr) y (3) para observar tendencias, tasas de cambio, etc. (por ejemplo, la tasa de cambio en altitud de un avión). Esto sugiere que el despliegue que es mejor para una lectura cuantitativa no es necesariamente el mejor para una lectura cualitativa.

Diseño de escalas cualitativas

Como se vio anteriormente, muchas escalas cualitativas representan un conjunto de valores que se mueven dentro de un límite (como frío, normal o caliente), es decir, rangos específicos tienen particular importancia para el usuario. En estos casos la correcta percepción de lo que se lee es auxiliada por códigos de rangos separados; una forma de hacer esto es usando código de colores.

Otro método es usar un código de forma para representar rangos específicos de valores. Esto es posible en el diseño de algunas áreas que toman ventaja de la asociación natural que las personas tienen entre formas codificadas y su significado.

Indicadores de estado: Alguna información cualitativa nos da la idea del estado de un sistema o de un componente, por ejemplo, el uso de algunos despliegues que chequen la lectura para verificar si la condición es normal o anormal o la lectura cualitativa de un termómetro de un automóvil que determine si la condición es caliente, normal o frio. Sin embargo, en un sentido estricto los indicadores de estado representan condiciones discretas como un encendido y apagado o (en caso de los semáforos) parar, precaución o avanzar.

En algunos casos se utilizan códigos redundantes, como los semáforos que son codificados por dos formas por color (rojo, amarillo y verde) y por localización (arriba, en medio y abajo).

Luces de señal y aviso: Muchos factores influyen en la detección de las luces, algunos de ellos son [44]:

- **Tamaño, luminiscencia y tiempo de exposición.** El umbral absoluto de un flash de luces depende, en parte, del tamaño, de la luminiscencia y del tiempo de exposición. Se ha observado que el límite de luminiscencia decrece linealmente como función del tiempo de exposición a un valor dado de tamaño.

- **Color de la luz.** Si una señal tiene buen brillo contrastando con un fondo negro y si el nivel absoluto del brillo de la señal es alto, el color de la señal no tiene mucha importancia. Pero con una señal baja con un fondo brillante una señal roja tiene una gran ventaja seguido por verde, amarillo y blanco, en este orden.

- **Flasheo.** En el caso de luces intermitentes se recomiendan tasas de flasheo de 3 a 10 por segundo (con duración de por lo menos 0.05 seg). Tasas de 60 a 120 flashasos por minuto (de 1 a 2 por seg) como los que se usan en carreteras, aparentemente son compatibles con las capacidades

de distinción del humano y con el hardware disponible. No más de tres tasas de flasheo deben de ser usadas debido a que las personas no podrán diferenciar claramente una tasa de las otras.

CAPÍTULO III

Implementación del Sistema

La UNAM es una de las principales instituciones preocupadas por la divulgación de la ciencia. A través del UNIVERSUM en colaboración con la Dirección General de Divulgación de la Ciencia (DGDC), y con ayuda de expertos divulgadores de la ciencia, se encargan de realizar actividades, crear espacios y emplear todos los medios a su alcance para llevar el conocimiento científico y tecnológico a grandes sectores de la población, no sólo nacionales sino de todo el mundo. La labor de divulgación que realiza la UNAM, además de ser pionera, es una de las más importantes del país [46].

Como una contribución a este esfuerzo de divulgar la ciencia, el presente capitulo describe la implementación de un prototipo funcional de un sistema computacional interactivo cuyo objetivo es el de proveer de información a la población en general sobre principios básicos, usos y beneficios de la energía nuclear. El sistema propuesto pretende contribuir a que haya un mejor entendimiento y aceptación de la tecnología nuclear en nuestro país.

3.1 Simulador Compacto para Divulgación y Docencia en Ingeniería Nuclear.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Si bien es innegable la contribución positiva que han tenido las aplicaciones de diversos procesos nucleares en el ámbito comercial, salud, investigación, etc., la población en general percibe a los procesos nucleares como de “alto riesgo” sin ninguna base o justificación. Actualmente la energía nuclear ocupa un papel preponderante a nivel mundial. El interés que tienen diferentes organismos, instituciones y universidades en apoyar el desarrollo tecnológico para mejorar el desempeño de las centrales nucleares, en parte se debe a que, por ahora, es la forma más limpia y segura para producir electricidad de manera confiable ºa gran escala y que probablemente el uranio será el energético primario inmediato más utilizado para la generación de energía eléctrica, cuando los

combustibles fósiles empiecen a agotarse. Si se desea un desarrollo más amplio de la tecnología nuclear en nuestro país con un nivel adecuado de aceptación pública, es necesario proveer información pertinente de una manera responsable y dirigida hacia aquella parte de la población que ha de tomar decisiones en un futuro. El sistema tiene como principal objetivo desarrollar un simulador de aula compacto para la simulación y visualización de diversos procesos nucleares con fines de divulgación y docencia.

METODO

El sistema busca, entre otros objetivos, contar con un sistema de cómputo robusto, modular y reconfigurable que permita la visualización y simulación de diversos procesos nucleares y sus aplicaciones, interactuando con el sistema mediante pantallas sensibles al tacto (touch screen). Dado que dicho sistema está dirigido a un amplio rango de la población en general, que incluye a niños y jóvenes, el sistema debe ser muy didáctico, con información pertinente y adecuada a la edad, nivel intelectual e intereses particulares del usuario, lo que impone un análisis cuidadoso de la información contenida en cuanto a forma y fondo, así como en métodos de interacción.

El sistema está modularizado en tres niveles: básico, intermedio y simulación. El nivel básico incluye información multimedia sobre aspectos fundamentales. Se incluye por ejemplo el modelo atómico actual, reacciones nucleares, reacción en cadena, aplicaciones de la energía nuclear, etc. Este nivel se desarrolla en Macromedia (Flash 5) [47,48]. El nivel intermedio contiene la descripción y funcionamiento de los principales sistemas de la Central Nuclear Laguna Verde (CNLV) así como aspectos generales de otros tipos de centrales nucleares. Este nivel, como el nivel básico, también emplea Macromedia (Flash 5). En ambos niveles (básico e intermedio) se incluye una serie de juegos interactivos para que el usuario reafirme la información dada por el sistema. El módulo de simulación incluye la representación virtual (emulación) mediante gráficos por computadora, de los principales sistemas de la CNLV,

modelos simples para la simulación de fenómenos físicos y diversos despliegues gráficos para supervisión y control, permitiendo al usuario interactuar con el sistema de una forma vívida para controlar procesos básicos de simulación. Esta parte de simulación se realiza en DataViews [49,50], un paquete gráfico especializado para simulación y adquisición de datos en tiempo real.

3.2 Descripción de las Herramientas para el Desarrollo.

FLASH

Flash 5.0 es una aplicación capaz de crear animaciones, juegos y sistemas con un alto contenido interactivo debido a la gran versatilidad del programa. Sus raíces las debe a una compañía llamada FutureSplash, que fue adquirida por Macromedia en al año de 1997, es una mezcla de un editor de graficas y un editor de películas.

Flash es capaz de realizar prácticamente cualquier tipo de animación imaginable. La base para poder conseguir buenos resultados, es tener un buen conocimiento global de la filosofía y manejo del programa con la finalidad de utilizar sus herramientas adecuadamente, ya que es posible hacer un mismo trabajo de diferentes formas.

Flash puede trabajar con bitmaps, pero trabaja fundamentalmente con vectores, de aquí que no importe si la imagen se hace grande o pequeña, ya que no sufre deformaciones debido a que una imagen vectorial consta de líneas, curvas y otros objetos independientes que pueden ser seleccionados y editados por separado. Además flash permite crear controles en forma de botones, incorporar audio comprimido en diversos formatos como lo es mp3, importar gráficas creadas con otros programas, formularios y algo de

programación. La ventaja más importante del uso de Flash es que los archivos que genera son pequeños y por tanto el tiempo de carga también lo es.

Flash trabaja con tres tipos principales de objetos y son: gráficos, botones y clips de película, cada uno de estos posee características propias que son expuestas a continuación.

Gráfico: Es un objeto que pudo haber sido dibujado en el programa o importado desde otra aplicación y convertido a formato vectorial, y que carece de cualquier animación al principio.

Botón: Es un gráfico al que se le añaden acciones específicas al seleccionarse.

Clip de película: Es una animación en el que un objeto va cambiando de posición, tamaño, forma, color, etc. según lo defina el usuario.

En Flash para poder modificar de forma más rápida las características de los gráficos, películas o botones, existen paneles en su interfaz gráfica en los que se muestran cada una de estas características y sus posibilidades de modificación [47, 48].

DataViews.

DataViews es una herramienta poderosa para programadores e ingenieros que desean crear y construir una Interfaz gráfica Hombre-Máquina con su propio lenguaje de programación. Este software permite agregar gráficos y darles dinámica de una manera relativamente sencilla dentro de la interfaz gráfica.

Este software tiene tanto un editor gráfico (DV-Draw Editor) en el cual se pueden diseñar interfaces propias, así como un sistema de bibliotecas con funciones gráficas (DV-Tools) ya definidas, las cuales pueden ser integradas

en un lenguaje en específico como puede ser C o Visual Basic. Adicionalmente DataViews puede soportar una gran variedad de Sistemas Operativos incluyendo Unix, Linux y Windows [49,50].

Con el editor DV-Draw, se pueden crear dibujos de gran detalle para su manipulación. Se pueden crear objetos gráficos complejos (instrumentación virtual, mímicos, pictoriales, gráficas de tendencia, etc.) en los que se pueden incluir dinámicas diversas, emulando las características y comportamiento reales. Es posible conectar dinámicas de varios tipos de datos, incluyendo ODBC (***O**pen **D**ata **B**ase **C**onnectivity*) que hace posible el acceso a bases de datos y fuentes de datos. Se pueden agregar reglas para manipular las vistas para controlar y efectuar acciones sobre los elementos creados. Las interfaces gráficas para control de las vistas creadas, finalmente son programadas en lenguaje de programación C para su manipulación.

3.3 Descripción y desarrollo del sistema

Se implementó un prototipo de sistema multimedia altamente interactivo para la visualización de información básica e intermedia relacionada a la energía nuclear, así como para la simulación, supervisión y control de escenarios básicos en una planta nuclear.

Módulo Básico

La Figura 3.1 muestra una pantalla multimedia correspondiente al proceso descriptivo del funcionamiento de una central nuclear. Durante la ejecución de este proceso se puede apreciar el ciclo de recirculación del refrigerante, así como la turbina y el generador de energía eléctrica. En cada etapa se explican brevemente los conceptos fundamentales en pantallas de ayuda e incluye direccionamiento (ligas) a otras animaciones.

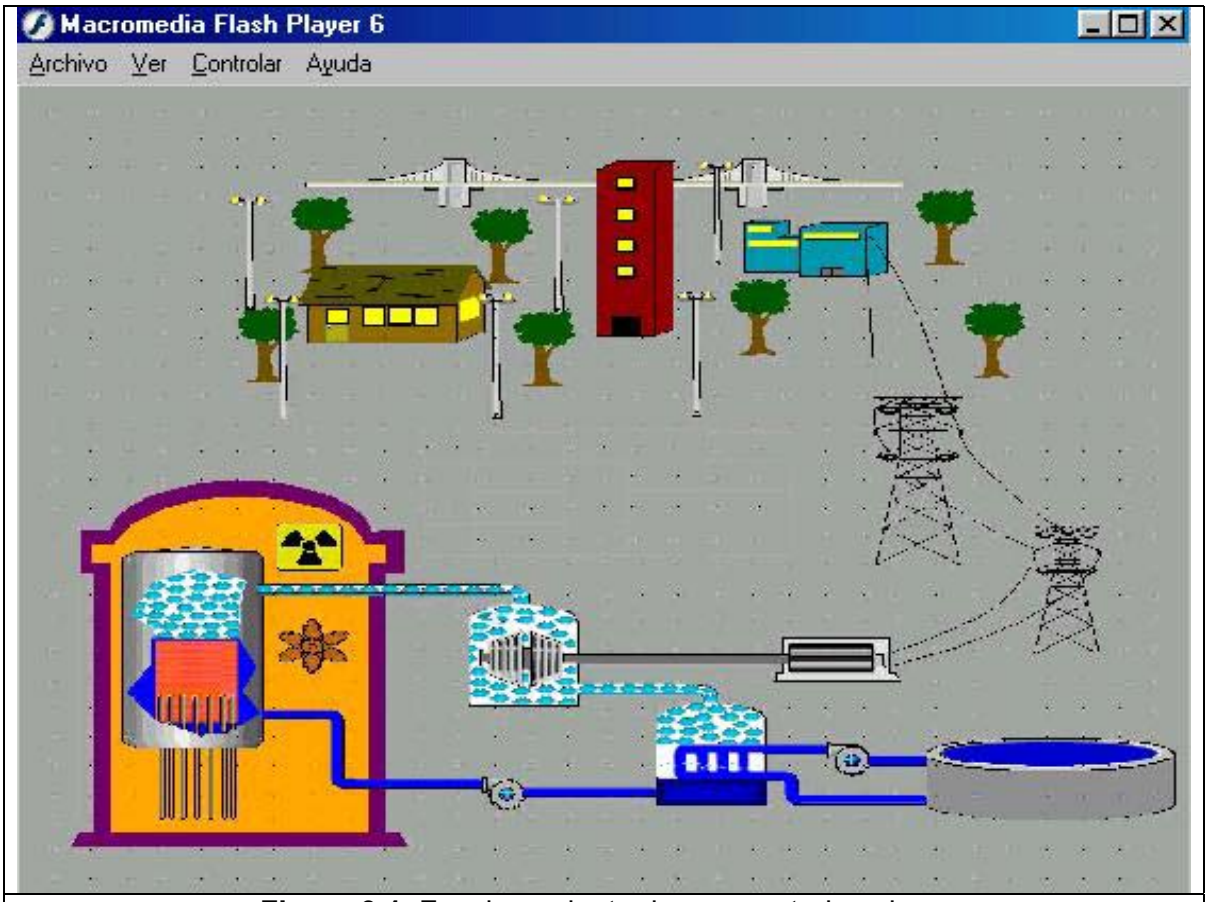


Figura 3.1. Funcionamiento de una central nuclear.

Para mostrar información de los conceptos básicos sobre la energía nuclear y sus procesos se utilizan animaciones. Por ejemplo la Figura 3.2 muestra la animación del concepto de reacción nuclear, en particular de la fisión nuclear. Se ofrece en texto explicaciones breves en la parte superior de la pantalla conforme transcurre la animación.

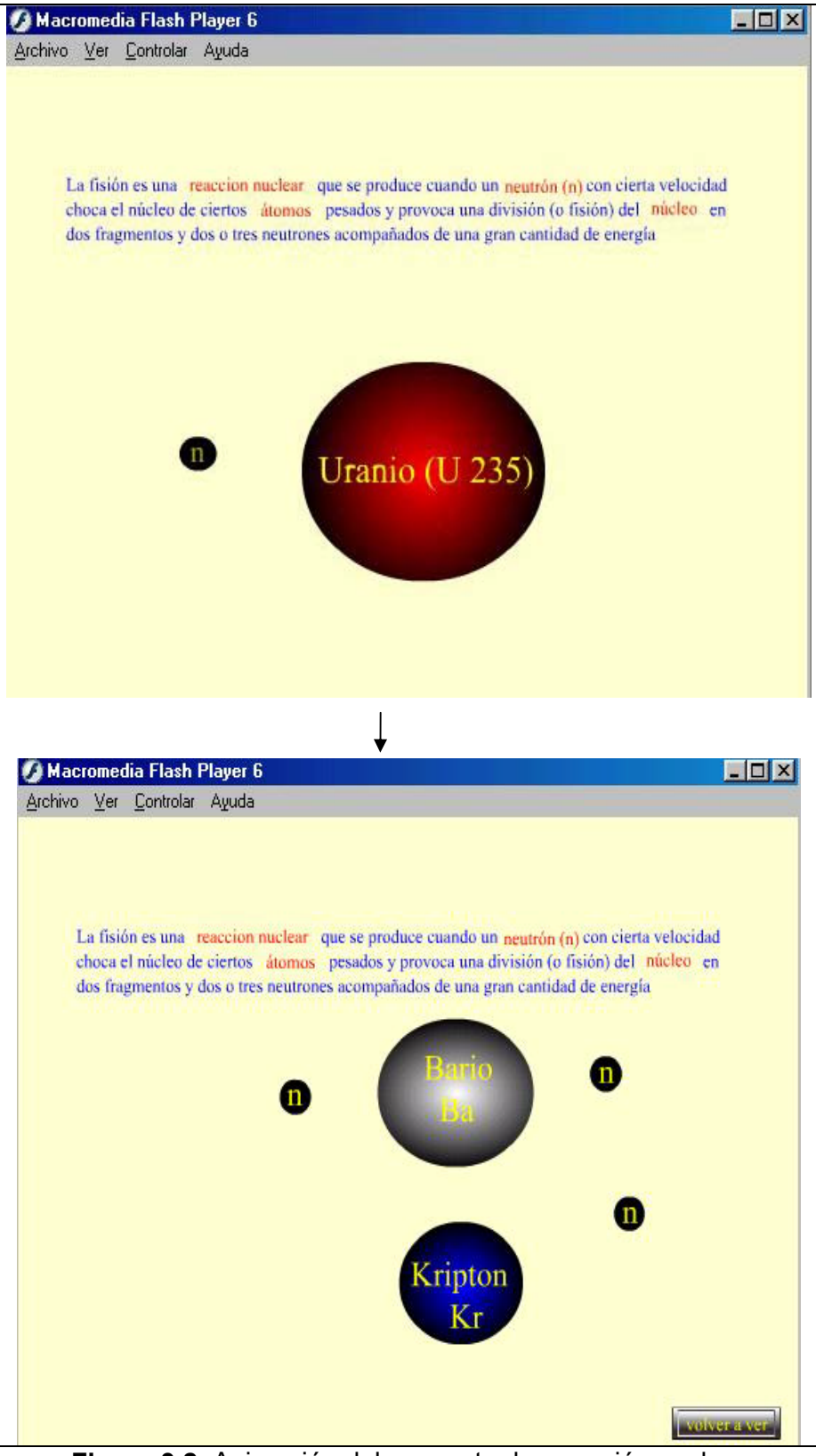


Figura 3.2. Animación del concepto de reacción nuclear

Con la finalidad de que el usuario refuerce los conceptos planteados, el sistema contiene juegos interactivos para niños y jóvenes, un ejemplo se muestra en la Figura 3.3.



Figura 3.3. Juego interactivo (Memorama)

Módulo Intermedio

El segundo nivel está constituido por una serie de diagramas esquemáticos de una central nuclear. Por ejemplo, la Figura 3.4 muestra un diagrama del edificio del reactor de la Central de Laguna Verde, en donde se puede apreciar la contención secundaria, la contención primaria, la vasija del reactor, la alberca de supresión y otros componentes.

Mediante el despliegue mostrado en la Figura 3.5 es posible acceder a despliegues de segundo nivel con información descriptiva suplementaria. Por otra parte en la Figura 3.6 se describen las barreras de seguridad y puede

verse claramente cómo la radioactividad no puede salir del contenedor primario, aún en caso de accidentes, por lo que no se pone en peligro al medio ambiente ni a las personas que laboran dentro de la planta.

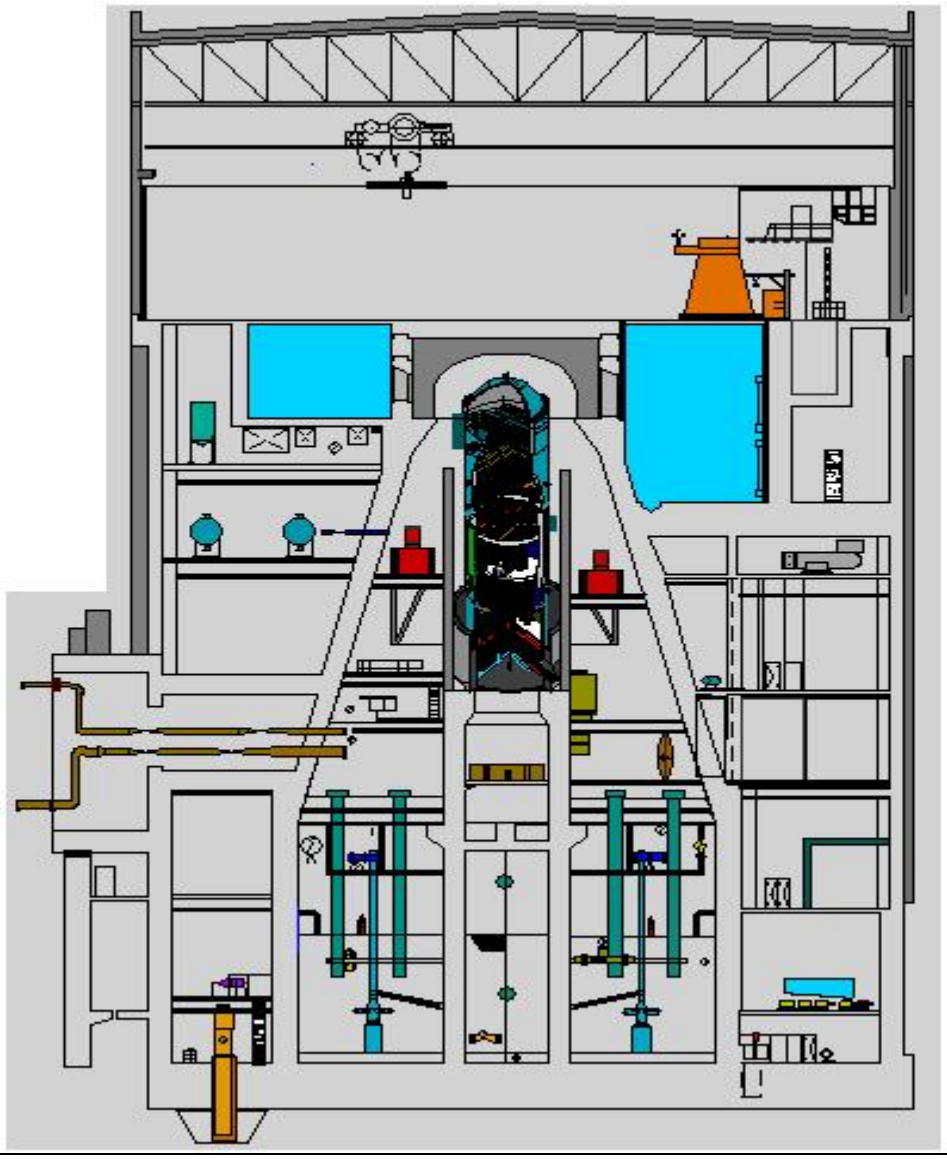


Figura 3.5. Diagrama del edificio del reactor de la CNLV



Figura 3.6. Descripción de las barreras de protección contra liberación de la radiación.

El nivel intermedio también permite hacer un recorrido virtual de la Central Nuclear de Laguna Verde, proporcionando una descripción de los principales sistemas y componentes.

Como pantalla principal se elaboró un despliegue en el que se mencionan las características principales de la CNLV, así como una fotografía de la central. Este despliegue es mostrado en la Figura 3.7.



Figura 3.7 Descripción de la CNLV

El despliegue mostrado en la Figura 3.7 permite realizar acciones de control y visulización mediante su manipulación directa a través de pantallas sensibles al tacto (monitores touch-screen).

Al seleccionar sobre la foto o sobre el título de la vista anterior se despliega otra vista en la que se muestra un diagrama completo de la CNLV. En esta vista se pueden observar todos los edificios de la central, como son: Edificio del reactor (Edificio A), Edificio del turbogenerador (Edificio B), Edificio de control (Edificio C), Edificio de generadores diesel (Edificio D), Edificio de tratamiento de residuos radiactivos (Edificio E) y Edificio de la planta de tratamiento de agua y del taller mecánico (Edificio F) como se puede observar en la Figura 3.8.



Figura 3.8 Edificios de la CNLV

Desde este despliegue se pude ir a los despliegues restantes seleccionando cualquiera de los edificios mostrados o en la lista de los componentes, dependiendo de lo que al usuario le interese observar.

Si se selecciona el edificio señalado con la letra A, el despliegue mostrado es el edificio del reactor (Edificio A) con un mayor detalle. En éste se muestran todas sus partes, incluyendo la vasija, la contención primaria, etc., como se muestra en la Figura 3.9.



Figura 3.9. Edificio del reactor

La vista de los edificios de la CNLV contiene áreas numeradas. Al seleccionar un área numerada, se despliegan en pantalla vistas con información más detallada. A continuación se dan sólo algunos ejemplos.

Seleccionando el área señalada con el número 1 en la figura 3.7 se muestra una foto y descripción del Generador principal ubicado en edificio del turbogenerador (ver Figura 3.10).



Figura 3.10. Generador principal

Al seleccionar la región señalada con el número 2 se muestra una foto y descripción del piso de recarga (Figura 3.11) en donde se realiza la recarga de combustible; se encuentra en la parte más alta del edificio del reactor (Edificio A).



Figura 3.11 Piso de recarga

Al seleccionar la región señalada con el número 3 se muestra una foto y una breve descripción del cuarto de control (Edificio C). El cuarto de control es el lugar desde donde se opera la central (ver Figura 3.12)



Figura 3.12 Cuarto de control

Al seleccionar la región señalada con el número 5 se despliega una foto y una descripción del cuarto de computadoras ubicado en el edificio de control (Edificio C). Aquí se encuentran las computadoras encargadas de la operación del Sistema Integral de Información del Proceso (SIIP) que proporciona información al operador del reactor (ver Figura 3.13).



Figura 3.13 Cuarto de computadoras.

Los ejemplos mostrados constituyen una parte del sistema en donde el usuario puede interaccionar con el sistema en una forma muy sencilla. Se busca que el sistema pueda ser utilizado por cualquier persona sin importar su edad y se tiene conceptualizado que el sistema pueda mostrar información pertinente a cualquier núcleo de la población. Para lograr este objetivo, al iniciar una sesión, el sistema obtiene información del usuario como edad y escolaridad, en base a la cual el sistema adapta la información a desplegar.

Al finalizar una sesión, el sistema ofrece la opción de evaluación. Esta opción permite que el usuario ponga a prueba los conocimientos adquiridos durante la sesión. La Figura 3.14 muestra un ejemplo de despliegue de autoevaluación. Por úultimo es importante recalcar que el sistema prototipo consta de 5 preguntas con 3 posibles respuestas cada una, a continuación son mostradas dichas preguntas.

1. ¿Qué significa la palabra átomo (en griego)?

a) Lo que no se puede partir
b) Lo que se puede partir
c) Lo más pequeño

2. ¿Qué elemento químico puede ser utilizado como combustible Nuclear?

a) Potasio
b) Uranio
c) Helio

3. ¿Cuántas formas hay para la obtención de Energía Nuclear y cuáles son?

a) Unión Nuclear
b) Fisión y Fusión Nuclear
c) Equilibrio, Decantación y Expansión Nuclear

4. Es una instalación física donde se produce y mantiene una reacción Nuclear:

a) Barras de control
b) Reactor Nuclear
c) Presurizador

5. ¿Cuál es el dispositivo que convierte en energía mecánica la energía de una fuente de vapor de agua o gas?

a) Generador
b) Condensador
c) Turbina

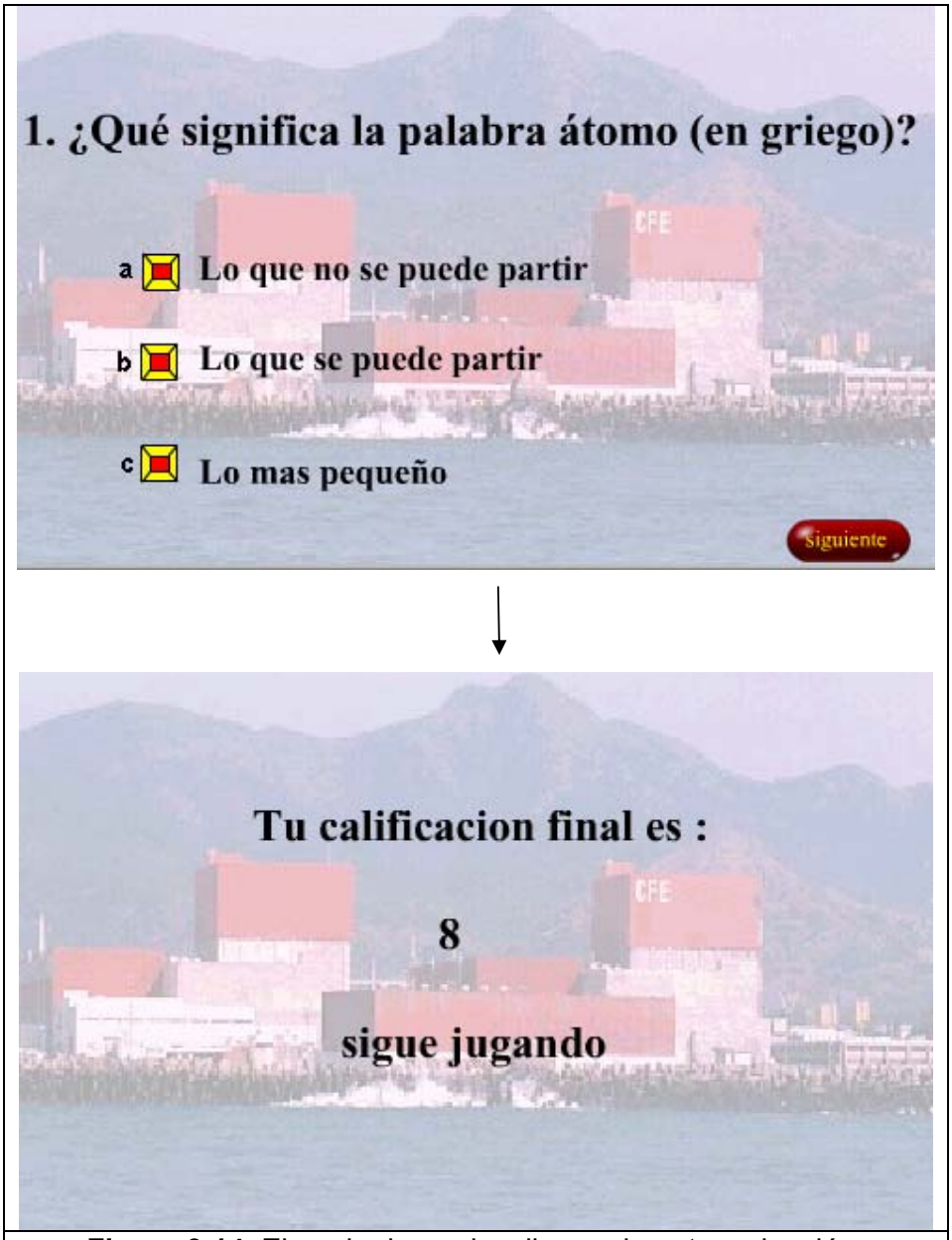


Figura 3.14. Ejemplo de un despliegue de autoevaluación.

Módulo de Simulación.

En lo que respecta al nivel de simulación se realizó un despliegue o diagrama dinámico tridimensional de un reactor de Agua Hirviente (BWR), semejante a los de la CNLV. En el despliegue (Figura 3.15) se muestran todas las partes del

reactor como son: núcleo del reactor, barras de control, separadores de vapor, secadores de vapor, salida de vapor, etc.



Figura 3.15. Diagrama de un reactor BWR

En otro despliegue se muestra el funcionamiento del reactor mediante la simulación de la extracción o inserción de las barras de control (Figura 3.16). El comportamiento de la potencia del reactor en función de la posición de las

barras de control se puede apreciar mediante el despliegue de una gráfica de tendencia.



Figura 3.16. Gráfica de variación de la potencia

Para mostrar de una manera esquemática la forma en que las barras de control absorben los neutrones producidos en la reacción en cadena, se desarrolló una animación en la que se insertan las barras de control y se puede observar de manera clara cómo los neutrones (bolitas rojas) son absorbidos por las barras.



Figura 3.17 Barras de control (fase media)

CAPITULO IV

Evaluación y Discusión de la Implementación

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos mediante encuestas realizadas, estas encuestas fueron hechas para obtener una idea sobre el conocimiento de la energía nuclear en nuestro país, así como para evaluar el diseño preliminar del sistema. También se mencionan algunos criterios de diseño utilizados para el desarrollo de los despliegues del sistema.

4.1 Resultados de las Encuestas y el Sistema

Las encuestas es el principal método de recolección primaria de información de los investigadores. La principal ventaja es que mediante una encuesta puede ser recolectada una gran cantidad de datos acerca del entrevistado. Los datos pueden incluir:

Profundidad y alcance del conocimiento
Actitudes, intereses y opiniones
Comportamiento: pasado, presente o pretendido
Variables de clasificación: medidas demográficas y socioeconómicas de la edad, del ingreso, de la ocupación y del lugar de residencia.

La segunda ventaja del uso de la encuesta es la versatilidad, ya que pueden ser empleadas casi en cualquier lugar, ya sea entre niños, jóvenes, personas de avanzada edad, etc., además de ser adaptables a los objetivos de investigación que requiere un determinado tipo de desarrollo.

Las encuestas son realizadas ya sea por entrevistas o cuestionarios por correo, personales o telefónicos, además es conveniente formular preguntas de actitudes y observar e interpretar el comportamiento real.

El recopilar datos es un aspecto crítico durante el proceso de investigación, hay muchos factores a ser considerados, entre los que destacan:

- Exactitud (que no exista error del entrevistador o respuestas incompletas)
- Cantidad de datos que puede ser recopilada
- Flexibilidad (facilidad para alternar métodos)
- Sesgo de la muestra (habilidad para extraer una muestra representativa)
- Costo directo por entrevista terminada
- Velocidad (tiempo transcurrido desde el inicio hasta el final de la recolección de datos).
- Problemas administrativos (reclutamiento, entrenamiento, supervisión, auditoría y control).

Para el presente trabajo de tesis se elaboró una encuesta con la finalidad de obtener la opinión de las personas (niños y adultos) acerca de lo que es, qué usos tiene y cómo es obtenida la Energía Nuclear. El método empleado fue el de entrevista personal directa.

Es importante mencionar que la encuesta se adecuó en función del núcleo de población a quien iba dirigida, esto fue debido a que niños y adultos se desenvuelven de distinta forma al contestar una pregunta, de aquí que a los adultos se les diera mayor libertad de explicar sus respuestas y a los niños se les limitara a contestar preguntas con respuestas cerradas principalmente.

Encuesta aplicada a adultos.

La encuesta aplicada a la población adulta contiene 6 preguntas, con elementos de opción múltiple (preguntas cerradas) y elementos en formato libre (pregunta abierta). La Figura 4.1 muestra dicha encuesta.

1) ¿Qué piensa usted acerca de la Energía Nuclear?

_____

_____

_____

2) ¿Considera que la energía nuclear es?

☐ Buena ☐ Mala ☐ No me importa

3) ¿Conoce los beneficios de la Energía Nuclear?

☐ Sí ☐ No

¿Cuáles?

4) ¿Le gustaría saber más sobre la Energía Nuclear y sus principios?

☐ Sí ☐ No

5) ¿Le gustaría que se enseñara por medio de un sistema interactivo?

☐ Sí ☐ No

6) ¿Es de su agrado el sistema?

☐ Sí ☐ No

¿Por qué?

Figura 4.1. Encuesta realizada a la población adulta.

Encuesta aplicada a niños.

La encuesta aplicada a la población infantil contiene solamente 4 preguntas, con elementos en su mayoría de opción múltiple (preguntas cerradas) y sólo dos elementos en formato libre (pregunta abierta). La Figura 4.2 muestra dicha encuesta.

La selección de las personas para la aplicación de las encuestas fue tomada en forma aleatoria, con la única restricción de la edad; es decir la encuesta para niños entre 6-13 años y la encuesta para adultos de 13 años en adelante. El número de niños encuestados fue el siguiente: 17 niños y 3 niñas; y el de adultos: 15 hombres y 5 mujeres.

El campo de estudio fueron los alrededores del museo Universum de la UNAM, con gente que asistió ese día al museo. La condición social, cultural y económica no fueron factores tomados en cuenta para nuestro estudio.

Las encuestas fueron realizadas mediante el método de entrevista personal, por lo que a cada niño o adulto encuestado primero se le solicitaba su cooperación y se le explicaba brevemente de qué se trataba la encuesta y de cuántas preguntas consistía, el proceso fue el siguiente:

Corroboración de la edad
Explicación breve del contenido de la encuesta
Aplicación de la encuesta
Muestreo de láminas correspondientes al sistema
Agradecimiento por la participación

El número de preguntas contenidas en la encuesta se considera que fue adecuado, ya que no cansa al entrevistado y permite respuestas más claras y no

repetitivas, por otro lado cada una de las preguntas cumplió con el objetivo de determinar la opinión y conocimiento de las personas sobre a la energía nuclear.

1) ¿Conoces qué es la Energía Nuclear?

☐ Sí ☐ No

¿Para qué sirve?

2) ¿Te gustaría que te enseñaran qué es la Energía Nuclear y para qué sirve?

☐ Sí ☐ No

3) ¿Te gustaría que te lo enseñaran en la computadora?

☐ Sí ☐ No

4) ¿Te gusta el sistema?

☐ Sí ☐ No

¿Por qué?

Figura 4.2. Encuesta realizada a la población infantil.

Una vez elaboradas y aplicadas las encuestas se realizó un conteo de los tipos de respuesta que fueron tomados en consideración para la retroalimentación del sistema. Las Tablas 4.1 y 4.2 muestran los resultados de las encuestas:

Tabla 4.1. Resultados principales de la encuesta aplicada a adultos.

1	sin conocimiento	Peligrosa	Buena
	3	4	13
2	buena	mala	no importa
	16	1	3
3	si	no	
	9	11	
4	si	no	
	20	0	
5	si	no	
	20	0	
6	si	no	
	20	0	

1) ¿Qué piensa usted acerca de la Energía Nuclear?
2) Considera que la Energía Nuclear es:
3) ¿Conoce los beneficios de la Energía Nuclear?
4) ¿Le gustaría saber más sobre la Energía Nuclear y sus principios?
5) ¿Le gustaría que se enseñara por medio de un sistema interactivo?
6) ¿Es de su agrado el sistema?

Tabla 4.2. Resultados principales de la encuesta aplicada a niños.

1	si	no
	4	16
2	si	no
	18	2
3	si	no
	18	2
4	si	no
	20	0

1) ¿Conoces qué es la Energía Nuclear?
2) ¿Te gustaría que te enseñaran qué es la energía nuclear y para qué sirve?
3) ¿Te gustaría que te lo enseñaran en la computadora?
4) ¿Te gusta el sistema?
   ¿Por qué?

En las tablas 4.1 y 4.2 puede ser corroborado cómo la mayoría de las personas adultas entrevistadas tienen una buena opinión acerca de la energía nuclear y la consideran benéfica, no obstante, el conocimiento acerca de este tipo de energía es casi nulo.

Por otra parte a las personas les interesa conocer más acerca de ella y sus beneficios, por lo que consideran que el haber creado un sistema de información era necesario. Mediante los resultados obtenidos, tenemos la idea de que debe ser un sistema fácil de entender, sencillo de manejar y debe contener los principales conceptos acerca de la obtención de la energía nuclear.

Posteriormente se mostraron láminas de las vistas y animaciones desarrolladas para el sistema, siendo toda esta información del completo agrado de las personas entrevistadas.

Por su parte los niños mostraron un completo interés acerca del tema, aun sin tener los conocimientos necesarios para opinar firmemente de lo que es la energía nuclear. Ahora bien en lo que respecta al sistema, éste les llamó la atención de manera considerable por lo atractivo que resulta, debido a que se les muestra la información de manera divertida y entretenida.

Las gráficas de los resultados obtenidos mediante las encuestas, se muestran en las Figuras 4.3 y 4.4.

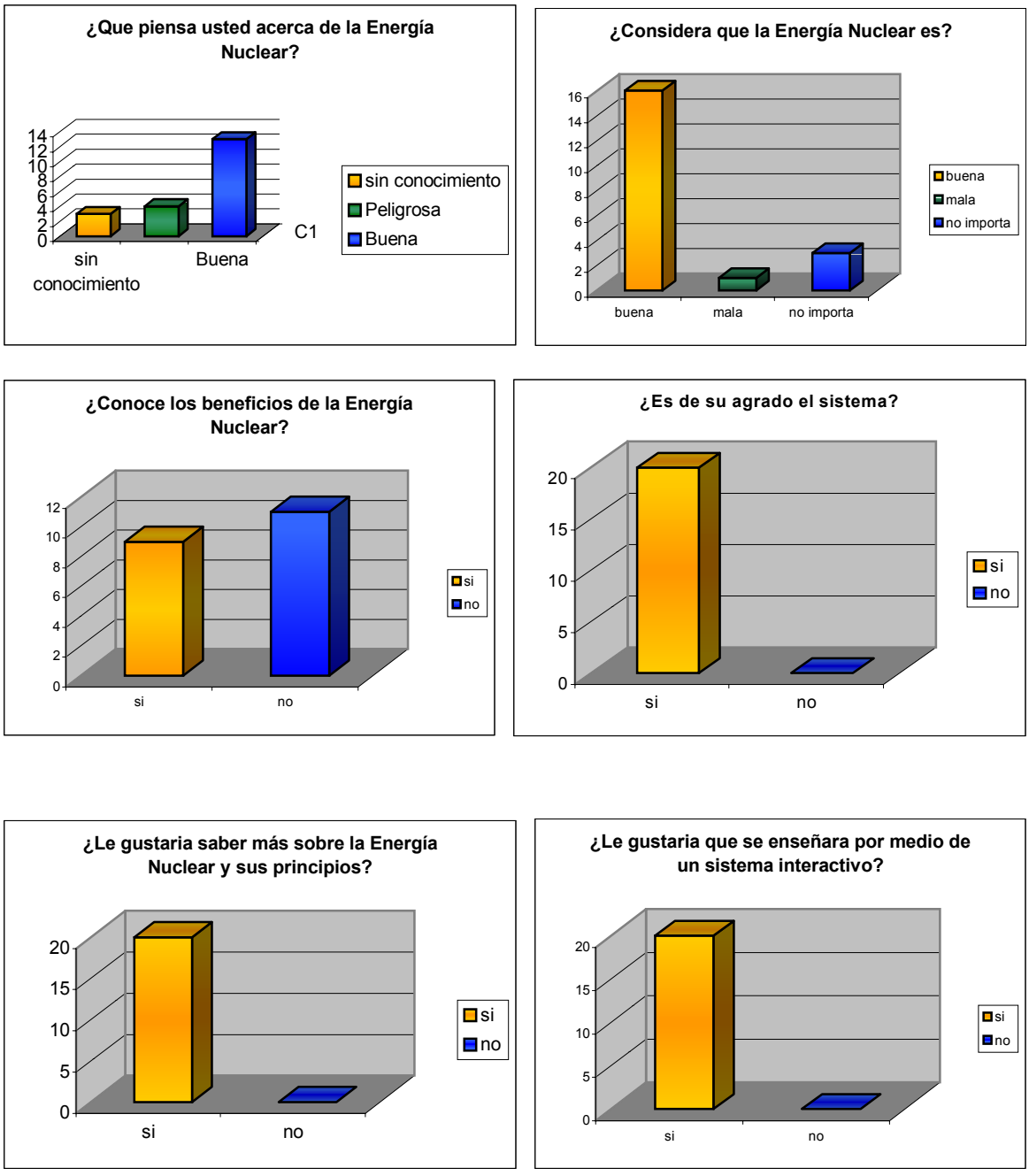


Figura 4.3 Gráficas de resultados obtenidos de las encuestas realizadas a los adultos

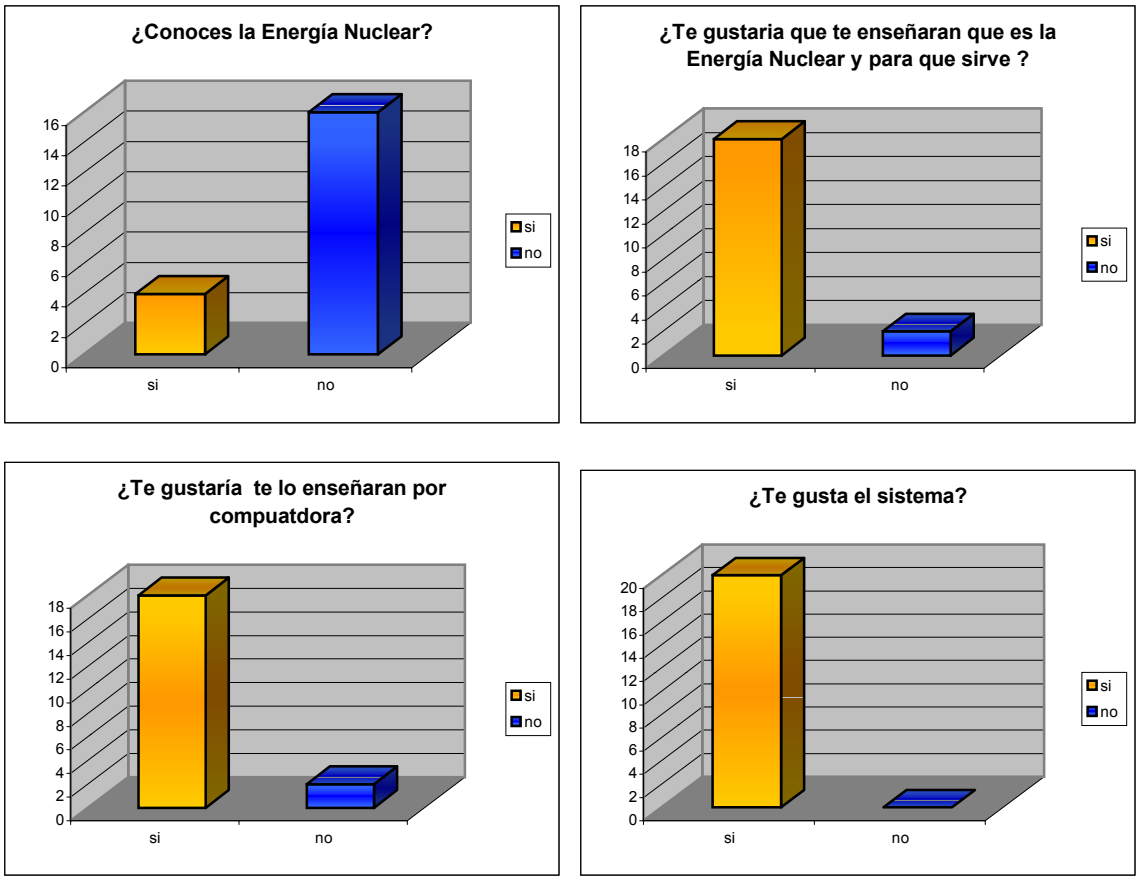


Figura 4.4. Gráficas de resultados obtenidos de las encuestas realizadas a los niños

4.2 Diseño de los despliegues de Información

Como punto de partida, el diseño de los despliegues de la CNLV se realizó tomando en cuenta algunos aspectos de Factores Humanos y preferencias de la población entrevistada. El fondo es de color amarillo debido a que este color llama la atención y por lo tanto provoca cierto interés en el usuario para conocer la información contenida dentro de cada despliegue; las letras son de color negro para tener un buen contraste de luminiscencia con respecto al fondo amarillo y de esta manera lograr que el usuario tenga una mejor visibilidad.

La información contenida dentro de los despliegues es mostrada de forma clara y sencilla para lograr el objetivo de que la información sea comprendida por cualquier persona sin importar su edad. El diseño del sistema hace que los juegos, animaciones y despliegues que muestran partes de la CNLV puedan ser utilizados de una manera fácil; todas estas partes del sistema se manejan con botones.

Con el fin de motivar la exploración del sistema por el usuario se utilizó la característica del flasheo en los despliegues, que ayudada con una frecuencia adecuada y un intercambio de colores que contrasten fuertemente (por ejemplo: el negro y el verde) hace que el usuario fije su atención en los componentes de control de la interfaz, y tenga curiosidad por saber qué hay en otros despliegues ligados a éstos.

4.3 Resultados del estudio de color

El estudio de color fue realizado en la escuela primaria “Profra. Concepción Patiño Valdez”, ubicada en la colonia Lomas de Padierna en la Delegación Tlalpan. El grupo al que se le realizó la encuesta estuvo conformado por 26 niños y 13 niñas, a quienes a base de juegos se les preguntó cuál era su color favorito, además de que se les pidió realizaran un dibujo de lo que más les gustaba con sus colores favoritos, permitiéndonos observar la gama de colores que manejan los niños en general y así poder incorporar los que son más agradables para los niños. Además se les preguntó a algunos adultos (maestros) dentro de la escuela cuál era su color preferido. Los niños prefieren colores brillantes y llamativos, y en cambio los adultos prefieren los colores pastel, en combinación con colores brillantes. La Figura 4.5 muestra algunas fotografías del grupo de estudio y algunos de los dibujos realizados por los niños.



Figura 4.5. Grupo de estudio y sus dibujos.

4.4 Información contenida en el sistema

Con base a lo expuesto en el Capítulo I se considera que la información de conceptos básicos contenida en el sistema (conceptos de fisión, reacción en cadena, barras de control, etc.) es suficiente para que el usuario pueda entender y comprender de una manera sencilla y clara lo que es la energía nuclear.

También se considera que la información sobre la CNLV mostrada dentro del sistema se muestra de manera clara. Debido a que se ponen algunas fotos de partes de la CNLV se logra que el público se de cuenta de que una central nuclear no difiere mucho de lo que es una planta de generación eléctrica convencional y así lograr que el público se quite un poco la idea de que la energía nuclear es peligrosa y compleja. La incorporación de juegos como el memorama y sobre todo del cuestionario de auto evaluación facilita el proceso de aprendizaje. El uso de simulaciones permitirá al usuario tener una idea básica del funcionamiento y control de una central nuclear.

CAPÍTULO V

Conclusiones

5.1 Conclusiones

El sistema desarrollado establece una nueva forma de difusión, y proporciona una ayuda para la comprensión de los principales conceptos, procesos y partes de una central nuclear. Para cumplir con este objetivo fueron planteados a manera de prototipo, algunos de los principales conceptos y procesos de forma interactiva a través de una aplicación multimedia (animaciones realizadas en Flash 5.0), así como las funciones de una planta nuclear, en particular Laguna Verde, dichas funciones son mostradas con la utilización de DataViews 2.3.

Una de las principales ventajas de este sistema prototipo es que para poder ver las animaciones, juegos y cuestionarios del sistema sólo es necesario tener instalado el "plugin" de Macromedia, por el contrario una desventaja es que para poder visualizar los conceptos básicos de la CNLV y para las simulaciones debe tenerse instalado el software que fue utilizado para desarrollar estos módulos (Dataviews 2.3) o bien contar con una licencia "run-time" lo que representa un costo adicional al de la inversión del equipo.

En general la utilización del sistema es sencilla e intuitiva, haciéndolo atractivo para todas las personas sin importar su edad o escolaridad, y siendo que está enfocado a niños y adultos, podrá ser utilizado por un amplio rango de la población. El sistema cuenta con algunas características que lo hacen aún más fácil de comprender, tales como conceptos sencillos de asimilar, definiciones concretas y coherentes, además de poseer vistosidad en los despliegues de información. Es importante mencionar que el sistema prototipo se encuentra basado en características que los usuarios desearían en un sistema, estas características fueron recabadas a través de un estudio realizado a niños de una escuela primaria (estudio de cromática), así como a sus profesores y con ayuda de encuestas realizadas en el Campus de Ciudad Universitaria, en las que fueron mostradas imágenes del sistema prototipo, con ayuda de una breve explicación de lo que se estaba mostrando en ellas.

Es conveniente mencionar que encontramos limitaciones en el software con que desarrollamos el sistema; para Flash 5.0 la principal limitación es que no es capaz de trabajar con bases de datos muy grandes, y para DataViews 2.3 no contiene una amplia gama de colores en la paleta para desarrollar aplicaciones, además de que tiene la limitación de no poder poner acentos.

Para finalizar es importante mencionar que el sistema cuenta con una función de auto evaluación que permite determinar el grado de asimilación o aprendizaje acerca de la energía nuclear a través de una serie de preguntas que el usuario responde una vez finalizada la sesión. Esta función de auto evaluación permitirá evaluar la efectividad del sistema así como para obtener información útil modificar y mejorar el sistema en versiones futuras.

5.2 Trabajo a Futuro

El sistema desarrollado representa solamente un prototipo funcional, y no un producto completo y/o terminado. Es posible ahondar más en conceptos, animaciones y simulaciones, además de agregar más juegos para lograr que el sistema sea aun más atractivo al público en general. Algunas mejoras que se plantean son la inclusión de sonidos reales, como el de un generador, turbina, etc., narraciones (es decir voz para los niños que no sepan leer) y videos en los que puedan ser mostrados de manera más real las partes de la central, logrando con esto que el sistema tenga mayores atractivos.

En el módulo de juegos se tendría que continuar con el desarrollo de los mismos en algunas variantes, como por ejemplo asociación de imágenes, un juego de construcción de una planta nuclear por medio de objetos gráficos que representen los componentes principales, incluir una galería de imágenes que puedan descomponerse en forma de rompecabezas, incluir un personaje animado que sirva de tutor en el uso del sistema, etc.

El uso del software DataViews permite el desarrollo de interfaces más complejas y detalladas de las empleadas en el prototipo inicial. La inclusión de interfaces complejas y de simulaciones más elaboradas que ya están disponibles será objeto de estudio.

Finalmente, se considera que el sistema puede instalarse en forma fija y permanente en museos y escuelas. Podría incluso construirse una versión móvil del sistema que pueda trasladarse a regiones alejadas de las grandes poblaciones en el interior de la República Mexicana, pudiéndose lograr con esto una mejor labor de divulgación de lo que es, de donde proviene y los usos pacíficos que tiene la energía nuclear hoy en día.

BIBLIOGRAFIA

1. Echeverría, Manuel, "Apuntes de Elementos de Física Nuclear", Comisión Chilena de Energía Nuclear, CCHEN, 1995.

2. Herrera Erik, Galvez Juan, Trujillo Lila, "Energía Nuclear", Comisión Chilena de Energía Nuclear, CCHEN, 1984.

3. García, Alonso, "El Cuaderno de La Energía", Forum Atómico Español, 1989.

4. Página Internet del Colegio Experimental Paraguay-Brasil. Descripción sobre conceptos fundamentales de energía nuclear, http://www.cepb.una.py

5. H. E. White, Introducción a la física atómica y nuclear, 1a. ed., Editorial Alhambra, España, 1970

6. Lamarsh, John R; "Introduction to Nuclear Engineering"; Addison-Wesley; 1983

7. Duderstad, James J., "Nuclear Reactor Analisis", John Wiley & Sons , 1976.

8. Kenneth Wark Jr "Termodinámica", Mc. Graw-Hill, 1995

9. Página Internet. Bulletin of the atomic scientists. Descripción de los principales usos pacíficos de la energía nuclear, http://www.thebulletin.org

10. Página Internet. AEA Technology plc. http://www.aeat.co.uk

11. Página Internet. Canteach Project. http://canteach.candu.org

12. Página Internet. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, http://www.cnsns.gob.mx

13. Página Internet. Comisión Federal de electricidad, http://www.cfe.gob.mx

14. Página Internet. Universidad Nacional Autónoma de México, http://www.unam.mx

15. Página Internet. Facultad de Medicina de la UNAM, http://www.facmed.unam.mx

16. Página Internet. Dirección General de Revalidación de Estudios, http://www.dgire.unam.mx

17. Página Internet. Laboratorio de Análisis en Ingeniería de Reactores Nucleares, http://lairn.fi-p.unam.mx

18. Página Internet. Instituto Politécnico Nacional, http://www.ipn.mx

19. Página Internet. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, http://www.inin.mx/index.cfm

20. Página Internet. Universidad Autónoma de Zacatecas, http://www.uaz.edu.mx

21. Página Internet. Universidad Autónoma del Estado de México, http://www.uaemex.mx

22. Página Internet. Instituto de Investigaciones Eléctricas, http://www.iie.org.mx

23. Página Internet. Organismo para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe, http://www.opanal.org

24. International Nuclear Societies Council, "Un panorama de los próximos cincuenta años de la energía nuclear", SNM, 1996.

25. Página Internet. Contrast Sensitivity. NDT Resource Center, http://www.ndted.org.

26. Sekuler, R. and Blake, R. "Perception". Third Edition. Mc Graw Hill. 1994.

27. Página Internet Vision Rx. Enciclopedia, http://www.visionrx.com

28. Página Internet. Visual Acuity of the Human Eye. NDT Resource Center http://www.ndted.org

29. Hernández, G. "El significado de los colores". Editorial UNAM México 1984.

30. Goethe, Johan W. Von, "Esbozo de una teoría de los colores", Obras Completas, tomo I. Ed. Aguilar, Madrid, 1974.

31. Le Heart, A. "Color Harmony Spectrum", Avenir Le Heart studio. Hollywood, Calif., 1945.

32. Kandiski, Wassily, "De lo espiritual en el arte", Ed. Paidós Estética, Barcelona, 1997.

33. Deribére, Maurice, "El color", Ed. Diana, México, 1967

34. Luckiesh, M., "Color and its Applications". D. Van Nostrand., New Cork. 1921

35. Luscher Max, "The Luscher Color Test". Editor Ian A. Scott, Pocket Books, New York, 1971

36. Graves, M., "Color Fundamental", McGraw-Hill, Nueva York, 1952.

37. De Zubiría Samper, Julián. "Tratado de Pedagogía Conceptual. Los Modelos Pedagógicos". Impresos Vega. Santafé de Bogota, 1994.

38. Alvarez de Zayas, C. M. "Didáctica de la escuela en la vida". Editorial Pueblo y Educación. La Habana. Cuba, 1999.

39. Alvarez de Zayas, Carlos M. y González Agudelo, Elvia. "Lecciones de Didáctica General" Facultad de Educación, Universidad de Antioquia Medellín, 1998.

40. Página Internet. Secretaría de Educación Pública. http://www.sep.gob.mx

41. W. Santrock John; "Psicología de la Educación"; Mc Graw Hill; 1997

42. Gagne, R., Briggs, L. & Wager, W. Principles of Instructional Design (4th Ed.). Fort Worth, TX: HBJ College Publishers, 1992.

43. C. Orlich Donald; "Técnicas de Enseñanza, Modernización en el Aprendizaje"; Ed. Limusa, 1995.

44. Sanders, Mark S., "Human Factor in Engineering and Design", Mc Graw Hill USA, 1987.

45. Shneiderman, Ben; "Designing the User Interface"; Addison-Wesley,1992.

46. Página Internet. Universum, Museo de las Ciencias. http://www.universum.unam.mx

47. Orós Cabello, José Luis, "Macromedia Flash 5.0 Curso práctico", Ed. Alfaomega, 2001.

48. Página Internet. Macromedia Support Center. http://www.macromedia.com

49. Página Internet. General Electric. Fanuc. Dataviews. http://www.dvcorp.com/

50. DV-Draw and DV-Tools reference manuals. Northampton, MA, DV Corporation.