

2es



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ACATLAN

MODELO DE ANALISIS DE JERARQUIAS
PARA ASIGNAR TAREAS AL PERSONAL
ENCARGADO DE LOS SERVICIOS DE
MANTENIMIENTO DE UNA INSTITUCION
DE ENSEÑANZA SUPERIOR

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN MATEMATICAS
APLICADAS Y COMPUTACION

PRESENTA:
JAVIER ROSAS HERNANDEZ

ASESORA:
ING. ELVIRA BEATRIZ CLAVEL DIAZ



ENERO 1999

2613



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

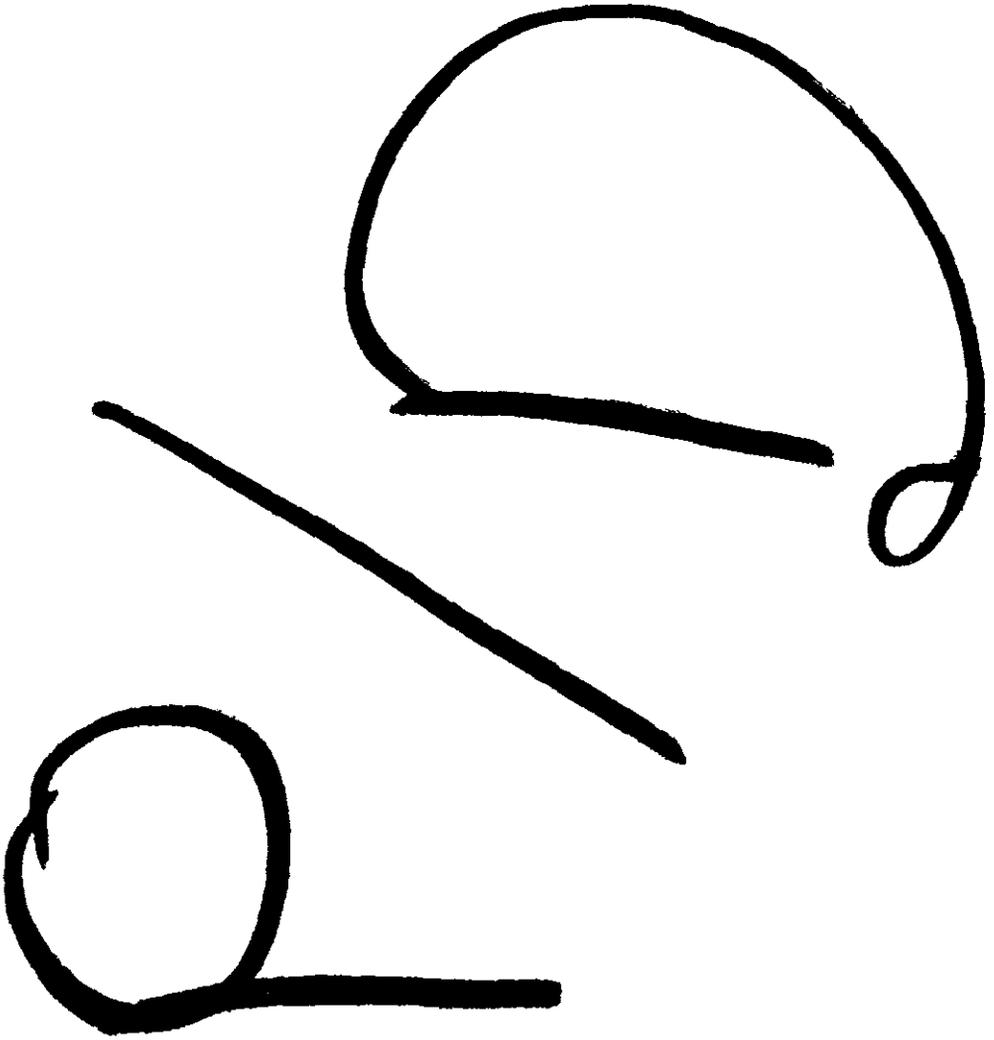


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



A LA MEMORIA

DE MI PAPA ISIDRO

Porque hay ocasiones en las que madurar requiere de grandes sacrificios.

DE MI PRIMO JULIO

Por su ejemplo a la superación profesional

DE MIS ABUELITOS PATERNOS MA DE JESÚS Y JUAN

Sus consejos me ayudan a ser mejor como persona

DE MI ABUELITO MATERNO ESTEBAN Y MI TÍA CONCEPCIÓN

En ocasiones el silencio indica la comprensión necesaria

GRACIAS

A MI MAMÁ MA DE LOURDES

Por apoyarme incondicionalmente en cada instante de mi vida.

A MI HERMANO JAIME Y SU ESPOSA MIREYA

Por ser un gran ejemplo de superación personal

A MI HERMANA ALEJANDRA

Por la compatibilidad en los juicios que emitimos.

A MI HERMANA CELIA

Como un ejemplo en la dedicación laboral.

A MI HERMANA VERÓNICA

Porque siempre hay decisiones complejas que tomar.

A MIS SOBRINOS ERNESTO Y LESLIE VANESSA

Por ser la nueva esperanza de una generación.

A DIOS

Por darme la oportunidad de vivir y aprender

A LA FAMILIA ROSAS ABRAHAM

Por la confianza y consejos que me han brindado

A MIS TÍOS Y PRIMOS PATERNOS

Por la convivencia que hemos tenido

A MIS TÍOS Y PRIMOS MATERNOS

Por su paciencia y comprensión

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

Especialmente a Erika M , Mercedes P , Claudia Ch , Claudia A.,
Yuridia V , Leslie M., Isabel V , Iliana F , Cristina M., Araceli L.,
Carmen M , Alejandra R., Alejandro G , Hilda G , Juana M. y
César F

A MI ASESORA BEATRIZ CLAVEL

Por su gran ayuda en la realizacion de esta aventura profesional

A LA U.N.A.M. Y ESPECIALMENTE A LA E.N.E.P CAMPUS ACATLÁN

Por el conocimiento que recibí y permitir desarrollarme
académica y profesionalmente.

A MIS PROFESORES Y SINODALES

Especialmente a Jorge Luis Suárez M , Nora Goris M., Araceli Alvarez
C , Ada Ruth Cuéllar A., Luz María Lavín A , Juan Carlos Rendón,
Laurencio Reyes Moncada, Silvia Larraza, Esperanza Valdez, Laura
Silva, MariCarmen González V , Mayra Olguín, Manuel Valadez,
Aureliano G Marcos, Rocio Rendón y Nora Trejo D

A MIS ALUMNOS Y COMPAÑEROS DE TRABAJO

Porque nunca se termina de aprender.

INDICE

	página
Introducción.....	i
1. Servicios Generales de Mantenimiento en la E.N.E.P. Acatlán	
1.1 E.N.E.P. <i>campus</i> Acatlán	2
1.1.1 En el contexto de la U.N.A.M.	2
1.1.2 Estructura administrativa	4
1.2 Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento	6
1.2.1 <i>Funciones</i>	6
1.2.2 Organización.....	8
1.2.3 Recursos Humanos.....	11
1.2.4 Talleres y servicios que presta	12
1.2.5 Clasificación de herramienta y material	13
1.3 Problemática en la asignación de recursos humanos.....	14
2. Modelo Analítico de Jerarquías	
2.1 Conceptos básicos.....	18
2.2 Conjeturas para el D.S.G.M.	21
2.3 Naturaleza del problema	22
2.3.1 Actores y sus objetivos.....	23
2.3.2 Criterios y alternativas de decisión	25
2.4 Modelo <i>probabilístico de asignación</i>	28
2.4.1 Estructura jerárquica.....	28
2.4.2 Prioridades en la jerarquía	32
2.4.3 Comparaciones en parejas y recíprocos.....	37
2.4.4 Vector de prioridades (probabilístico).....	44
2.4.5 Políticas de decisión (asignación)	51
2.5 Validación de la aplicación del modelo	61
2.5.1 <i>Consistencia y eigenvalor principal</i> λ_{max}	61
2.5.2 Proceso hacia adelante y otros métodos.....	70
2.5.3 Ventajas y hechos del AHP.....	85

3. Diseño y desarrollo del sistema "SSerGen"	
3.1 Conceptos básicos-----	89
3.2 Análisis del modelo aplicado al sistema -----	93
3.2.1 Información disponible -----	94
3.2.2 Requerimientos para el sistema -----	96
3.3 Diseño del sistema-----	98
3.3.1 Diseño general del sistema -----	99
3.3.2 Diseño de pantallas o formas-----	102
3.3.3 Base y tablas de datos -----	118
3.3.4 Flujos de información-----	126
3.4 Módulo de Asignación en SSerGen -----	130
3.4.1 Análisis del módulo-----	130
3.4.2 Métrica de Software y Toma de Decisiones -----	136
Conclusiones -----	138
Bibliografía -----	141

I N T R O D U C C I O N

"No te preocupes por ir despacio,
preocúpate cuando te detengas"

Proverbio Chino

INTRODUCCION

La característica principal que hace la diferencia entre el ser humano y cualquier ente vivo es la capacidad de razonamiento, esto lleva directamente a tener que decidir en cada momento, de entre una serie de alternativas, la acción a realizar ante las problemáticas de la vida

El suponer que existen distintos estilos de gestión administrativa para alcanzar los objetivos planteados y la asunción de que el proceso de *toma de decisiones* está sumamente influenciado por la personalidad o características individuales del tomador de decisiones, conduce a preguntarse ¿cómo ordena cada individuo las actividades que tiene al desarrollar su trabajo?. Expresado en otra forma, ¿cuáles son sus prioridades?, ¿cómo jerarquiza la importancia de las actividades que le permiten o que hacen evidente su labor? y ¿cómo ordena estas actividades?.

Con las interrogantes anteriores, se plantea una pregunta muy interesante. ¿existe algún método que permita manipular los criterios subjetivos de un individuo en el proceso de decisión? A esta última pregunta, la respuesta es afirmativa y se trata del *Proceso Analítico de Jerarquías*.

La presente investigación se centra en el análisis del proceso de toma de decisiones que tiene como responsabilidad el Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento de la E.N.E.P. *campus* Acatlán. El proceso en cuestión, en términos generales, se refiere a la *asignación de personal para la atención de las solicitudes de servicio que hacen los distintos órganos administrativos de la Escuela a los Servicios Generales de Mantenimiento*. La complejidad o la subjetividad de este proceso se hizo evidente cuando se planteó al Departamento de Sistemas de Información de la Escuela el

requerimiento de un sistema de cómputo para dar cause y atención a las solicitudes de servicio

El responsable de Servicios Generales determina la forma en que se atenderán las peticiones de los órganos escolares. Esta decisión está basada esencialmente en la experiencia del decisor y no tanto en el principio de atención, implícito en los procesos de atención de solicitudes de servicios, primero en entrar, primero en salir; puesto que además, cada individuo tiene criterios diferentes de lo que es *prioritario*. En consecuencia, se observa que es conveniente contar con un modelo que contemple esos juicios subjetivos y que en la medida de lo posible propicie que la jerarquización tienda a lo objetivo

Un modelo con las características anteriores, es el Proceso Analítico de Jerarquías, metodología propuesta por Thomas L. Saaty, que encuentra su fundamento en una *estructura jerárquica*. Aplicado a la problemática de la E.N.E.P., esta jerarquía incluye elementos básicos, tales como adscripciones de la Escuela, empleados del Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento, servicios que se ofrecen, las solicitudes mismas, entre otros; para atender en forma oportuna los servicios de mantenimiento en la dependencia

Para llevar a cabo el estudio descrito, primero se hace un análisis operacional del Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento incluyendo la organización y terminología aplicada del propio Depto. Posteriormente, se propone la aplicación del modelo matemático basado en el análisis jerárquico para el proceso de atención de solicitudes como un auxiliar directo a la toma de decisiones.

El modelo presenta una formulación matemática que en la práctica rara vez es tomada en cuenta por considerar que los planteamientos matemáticos son demasiado complejos o abstractos; que no obstante, constituyen un sistema axiomático construido a partir de hechos reales que sostienen la validación durante la investigación. Algunos de los conceptos importantes que sobresalen en la metodología utilizada son: *jerarquía, sistema, comparación en pareja, matriz, eigenvalor, vector propio, vector probabilístico y asignación*, los cuales serán planteados de la manera más simple posible para la comprensión del usuario final del sistema o, inclusive, del modelo

Finalmente, se presenta el diseño detallado para que el modelo sea desarrollado en un sistema de información por computadora que ayude a decidir quién y en qué momento atenderá las solicitudes de servicio por parte del Depto. de Servicios Generales de Mantenimiento. Además, este sistema incluirá una bitácora histórica de la información que se origine a partir de la asignación de recursos, registrando información indispensable como las características de los empleados del Depto., los requisitos de las solicitudes de servicio, reportes de información, etc.

La idea de aplicar un modelo matemático es originada a partir de la formación profesional del autor de esta investigación, pretendiendo aplicar los conocimientos universitarios a una problemática real de toma de decisiones, sin olvidar que existen estilos distintos para llegar a un resultado similar.

En este sentido, el análisis matemático y el diseño del sistema de cómputo se lleva a cabo con la finalidad de conjuntar las dos disciplinas básicas en la formación profesional de un Licenciado en Matemáticas Aplicadas y Computación . las *matemáticas* y la *computación* Con este proyecto de investigación, se espera evidenciar la capacidad del sustentante para obtener el Título Profesional al aplicar los conocimientos al servicio del bienestar común, particularmente a la Escuela Nacional de Estudios Profesionales *campus Acatlán*

C A P I T U L O I

Servicios Generales de Mantenimiento en la E.N.E.P. Acatlán

"La educación tiene 2 fines : por un lado formar la inteligencia; por otro, preparar al ciudadano. Los atenienses se fijaron más en lo primero; los espartanos, en lo segundo. Los espartanos ganaron. Pero los atenienses perviven en la memoria de los hombres"

Bertrand Russell

CAPITULO I

SERVICIOS GENERALES DE MANTENIMIENTO EN LA E.N.E.P. ACATLÁN

La Escuela Nacional de Estudios Profesionales Acatlán es una institución de educación superior dependiente de la Universidad Nacional Autónoma de México, una unidad multidisciplinaria que responde a las demandas educativas y al desarrollo de México como país. Esto involucra, tanto la oferta de estudios superiores como infraestructura para desarrollar tareas docentes y académicas.

Como parte de la organización administrativa de la E.N.E.P. Acatlán, se encuentra el Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento que se encarga básicamente del apoyo físico a los diferentes órganos de la Escuela para que sus instalaciones e inmuebles sean adecuados a las necesidades de la misma y no sean un obstáculo en los objetivos que se plantea la Institución.

El responsable de la organización y buen funcionamiento del Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento (que de aquí en adelante se abreviará como D S G M), es el Jefe del Departamento. Esta persona es la encargada, entre otras cosas, de que el Departamento con el que se ha comprometido atienda en forma oportuna las actividades y funciones que se le han encomendado.

Un punto primordial para cualquier persona que tiene a su cargo uno o más miembros de una organización o empresa, es la manera de cómo va a disponer de su

personal para llegar, en forma satisfactoria, a los objetivos particulares del departamento o *área de trabajo*, e inclusive los objetivos generales de la empresa

En el presente capítulo, se exponen los conceptos básicos de cómo opera el D.S.G.M. de la E.N.E.P. Acatlán, llegando a singularizar en el funcionamiento del Departamento. Continuando con este esquema, se concluye con un esquema general del *problema de asignación de actividades*, tema de esta investigación, y se toma como base para el desarrollo de los capítulos

1.1 Escuela Nacional de Estudios Profesionales *campus* Acatlán

1.1.1 En el contexto de la U.N.A.M.

En respuesta a las exigencias educativas de México, la Universidad Nacional Autónoma de México a través del H Consejo Universitario, aprueba la creación de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales *campus* "Acatlán" en 1974. De conformidad con la Ley Orgánica de la U.N.A.M., las autoridades de esta nueva Escuela son un Director y un Consejo Técnico

En los 24 años de vida del *campus*, se ha logrado un reconocido prestigio en el desarrollo del país por parte de los profesionistas que han egresado de la Escuela, en sus áreas de Matemáticas e Ingeniería, Humanidades, Diseño, Socioeconómicas y Jurídicas. Además, los investigadores y profesores que forman parte de la Institución, buscan un crecimiento paralelo a la formación de nuevos profesionistas.

El objetivo primordial de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Acatlán es fundamentalmente el mismo que el de la Universidad Nacional Autónoma de México, es decir, *impartir educación superior para formar profesionales útiles a la sociedad, fomentar la investigación y difundir los beneficios de la ciencia y la cultura*

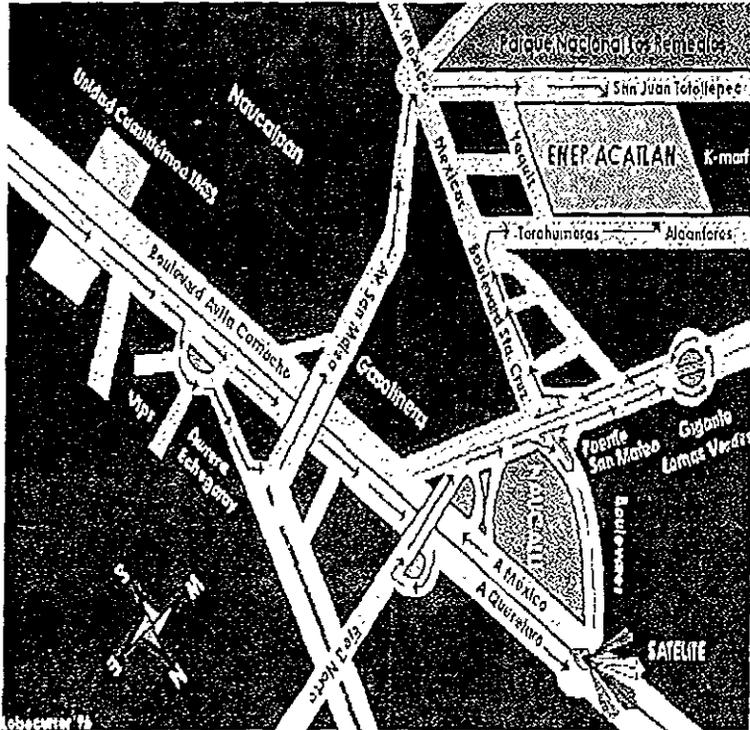
Han transcurrido más de veinte años desde que la E.N.E.P. Acatlán abrió sus puertas y hasta la fecha ha cumplido las metas que se planteó originalmente y dedica un mayor esfuerzo para el cumplimiento de nuevos propósitos con el fin de responder a una

creciente demanda de educación profesional. Las metas actuales se originan debido a *diversos factores*, entre los que destacan el avance tecnológico, la interacción entre las distintas áreas de estudio, la revisión de planes de estudio, el desarrollo económico y político del país, etc

Actualmente la U.N.A.M y la E.N.E.P. Acahualtán, hacen un gran esfuerzo por procurar que cada *órgano administrativo* que las conforma, tenga como prioridad la formación integral de cada uno de sus estudiantes. Así, tanto las instalaciones, el equipo y todos aquellos aspectos académicos que se contemplan en una institución de esta índole están totalmente comprometidos con la cumplimentación de esta meta

Hoy, la población estudiantil de la Escuela es superior a los 18,000 alumnos y está conformada físicamente por 28 edificios destinados a apoyar las labores de ejercicio de cátedra, apoyo académico, posgrado, investigación y servicios. Esto implica además, una gran responsabilidad por parte de las autoridades escolares, ya que se necesita de una visión general y eficiente en procurar que los recursos materiales y la infraestructura no representen un obstáculo en el logro de los objetivos planteados por la E.N.E.P. al verse en condiciones inadecuadas, deteriorados o subutilizados

Con una superficie de más de 30 hectáreas, el *campus* universitario, situado en el municipio de Naucalpan Estado de México, es uno de los más grandes y funcionales del área metropolitana que atiende principalmente las necesidades de la zona Noroeste. Con instalaciones en Avenida Alcanfores y Avenida San Juan Totoltepec, la Escuela tiene como referencia al sur el Parque Nacional Los Remedios y el CCH plantel Naucalpan, al norte las oficinas de Tránsito de Naucalpan y el Parque Recreativo Naucalli, al este Residencial de Echegaray y al oeste la tienda de autoservicio Mega Comercial Mexicana San Mateo, antes K-mart. El mapa muestra las formas usuales de acceder al campus:



1.1.2 Estructura Administrativa

La ENEP Acatlán tiene una compleja estructura administrativa que involucra un gran número de órganos, este estudio toma como base parte del funcionamiento interno del Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento adscrito a la Superintendencia de Obras y Mantenimiento, ésta a su vez, es dependiente de la Secretaría Administrativa. Finalmente, la Dirección es la encargada de supervisar las funciones de la Secretaría Administrativa

A continuación, se hace mención de los objetivos principales definidos para cada uno de estos órganos :¹

¹ Tomados del Manual de Organización de la E.N.E.P. Acatlán.

Dirección

Propiciar la formación integral de profesionales, atendiendo al desarrollo intelectual, social, emocional y físico; de manera que sean promotores del cambio para la consecución de una sociedad que dé más valor a la justicia, la cultura y la responsabilidad, a través de un proyecto académico con una triple vertiente: innovación, interdisciplinariedad e inserción en el entorno."

Para llegar satisfactoriamente a la realización de este objetivo, es de suma importancia tener un espacio físico para el desarrollo apropiado de las actividades involucradas, ya sean de intelecto, sociales, emocionales o físicas. Esto se menciona porque en el presente estudio se considera una parte primordial el mantenimiento de dichos espacios, dado que sin ellos, sería casi imposible llegar a cumplir las metas propuestas por la E.N.E P.

Secretaría Administrativa

Planear, dirigir, coordinar, supervisar y controlar los servicios y recursos humanos, materiales y financieros en que se apoyan las funciones académicas y de extensión, coadyuvando al logro de los objetivos sustantivos de la Dependencia "

En el objetivo de éste órgano se observa que está bajo la responsabilidad de esta adscripción, los servicios y materiales necesarios para que la Escuela se encuentre en funcionamiento constante al coordinar y vigilar adecuadamente la obtención y aplicación de recursos humanos, financieros y materiales.

Superintendencia de Obras y Mantenimiento

Implementar y dirigir las acciones para el logro de una eficaz solución en las áreas de construcción y reacondicionamiento de instalaciones, así como de obras en mantenimiento preventivo y correctivo de las áreas civil y electromecánica, además de vigilar la calidad y costo/beneficio en apego a la normatividad establecida por la Dirección General de Obras y al programa de ejecución autorizado por la Dirección de la Escuela."

El objetivo indica en forma clara y precisa un servicio de mantenimiento preventivo y correctivo para las instalaciones de la Escuela, así como remodelaciones y

ampliaciones. Directamente ligado a este órgano se encuentra el Departamento en estudio, que obviamente, tiene que ver con la conservación y mantenimiento de inmuebles e instalaciones académicas.

Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento

Planificar, organizar, dirigir y controlar los sistemas y mecanismos de servicios de apoyo necesarios para mantener en operación continua, confiable y segura la totalidad de las instalaciones, inmuebles y equipo con que cuenta la Dependencia "

Para cumplir con este objetivo, el D.S G M. debe tener una especial afectación en los recursos humanos del Departamento, ya que son los encargados de realizar las actividades para el mantenimiento de la Escuela. Esto quiere decir, que la persona encargada de organizar al personal de dicho Departamento, es también la responsable del mantenimiento y obras menores que se realizan en la Escuela. Es importante hacer la observación de que si no se organiza de forma apropiada al personal adscrito a este órgano no se pueden llevar a cabo las actividades propias del Departamento, que básicamente son manuales. Al considerar así estos actos, se deben estudiar un gran número de situaciones y factores en las cuales, sólo la gente capacitada y responsable será la que más contribuya a la eficiencia de dichos mecanismos.

1.2 Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento

1.2.1 Funciones

Como integrante de la Superintendencia de Obras y Mantenimiento, el Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento, tiene diferentes funciones de organización y dirección para llegar a cumplir oportunamente el objetivo propuesto para el Departamento, es decir, programar y coordinar de manera adecuada las actividades propias de los servicios de mantenimiento que se prestan a los diversos órganos de la ENEP

A continuación se mencionan, las principales funciones que desempeña el D S G M.².

- ♦ Establecer, en coordinación con la Superintendencia de Obras y Mantenimiento, los programas y procedimientos de trabajo que permitan brindar los servicios de mantenimiento que requieren las instalaciones de la Escuela para su funcionamiento.
- ♦ Programar, controlar y organizar los servicios a proporcionar por los talleres de Herrería, Cerrajería, Plomería, Albañilería, Electricidad, Carpintería y Calderas, así como la conservación y mantenimiento de las áreas verdes con que cuenta la Dependencia
- ♦ Coordinar, dirigir y controlar la ejecución de trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo en las instalaciones, mobiliario y equipo, con base en la programación y/o recursos existentes.
- ♦ Coordinar y regular los servicios generales demandados por las instancias que conforman a la Dependencia, mediante los procedimientos establecidos.
- ♦ Conforme a programación, realizar reparaciones y proporcionar mantenimiento periódico en las instalaciones, mobiliario y equipo no especializado en la Escuela.
- ♦ Coordinar y desarrollar estudios y proyectos que se le encomienden dentro de su esfera de competencia y para la atención de una necesidad específica.
- ♦ Analizar, elaborar y someter a consideración de la Secretaría Administrativa, las requisiciones de equipo, materiales y herramientas en auxilio a las responsabilidades y servicios confiados al Departamento
- ♦ Participar y auxiliar en el desarrollo de los programas anuales de mantenimiento, obras menores y acondicionamientos, aprobados por la Secretaría Administrativa de la Dependencia
- ♦ Detectar requerimientos en materia de capacitación y desarrollo del personal adscrito al Departamento, proponiendo y/o auxiliando las acciones y programas correspondientes.
- ♦ Determinar y solicitar los requerimientos de útiles y materiales necesarios para el personal especializado del Departamento, así como el control de su correcta utilización

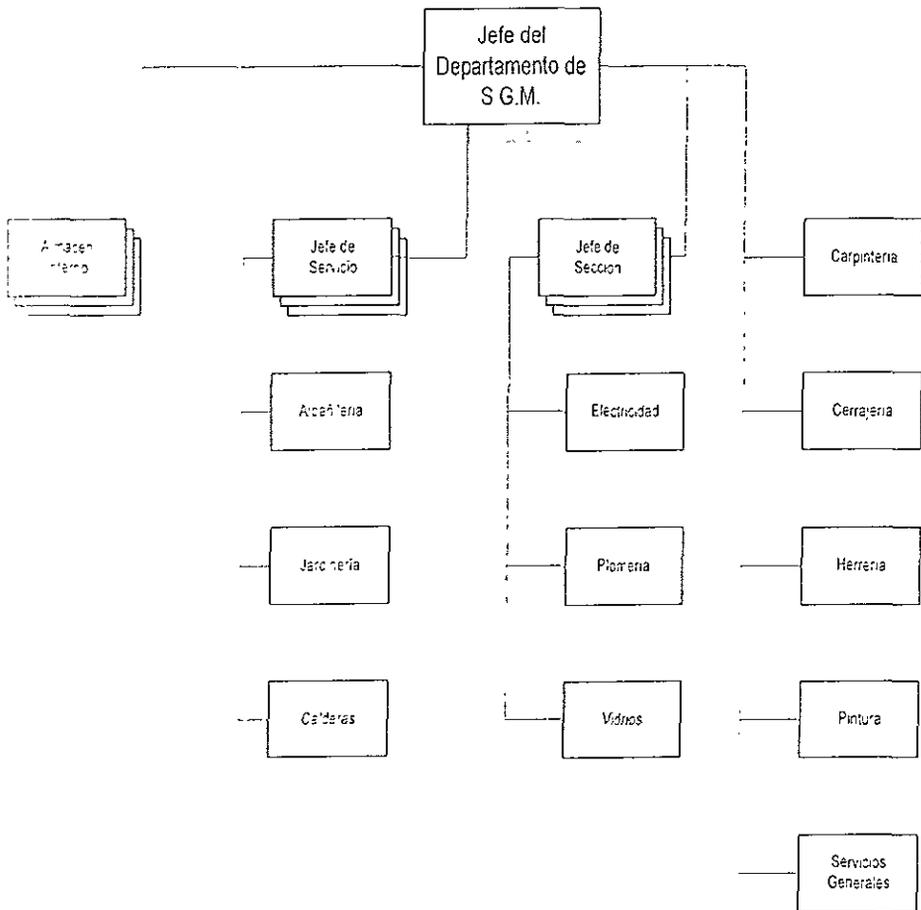
² Tomadas del Manual de Organización de la E.N.E.P Acatlán

- ♦ Realizar las actividades encaminadas al cumplimiento de los planes de trabajo a través de la dirección y control del personal adscrito al Departamento y conforme a las políticas establecidas por la Secretaría Administrativa

La última función mencionada es de gran importancia para la justificación en la presente investigación, ya que se señala una dirección y control del personal adscrito al D S G M para el desarrollo de las actividades diarias encomendadas. Esto implica que si no se sabe organizar al personal, no se podrá realizar una función adecuada; en consecuencia, se observa que las actividades propias del Departamento giran alrededor del personal. Las funciones restantes, hacen referencia básicamente, a las formas en como debe operar el D.S.G.M y mantener en buen estado las instalaciones de la E N E P

1.2.2 Organización

El D S G M se integra por el Jefe del Departamento, que es el encargado de que se cumplan en forma precisa las funciones encomendadas al Departamento. Además, es la persona que indica cómo será distribuido el personal a las diferentes actividades. También debe llevar un control del material y herramienta con que se cuenta en el almacén interno. El siguiente esquema expone la organización del Departamento



En este sentido, el Jefe del Departamento, tiene a su cargo personal responsable de área, como la persona que lleva el control del almacén interno o los jefes de servicios o sección, hasta las personas que se encargan de realizar las actividades, como carpinteros, albañiles, cerrajeros, plomeros, etc.

Además, se debe considerar, que la persona que toma la decisión, tiene la libertad de elegir a *libre albedrío*³ cómo se trabajará o cómo se realizará la atención a las

³ Bertrand Russell, en su libro *La Perspectiva Científica*, hace una excelente definición implícita al respecto : "Un átomo puede saltar de uno de estos estados al otro, y puede ejecutar varios saltos diferentes. En la actualidad no se conocen leyes para saber cuál de los saltos posibles tendrá lugar en una ocasión determinada,

diferentes solicitudes. Algunos conceptos importantes son la aplicación de la *prioridad* que se tiene con respecto al organigrama de la Escuela, la fecha de solicitud o el personal disponible para un día cualquiera; en las páginas siguientes se verán éstas con más detalle.

Como ejemplo de esto, considérese el caso en el que un lunes de cualquier semana, la Jefatura de Ingeniería Civil solicita la reparación de una puerta. Por motivos de trabajo no se ha podido atender la solicitud para el fin de semana, esto puede deberse a que sólo hay un carpintero y que está ocupado durante la semana (se sobreentiende que está atendiendo otra solicitud). Llega el viernes y el D.S.G.M. recibe una solicitud de carpintería por parte de la Dirección, ese viernes por la tarde, el carpintero se desocupa de su tarea y queda disponible para que se le asigne una nueva actividad. El próximo lunes se le asignará dicha actividad, la pregunta es ¿cuál será la próxima actividad que debe realizar?

La respuesta a la pregunta anterior, puede variar dependiendo de la persona que debe tomar la decisión. Así, la respuesta puede ser atender la solicitud hecha por la Jefatura en lugar de la solicitud de la adscripción Dirección, la justificación puede ser que se solicitó primero. Otra posible respuesta, es atender primero la solicitud de la Dirección y la justificación sería que tiene mayor *prioridad o jerarquía*, o bien se atiende primero a las solicitudes de la Dirección (por ser el órgano principal de la Institución) y luego otras instancias.

Esto no debe ser un obstáculo en el planteamiento de un modelo matemático o el desarrollo de un sistema de cómputo; por el contrario, advierte que en el avance del proyecto, la opinión de la persona que toma la decisión debe ser de esencial importancia. Por tal motivo, mientras más se considere este juicio, mayor será el beneficio que se obtendrá de la solución planteada (ya sea un sistema, un modelo matemático, de organización, etc.) ya que su aproximación a una situación real estará dada conforme a ese razonamiento.

Y se sugiere que el átomo no está sujeto a ninguna ley en este particular y que posee lo que podría llamarse por analogía *libre albedrío*³.

1.2.3 Recursos Humanos

El número de personas que trabajan en este Departamento es muy variable, esto involucra una actualización constante en la clasificación del personal. Así por ejemplo, antes se podía contar con una persona para realizar un servicio determinado, supóngase herrería, después de un tiempo, esta persona también puede realizar actividades de plomería, por tal motivo, solicita su cambio de herrero a plomero. Al realizar el cambio, se debe considerar que esa persona en un momento determinado (piense que falta el herrero), puede realizar actividades de herrería y plomería. Evidentemente, esta situación deberá ser de común acuerdo con el empleado en cuestión y el Jefe de Departamento.

En algunos servicios, se cuenta con *jefes de servicio o sección* que facilitan la organización de una actividad, agrupando un número de personas que realizan una solicitud de trabajo específica; de esta selección será el jefe de servicio o sección el que represente y sea responsable de que se lleve a cabo la petición de servicio. Tómese como ejemplo *jardinería*, en este servicio se refiere sólo a un individuo para indicar que un conjunto de personas realizará el mantenimiento de las áreas verdes en un lugar o espacio determinado. Por otra parte, se tienen otros *servicios o talleres* en los cuales sólo una persona se encarga de atender directamente una demanda de servicio de cualquier órgano de la Escuela.

El personal se puede clasificar de acuerdo a la demanda de tareas para cierto tipo de servicio. En lo referente a servicios como electricidad y plomería, que requieren de una revisión continua de las instalaciones, se organiza el personal de acuerdo a áreas físicas, es decir, se asigna un determinado número de edificios en los cuales, los trabajadores deben hacer revisiones periódicas a las instalaciones y en su defecto hacer las correcciones pertinentes.

Un punto muy importante al hablar de recursos humanos, son las condiciones bajo las que se contrata al personal. Un elemento es el horario de trabajo o la *jornada laboral*, para el caso de estudio ésta se determinará como matutino o mixto. Al tratar de empleados sindicalizados o de base en un organismo como la U.N.A.M., se debe considerar las diversas prestaciones con las que un empleado cuenta, como días económicos, vacaciones, incapacidades, cursos de capacitación, etc. Al tener una visión

real de como se afrontan estas situaciones, se tiene un mayor control y una mejor atención hacia los clientes, que en este caso son los órganos de la Dependencia.

Un empleado, tiene asignada una *categoría* predeterminada, es decir, la principal función que desempeñará dentro de la organización. Así se cuentan con carpinteros, albañiles, herreros, electricistas, cerrajeros, etc. Imagine que el D.S.G.M. sólo cuenta con un cerrajero, ¿qué pasa cuando ésta persona no se encuentra en el Departamento?, esta situación puede ocurrir, por ejemplo, cuando el empleado solicita vacaciones. Dado que no se pueden dejar archivadas un número indeterminado de solicitudes, una *alternativa* puede ser capacitar a más personas para este tipo de situaciones, o inclusive contratar una persona por obra o sólo por un tiempo determinado. La conclusión de esta sección es que el tomador de decisiones en el D.S.G.M. debe tener la habilidad para determinar las acciones a seguir en los casos particulares de cada persona adscrita al Departamento.

1.2.4 Talleres y servicios que presta el D.S.G.M.

Para el presente estudio, se considerará un *taller* como el equivalente a un *servicio* , no sin antes dejar de mencionar, que la diferencia principal entre estos conceptos, aplicada al D S G M ⁴, es que un *taller* es el que se encuentra en un espacio físico determinado (por lo general en las instalaciones del Departamento), es decir, la tarea a realizarse no requiere que la persona acuda, el tiempo que dura la atención del servicio, a la ubicación física del órgano que hace la solicitud para que ésta se realice en forma satisfactoria.

En este sentido, un *servicio* , se refiere a la función o a la acción que se realiza para atender cualquier solicitud de un Servicio General de Mantenimiento y ésta puede ser desarrollada en las instalaciones del órgano solicitante o en el propio Departamento, según convenga para atender la petición en forma oportuna y favorable al solicitante.

Los *servicios* que se prestan son .

⁴ En términos coloquiales, un *taller* se refiere a un estudio, fábrica, manufactura, etc. en conclusión es el espacio físico. Y un *servicio* , es una prestación, función, ocupación o beneficio de una persona (empresa) en relación con otra, que se podría considerar como un espacio lógico

- ☞ **Albañilería** . referente a la construcción de obras menores.
- ☞ **Carpintería** : involucra la atención a todo aquello que se relacione a un trabajo manual con la madera, como puertas, libreros, archiveros, etc.
- ☞ **Herrería** . se refiere al mantenimiento de las estructuras metálicas que se tienen en las instalaciones de la Escuela.
- ☞ **Plomería** es un servicio que atiende básicamente el agua y drenaje del *campus*.
- ☞ **Electricidad** . una actividad *primordial* para un servicio indispensable, como es el buen funcionamiento de lámparas e instalaciones eléctricas.
- ☞ **Pintura** : este servicio se solicita *principalmente* al llevar a cabo una nueva construcción o remodelación de las instalaciones, por ejemplo las paredes
- ☞ **Cerrajería** : todo lo referente a llaves y chapas de las puertas, archiveros, cubículos, etc se clasifican en este servicio.
- ☞ **Jardinería** . este servicio se encarga de las áreas verdes, indispensables en la *presentación* de nuestra Escuela
- ☞ **Vidrios** : como parte de la revisión y mantenimiento general, se encuentran todos los vidrios, es decir, proceder a la *limpieza y/o cambio* en caso necesario.
- ☞ **Otros** se tienen otros servicios como *calderas* (que es la limpieza de las calderas de los vestidores del área deportiva) y *servicios generales* (como *acarreos de muebles*, equipo, etc)

1.2.5 Clasificación de herramienta y material

El Departamento cuenta con una gran variedad de herramientas, material y equipo. A continuación se hace una breve descripción de ellas.

Para la realización de las actividades, en ocasiones, se requiere sólo del *material*, o elementos físicos, esto puede suceder cuando un órgano de la Escuela requiere la sustitución de algún componente de las instalaciones, por ejemplo una chapa. En este caso se hace una *solicitud de material* y también se considera la cantidad de material utilizado por el órgano, es decir, no será factible que un órgano pida en un momento cualquiera 10 chapas, a menos que se tenga una justificación para la petición. Por tal

motivo, se debe manejar algo similar a un crédito⁵ para cada órgano administrativo, atendiendo con ello a las demandas de material.

Las *herramientas* se refieren a los instrumentos, los cuales un empleado requiere, en forma indispensable, para poder realizar una tarea determinada. Cabe hacer mención de un concepto importante que se maneja en el D.S.G.M., éste se refiere al *resguardo* de una herramienta hacia un empleado, el cuál se hace responsable por el buen uso de dicha herramienta, esto indica que una persona puede tener en su poder por tiempo indefinido una herramienta que por lo regular se les llaman herramientas menores e indispensables, como martillo, desarmador, cuchara de albañil, pinzas, etc.

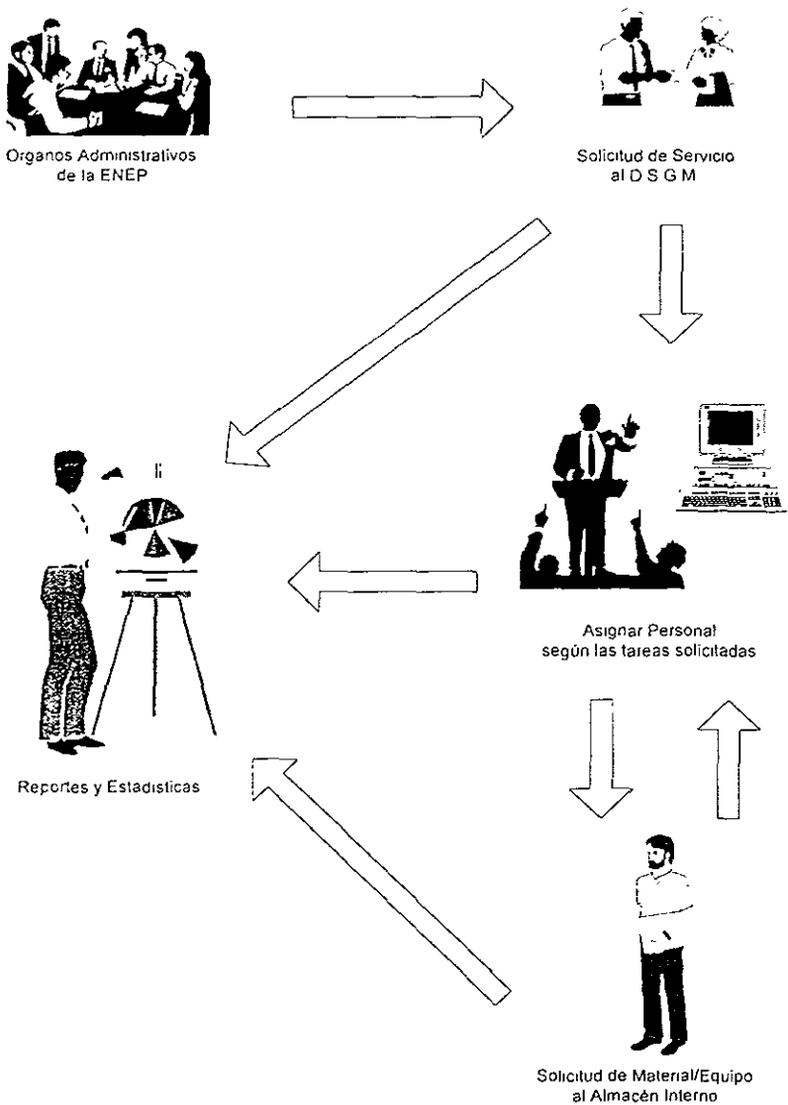
El *equipo* es un aparato de gran importancia en la realización de diversas tareas realizadas en un taller, que puede ser una herramienta, sólo que en este caso se hace referencia a una *herramienta mayor*, la cuál no se puede resguardar, es decir, un empleado no puede contar con ese equipo en cualquier momento o en cualquier lugar y como ejemplo se tienen las máquinas podadoras, cortadoras, soldadoras, sierras, etc.

Para la investigación se considera *análoga una herramienta a un equipo* y la *distinción* de un resguardo será responsabilidad de la persona que hace el resguardo, ya que se encuentran inventariadas y, en esos términos, puede llegar el momento en que se consideren similares.

1.3 Problemática en la asignación de recursos humanos

Dentro de la organización de la E.N.E.P. Acatlán, se tienen diferentes órganos a los cuales el Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento brinda un servicio para que las instalaciones concernientes a dicho *campus* de la U.N.A.M. se encuentren en buen funcionamiento, para ello considere el siguiente flujo de información:

⁵ Entendase por *crédito*, la autorización de la Escuela para otorgar un número determinado de material a un órgano específico, es decir, determinese un valor numérico que indique el límite para solicitar material de cualquier tipo, en consecuencia, el material deberá tener un valor, véase como un *precio*. En este sentido, el órgano deberá administrar su *crédito*.



Con base en este flujo, se observa que cualquier órgano de la Escuela requiere del correcto funcionamiento de sus instalaciones para el desarrollo de sus actividades y, en caso necesario, se realiza una *Solicitud de Servicio* al Departamento de Servicios

Generales de Mantenimiento (D.S.G.M.), especificando el tipo de servicio, el órgano y la descripción del servicio requerido.

El D.S.G.M. recibe la solicitud y de acuerdo a ésta asigna de entre el personal disponible al empleado idóneo para dar el servicio. Una vez que se elige la persona que realizará dicha tarea, se *determina el material y equipo de trabajo* que se requiere, efectuando para ello la correspondiente *solicitud de material o vale al almacén* del Departamento por la herramienta y/o equipo. Por último, para llevar un buen control y seguimiento en las actividades del Departamento, se necesitan realizar *diversos tipos de reportes*, los cuales ayudarán en informes y estadísticas de rendimiento en el D.S.G.M.

En ocasiones el responsable de tomar decisiones en el D.S.G.M., como la distribución del trabajo, afronta las siguientes problemáticas :

⇒ Cuando se tiene una *Solicitud de Servicio*, se encuentra el inconveniente en la persona que toma la decisión de *quién* y en *qué* momento se va a realizar una tarea determinada; esto puede llevarse a cabo a su *libre albedrío*, propiciando que *tal vez no se considere a todas aquéllas personas capaces de realizar la misma actividad con el mismo o incluso con mayor eficacia*. En este orden de ideas, surgen las interrogantes *¿es un modelo matemático más apropiado que el juicio de una persona?, ¿se puede hacer una abstracción de los juicios o la experiencia del tomador de decisiones, de tal manera que se plasme cuantitativamente?*

⇒ Se debe considerar que se tienen *prioridades* de diversas índoles, por ejemplo para atender *solicitudes*, *asignar al personal*, material y equipo. Por tal motivo, no necesariamente se puede aplicar una política de atención PEPS - Primero en Entrar, Primero en Salir - (FIFO, First Input, First Out) a la demanda de servicios. Dado que en el proceso de toma de decisiones, aún cuando sea "*totalmente racional*", interviene un elemento aleatorio difícil de predecir⁶, *este inconveniente se encuentra al aplicar una política de asignación que considere las características especiales o particulares del Departamento o incluso la organización del campus universitario*. El lector podrá preguntarse *¿se pueden indicar prioridades en un modelo matemático?, si es así ¿cuál*

⁶ Ikramar, "El mundo de Platón"

deberá ser el modelo apropiado?, y finalmente ¿puede ayudar esta idea a encontrar una política de atención a clientes?

⇒ Algunas veces, los órganos no requieren de un servicio del Departamento, solamente requieren *material*. Para este caso, dependiendo del órgano, la demanda y oferta del material, se otorgará o no el servicio de material. Aquí, el criterio de la persona que toma la decisión también se puede encontrar bajo diversos factores de presión que involucran una decisión incierta. Piense en lo siguiente ¿cómo se puede tener almacenada la información con las características particulares de cada órgano?, ¿cómo se identifica el material que puede ser repartido entre las adscripciones de la Escuela?, ¿se puede desarrollar un sistema de cómputo que incluya un apartado para el almacén interno del Departamento?.

⇒ Al trabajar con una gran cantidad de información, se debe tener un control y seguimiento de las actividades propias del Departamento, para ello se realizan diferentes *reportes y/o estadísticas* que ayudan a cuantificar el rendimiento del D.S.G.M., estos informes son elaborados *manualmente por el Jefe del Departamento* o personas responsables de áreas, esto implica *un gran número de papeles y la inversión de mucho tiempo del personal, en revisión y corrección para obtener dichos reportes*. En este punto, el lector podrá cuestionarse ¿es conveniente desarrollar un sistema informático para el D.S.G.M.?, ¿si se desarrolla un modelo matemático para asignar tareas, puede ser incluido en el sistema de cómputo?, ¿se obtendrán informes rápidos y confiables al almacenar la información que arroje un modelo analítico?

Estos planteamientos dan la pauta a seguir en la presente investigación, esperando molivar la atracción hacia el estudio analítico del hecho y las soluciones propuestas para cada situación o cuestionamiento.

C A P I T U L O I I

Modelo Analítico de Jerarquías

"El medio ambiente actual llama a una nueva lógica, a una nueva forma de trabajar con los factores observados que afectan los juicios que hacemos y las conclusiones obtenidas. Esta aproximación será justificable, fácil de aplicar e interesante a nuestro beneficio"

Thomas L. Saaty

CAPITULO II

MODELO ANALÍTICO DE JERARQUÍAS

2.1 Conceptos básicos

Existen diversos modelos que ayudan en la asignación de actividades académicas, materiales, de personal, etc. Considere desde los simples planteamientos determinísticos, en los cuales se necesita forzar un proceso a que tenga un valor específico (generalmente cuantitativo), hasta los modelos probabilísticos o estocásticos, que son los más utilizados, ya que representan mejor la realidad, de hecho en todo proceso se encuentra el fenómeno aleatorio en mayor o menor grado.

Una problemática común de quien tiene a su cargo personas o empleados de una empresa, es que no existen modelos matemáticos cuyo planteamiento sea sencillo para resolver una situación en donde se considere el personal y, en consecuencia, no son tan *confiables*⁷ como se quisiera cuando se lograra adecuar alguno a la situación particular de estudio. Esto origina que la persona que toma la decisión no utilice el modelo que se ha planteado para ayudarle o que lo emplee en forma incorrecta. Cuando no se tiene la certeza de las ventajas que puede tener el uso de un modelo matemático (por sencillo que este sea), se puede llegar al punto de rechazarlo y llevar el proceso de decisión bajo los principios de la improvisación, al utilizar esta forma para resolver problemas, se

⁷ Entiéndase por *confiable* el tiempo que dura el modelo o que es utilizado, un modelo poco confiable indica que no representa eficientemente los procesos reales y en consecuencia se aplica muy poco tiempo. Además, se considera que debe ser un modelo con una confiabilidad de servicio al involucrar los recursos humanos.

pierden características básicas de la *metodología científica*, desde la etapa de observación hasta la deducción.

La teoría Analítica de Jerarquías, tuvo sus inicios a finales de 1971, cuando Thomas L Saaty, el principal precursor, estudiaba problemas de planeación para el Departamento de Defensa de Estados Unidos de Norteamérica. Entre 1974 y 1978 la metodología tuvo un avance teórico que refleja ésta como un "método innato de operación de la mente humana"⁸. En la década de los 80's y 90's, la aplicación del modelo se extiende a proyectos no estructurados en las ciencias económicas, sociales, administración e indiscutiblemente del área físico-matemática.

El modelo está basado en la idea de *jerarquía* concebida como un sistema de niveles estratificados, en los cuales cada uno puede estar compuesto de muchos *elementos* o *factores*. Esos elementos pueden ser agrupados de acuerdo a un conjunto de propiedades generando las características de un nivel, de esta forma se obtiene el nivel más alto de la estructura jerárquica, llamado *límite superior* que estará compuesto por un sólo elemento, considerado como una *meta* para un proceso de toma de decisión.

Quien diseñe la *jerarquía* debe estar consciente de cómo los elementos del nivel más bajo incluyen al nivel más alto, esto se estipula por su intensidad o *prioridad*, es decir, el valor numérico que modifique la respuesta de las interrelaciones e indique el grado en que se afectan mutuamente. La determinación de prioridades se reduce a una secuencia de problemas de prioridad, una para cada nivel, y cada problema a un proceso de comparaciones *subjetivas* de parejas⁹. Estas comparaciones en pareja son consideradas como la parte fundamental de la teoría analítica jerárquica.

El Proceso Analítico de Jerarquías (AHP por sus siglas en inglés), se fundamenta en que la mente humana es la base de operación de todo proceso, esto origina que sea la encargada de definir y estructurar tanto problemas simples y complejos. Por ello se derivan 3 características básicas :

⁸ The Analytic Hierarchy Process, Thomas L. Saaty, Prefacio

⁹ Estas comparaciones de elementos varían dependiendo de la persona que las esté realizando, es por ello que se consideran *subjetivas*.

- 1) Desde la construcción de la jerarquía hasta las prioridades o ponderaciones otorgadas, el individuo forma grupos sucesivos de artículos o componentes de cada nivel, mostrando con ello la *capacidad de distinguir entre niveles de complejidad*.
- 2) Una jerarquía para un problema en particular se puede estructurar de formas diferentes según el criterio del individuo, pero si los juicios de un individuo a otro son similares, sus respuestas serán parecidas; concluyendo *que pequeñas diferencias en la jerarquía, en la práctica no afectarán la decisión* que se obtenga con el modelo.
- 3) En los fundamentos teóricos *se encuentra matemáticamente la forma lógica para manejar los juicios* otorgados por los individuos; sin perder la subjetividad se recurre al álgebra lineal y la teoría de matrices como áreas de apoyo para el modelo.

A partir de estas características, se observa que los participantes que intervienen en la decisión, encuentran que este tipo de proceso incluye su *pensamiento intuitivo acerca del problema*. Además, los límites psicológicos parecen estar coordinados con las condiciones para la consistencia matemática de los resultados.

El AHP considera otros preceptos como el hecho de que la mente humana tiene la habilidad para contar o reconocer que una colección de objetos es *pequeña*, que se incrementa o disminuye inclusive; o el proceso de identificar eventos distinguiendo la intensidad o grado de diferencias entre ellos de acuerdo a las propiedades que tengan en común. En este orden de ideas, se considera que una característica *cualitativa* no es una forma *clara* para comprender las diferencias, por ello se requiere ser más específico desarrollando el sentido de los números y el problema de la medición¹⁰, es decir, asignando números a objetos (cosas que pueden verse o tocarse) y eventos (resultados, consecuencias o productos) de acuerdo a reglas.

¹⁰ El problema de la medición se plantea como las describe Juan Díez Medrano en su libro Métodos de Análisis Causal (págs. 11-15): La medición consiste en dos etapas principales, la primera es la definición de lo que se va a medir y la segunda es la operacionalización de lo que va a medirse, basándose en esa definición. Esta propuesta de Díez Medrano, no es la única que se ajusta a la AHP, como se observa en el libro Metodología de la Investigación de Hernández Sampieri, y otros (Capítulo 9) en donde relacionan la etapa de recolección de datos de una investigación, con tres actividades: a) Seleccionar un instrumento de medición, b) Aplicar ese instrumento de medición, y c) Preparar las mediciones obtenidas.

En general, la metodología se usa para modelar problemas que incorporan el conocimiento y los juicios subjetivos de tal forma que puedan ser articulados, evaluados, debatidos y ponderados. A pesar de ello, se debe estar consciente que bajo las mismas condiciones existe una gran variedad de modelos matemáticos o estilos para tomar una decisión en un problema determinado, esto dependerá del grado de confianza y eficacia de la respuesta que se obtenga y/o se desee.

2.2 Conjeturas para el D.S.G.M.

Al finalizar el capítulo anterior, se mencionaron cuatro problemáticas que se presentan en el D S G M., a saber . a) quién y en qué momento se atenderá una solicitud de servicio, b) las prioridades que se otorgan para decidir la atención de las solicitudes, c) la distribución del material a las adscripciones a pesar de que no se realice una petición de servicio, y d) Emisión de reportes y cálculo de estadísticas. Estos planteamientos son la pauta para realizar las siguientes suposiciones .

⇒ Si se desea asignar una persona para que realice una solicitud de servicio de tal manera que en la elección de ése alguien se consideren a todos los individuos capaces de realizar la misma tarea concerniente a dicha solicitud, se debe utilizar un modelo en cuyo algoritmo de solución se manifieste el criterio (o las preferencias) que utilizaría la persona que toma esa decisión para realizar esta asignación.

⇒ Para considerar los criterios de prioridad en la atención de una solicitud de servicio, se debe incluir, en el modelo que realice la asignación, una escala matemática cuyos valores reflejen la presencia de cada relación entre los componentes que forman parte del sistema de estudio, en otras palabras, que mida el grado de correspondencia entre los elementos de cada nivel jerárquico e inclusive entre los propios niveles según los juicios subjetivos de quien toma la decisión

⇒ Al utilizar el modelo analítico de jerarquías se podrá determinar cuál será la política de atención a las solicitudes pendientes y, además, considerará el efecto aleatorio o incierto en el cuál se presentan las solicitudes de servicio por parte de las

adscripciones de la Escuela. Esto se verá reflejado al tomar la decisión que más beneficio traiga al D SG.M.

⇒ En los casos en que se requiere material, un sistema de cómputo que contemple la información concerniente al equipo, la existencia en el departamento y los criterios para determinar cuándo se otorgará el material. En el capítulo I (nota al pie de página número 5). se interpretó el concepto de crédito que se otorga a cada órgano de la Escuela, esta situación se debe incluir en el modelo analítico de la jerarquía

⇒ La concentración de la información en un sistema de cómputo permitirá contar con informes en papel más confiables, rápidos y seguros. El uso de la tecnología informática ayuda a controlar y elaborar reportes y/o estadísticas que permitan detectar inconsistencias en el proceso de toma de decisión.

Antes de entrar completamente al planteamiento del modelo matemático, es necesario hacer algunas definiciones o terminologías que contribuyan de base en los supuestos descritos en los párrafos de esta sección.

2.3 Naturaleza del problema

Según el Dr. Juan Prawda W., en su libro Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones Vol. 2, *decidir* es "un proceso por el que una o más personas seleccionan una alternativa de entre un conjunto para, de acuerdo a ciertos criterios, alcanzar una serie de objetivos y metas establecidas, bajo los entornos dados por los posibles estados de la naturaleza"

Un proceso de decisión que se realiza con base en la metodología científica, consiste de la observación secuencial de un sistema, identificación y definición del problema, formulación de una hipótesis o supuesto para la solución (construcción de un modelo), experimentación (solución del modelo) y verificación de resultados. El proceso analítico de jerarquías sigue estos preceptos originando un rigor científico y práctico al mismo tiempo. La toma de decisiones encauza una gran variedad de aplicaciones, esto

lleva a la participación de diversos profesionistas en el uso de esta teoría científica, considerando la forma natural y fácil de realizar los cálculos para el problema en estudio.

Desde la perspectiva de Saaty, la toma de decisiones involucra las siguientes acciones: 1) planeación; 2) generación de un conjunto de alternativas; 3) construir prioridades, 4) seleccionar la mejor política después de encontrar un conjunto de alternativas; 5) manejar recursos; 6) determinar requerimientos; 7) predecir salidas; 8) diseñar sistemas; 9) medir rendimientos; 10) asegurar la estabilidad del sistema, 11) optimizar y 12) resolver bajo conflicto.

Observando estas acciones, propuestas por Saaty, se considera que la motivación principal de la persona que toma decisiones es la necesidad de controlar y planear desde recursos materiales hasta recursos humanos. Un punto importante cuando se determina la manera en que una persona resolverá un problema y cuándo se llevará a cabo esta acción, es que la persona responsable de la asignación debe conocer el contexto general del sistema, es decir, todos los factores o elementos que afectan la decisión a tomar, alternativas, objetivos, planes de contingencia, criterios de evaluación, etc

En la presente investigación, se observa que para realizar la asignación de una tarea a un empleado del D.S G M., se debe conocer las alternativas que llevan a la decisión adecuada o con mayor beneficio para el Departamento. Además, manejar prioridades permite asegurar una estabilidad en el sistema ya que ellas parten de las comparaciones o criterios de la persona que tomará la decisión, en consecuencia, un resultado considerado como *incorrecto* será reconocido como una discrepancia a los principios planteados para la aplicación del modelo.

2.3.1 Actores y sus objetivos

Para determinar la estructura de un problema, es necesario especificar el número de *entidades* o *elementos* que participarán, así como las relaciones que esos elementos guardan entre sí. A esas entidades, se les denominan **actores** que intervienen en el sistema y, básicamente, hacen referencia a las personas y a los elementos que pueden alterar la acción para que la decisión sobre una alternativa alcance los fines propuestos.

En este orden de ideas, los principales actores que se encuentran al asignar tareas en el D.S.G.M. son :

- *Los órganos administrativos de la E.N.E.P.* Éstos serán determinados con base en la estructura funcional adoptada por el *campus* Acatlán. Como ejemplos se pueden mencionar¹¹: Dirección, Secretaría de la Dirección, Unidad de Planeación, Coordinación de Servicios Académicos, Coordinación del Centro de Cómputo, Centro de Información y Documentación (Biblioteca), Unidad de Administración Escolar, las 5 Divisiones de Área, las Jefaturas de Carrera, por mencionar algunos.¹²
- *Los servicios que ofrece el Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento.* Estos talleres o servicios fueron descritos en el capítulo anterior sección 1.2.4 página 12. por ejemplo carpintería, cerrajería, electricidad, vidrios, herrería, etc.
- *Los empleados adscritos al D.S.G.M.* El personal se divide o clasifica según la actividad principal para la que fueron contratados, de esta manera se cuenta con carpinteros, cerrajeros, electricistas, herreros, etc. Además, se considera que un empleado puede realizar otro tipo de actividad, en estos casos será denominada *actividad secundaria*.

Asimismo, cada uno de los actores descritos tendrá una finalidad o características que justifiquen su participación en el modelo matemático de tal manera que se hagan operacionales o que permitan medir el grado de acción de una decisión.

Estos actividades o finalidades, deben ser definidos o determinados de la forma más completa de tal manera que cubran todos los aspectos relevantes del problema; además de operacionalizables para que el análisis tenga sentido, es decir, se pueda medir o no el logro del mismo; se deben poder descomponer para simplificar los aspectos

¹¹ Las denominaciones de los órganos administrativos pueden variar de un *campus* a otro dentro de la U N A M, sin embargo las funciones prevalecen en cada uno de ellos.

¹² Aquí se consideran *todos* las adscripciones del Campus, esto significa que si la estructura de la Escuela se ve alterada, por cualquier circunstancia, ésta debe ser reflejada en el planteamiento del modelo y no debe determinar cambios drásticos al esquema sugerido. La razón principal para ello, es que el D S G.M. es un órgano que se encarga de atender solicitudes de toda la Escuela clasificándolas por órganos administrativos

del proceso de evaluación; también serán no redundantes para evitar la doble o triple contabilidad; y, finalmente, pertenecerán a un conjunto mínimo de elementos para garantizar la trascendencia de un objetivo o actividad determinada para cada actor.

Considerando estas observaciones, se mencionan las finalidades de los actores propuestos como parte del modelo :

- Se debe considerar a cada uno de los órganos o adscripciones de la Escuela, siempre y cuando hayan realizado al menos una solicitud de un servicio al D S G M. en un tiempo determinado, permitiendo que su petición sea tomada en cuenta
- Se incluye cada uno de los diferentes servicios para disminuir los cálculos u operaciones. Asimismo, hacer esta clasificación permite estudiar un problema a través del análisis de un subconjunto (cada uno de los servicios) de la población (el D S G M).
- Los empleados son la parte medular de que el Departamento opere en forma correcta. Por tal motivo, es indispensable registrarlos de acuerdo a sus habilidades para desarrollar tareas de un servicio en particular, atendiendo el mayor número de solicitudes con el mayor beneficio o satisfacción.

2.3.2 Criterios y alternativas de decisión

Además de que una decisión puede ser tomada por uno o más decisores que tienen sus objetivos definidos, se incorporan al modelo los *criterios y alternativas de decisión*. Al realizar el proceso de toma de decisión, es decir, al seleccionar una o varias acciones que lleven a los resultados deseados. La decisión o solución que se estime, será cuando se obtenga una asignación que satisfaga las necesidades de los participantes en el proceso de toma de decisión a través de una estructura de jerarquías.

Un *criterio* enmarca el proceso de decisión que representa las opciones en que se divide el sistema jerárquico como subsistemas. Los *criterios* que se proponen son el *general*, *por servicio*, *por órgano*, *por empleado* y *por fecha*.

El *criterio por servicio*, indica que se realizará la asignación con base en un taller que se presta en el D.S.G M., esto permite determinar una decisión para un sólo servicio que será independiente de los demás servicios. Este criterio tendrá mayor beneficio cuando se tenga un gran número de solicitudes pendientes de atender por parte de ese servicio en particular, provocando una mayor prioridad al servicio.

El *criterio por órgano*, permite asignar las solicitudes de una adscripción cuyo estado sea pendiente o no realizada, independientemente de que se tengan solicitudes de otros órganos administrativos. Este caso se presenta, por ejemplo, con las actividades no programadas en las cuales el evento se realizará en las instalaciones del órgano solicitante. La asignación tendrá la prioridad para ese órgano administrativo.

El *criterio por empleado*, ayuda a asignar una tarea para un empleado en particular, esto se necesita cuando se realiza la asignación a todo el personal y, que por cualquier motivo, el empleado en cuestión no tiene actividad a realizar. También permite tener al personal ocupado en el horario laboral establecido realizando la asignación con la prioridad basada en el empleado.

El *criterio por fecha*, es de suma importancia, ya que permite asignar las solicitudes que se hayan hecho en un día o en un rango de fechas determinado. Esto auxilia al considerar todas las solicitudes y no pasar inadvertidas alguna(s) solicitud(es) suspendidas por diversas razones como puede ser falta de material, equipo o incluso personal. No hay un actor para este criterio que involucre la mayor prioridad, por el contrario, la prioridad la obtiene la fecha de la solicitud de servicio.

El *criterio general*, se considera como un *criterio múltiple* y, como indica su nombre, abarca los cuatro criterios de los párrafos anteriores basándose en los servicios y los órganos, relacionados con el D.S.G.M., para realizar la asignación. Por ser el criterio más completo (o el ideal propuesto), será el que se utilice para explicar el desarrollo de la metodología AHP -de aquí en adelante-, haciendo las observaciones pertinentes cuando

se requiera para el desarrollo del modelo de asignación. Además, es de notar que el proceso de solución, como se plateará, será el mismo para cualquier *criterio* por el que se desee realizar la asignación.

Una *alternativa de decisión* es una de las posibles acciones a seguir o una de las disyuntivas obtenidas para realizar una tarea. Una alternativa está determinada por el *criterio* que se elija para realizar el cálculo incluyendo los *actores* que intervengan.

Una alternativa debe entenderse como la selección de una persona - de un conjunto disponible - para realizar una actividad. Esto sugiere que cualquiera de los empleados clasificados por alguna característica en común, supóngase el *tipo de servicio*, es capaz de realizar con mayor o menor eficacia (según sea el caso) la tarea que se pretende asignar a consecuencia de las prioridades que se originan de la relación entre los participantes de la selección. Por tal motivo, se busca elegir a la persona que aporte el mayor beneficio¹³ tanto para el Departamento Solicitante, como para el propio Depto. de Servicios Generales de Mantenimiento.

A continuación se presentan algunos ejemplos de *alternativas de decisión* :

- ⇒ Asignar al *carpintero 1* una solicitud de *carpintería* del órgano *Dirección* con fecha lunes de la semana X.
- ⇒ Asignar al *carpintero 2* una solicitud de *plomería* de la Unidad de Planeación con fecha lunes de la semana X
- ⇒ Asignar al *electricista 1* una solicitud de *electricidad* de la Jefatura de M.A.C. con fecha martes de la semana X.
- ⇒ Asignar al *electricista 2* una solicitud de *otros* (acarreo de muebles) de la Dirección con fecha miércoles de la semana X.
- ⇒ Asignar al *electricista 3* una solicitud de *electricidad* del Centro de Cómputo con fecha miércoles de la semana X.
- ⇒ Asignar al *plomero 1* una solicitud de *plomería* de la Coordinación de Servicios Académicos con fecha jueves de la semana X

¹³ Entendase por beneficio el menor tiempo en la realización de la tarea, mayor calidad del trabajo, mayor satisfacción, mejora en el proceso de toma de decisiones, etc

⇒ Asignar al *jardinero 2* una solicitud de *jardinería* de la División de Ciencias Jurídicas con fecha viernes de la semana X.

⇒ Asignar al *jardinero 2* una solicitud de *jardinería* de la División de Matemáticas e Ingeniería con fecha viernes de la semana X.

2.4 Modelo probabilístico de asignación

Como se mencionó al inicio del capítulo, el modelo matemático considera en gran medida los *juicios* y con ello la *experiencia* de la persona que toma la decisión; por tal motivo, quién decide realiza una resolución *analítica* y *heurística* a la vez, misma que se conjunta de una manera sencilla en comparación con otros modelos de decisión.

El autor de la investigación considera que el modelo originado a partir de la AHP es *analítico* porque se basa en el análisis, usa un procedimiento paso por paso, evalúa la información cuantitativamente y se puede construir un *algoritmo* a partir de él. Por otro lado, se presume *heurístico* porque aprende de la acción, aprecia la experiencia, confía en el sentido común y busca soluciones satisfactorias para las partes involucradas.

En lo que resta del capítulo, se explica la aplicación del modelo matemático de Saaty, el porqué se propone *probabilístico* y su conjunción con la *experiencia* o *juicios comparativos en forma consistente y sistemática*. De igual forma a cómo se obtiene la asignación de un conjunto de solicitudes y no sólo una asignación individual, que es la idea original del AHP, sin olvidar que la *asignación* como un conjunto es, en todos los sentidos, una *toma de decisión*.

2.4.1 Estructura jerárquica

Muchos investigadores de diversas áreas, entre otros de matemáticas y sistemas, han definido un sistema en términos de la interacción de sus partes. Saaty considera mejor la siguiente definición: "un sistema puede estar basado en términos de su *estructura*, sus

funciones, objetivos, el diseño tomado desde la *perspectiva* de un grupo o un individuo en particular, y finalmente el *medio ambiente* del cuál, el sistema, es un *subsistema*¹⁴.

Para el propósito de la investigación, un *sistema* se considera en términos de su *estructura* y su *función*. Se piensa en la *estructura* de acuerdo al arreglo físico, social o incluso psicológico de sus partes y según el *flujo de material y personas que definen las relaciones* y dinámicas de la estructura. Por su parte, la *función* se determina según las actividades de los componentes del sistema y los objetivos que persigan, resaltando que los objetivos de los niveles más altos indican el propósito general del sistema.

Construir la estructura nos servirá como un vehículo para analizar la función del sistema. en este caso, la función principal del sistema es Asignar Personal. A su vez, el funcionamiento del sistema modificará las dinámicas de la estructura.

Retomando estas ideas, se define una *jerarquía* como una abstracción de la estructura del sistema que estudia las interacciones funcionales de sus componentes y los impactos sobre todo el sistema. Esta abstracción puede ser construida a partir de diversas relaciones que descienden, esencialmente, desde un objetivo global hasta un nivel más bajo de la jerarquía, que puede ser una estrategia o una política a seguir.

Al plantear la estructura jerárquica de un sistema en estos términos, sobresalen dos interrogantes: a) *¿cómo se pueden estructurar las funciones de un sistema, jerárquicamente?* y, b) *¿cómo medir los impactos de algún elemento en la jerarquía?* La respuesta a la segunda pregunta será descrita en las siguientes dos secciones, 2.4.2 y 2.4.3, a continuación se plantea una réplica para la primera.

Como se ha mencionado, una *jerarquía* es una abstracción de un sistema basado en el supuesto de que las entidades o elementos que la conforman, ya identificadas, pueden ser agrupadas en conjuntos. De esta manera, las entidades de un grupo influyen a los elementos de un grupo distinto y está influenciada por otro grupo. Por otro lado, los *elementos de cada grupo de la jerarquía* - también llamado *nivel, cluster, stratum* - se asume que son independientes. Asimismo, se sobrentiende que el nivel 1, superior o que

¹⁴ The Analytic Hierarchy Process, Thomas L. Saaty, pág. 5

esta arriba de la jerarquía, es más general; mientras que los niveles inferiores son más específicos.

Cabe hacer la aclaración de que un elemento de la jerarquía puede pertenecer funcionalmente a otras jerarquías, además de que el problema fundamental en una jerarquía, es buscar la compaginación de los niveles más altos a partir de las interacciones de los *subniveles*, y no sólo a los elementos de dichos niveles

En la práctica, no existen procedimientos para generar los *objetivos, criterios y actividades* que serán incluidos en la *jerarquía* o en el *sistema*. Esto indica que los objetivos que se elijan determinen la complejidad del modelo y que éste pueda ser expandido con facilidad, siempre que se procure no sea tedioso. Una observación muy importante, es que la *representación funcional* de un sistema o el diseño jerárquico difiere de persona a persona, y con base en este hecho se hace el siguiente planteamiento para el D S G M

La jerarquía propuesta está fundamentada en la Asignación General, es decir, el *criterio General* (ya descrito) y se divide en 4 niveles o conjuntos de elementos, a saber :

Nivel 1. Como se ha mencionado, el nivel superior da el objetivo general del sistema o estructura jerárquica, por lo tanto, este nivel indica la *Asignación de actividades*.

Nivel 2. Los elementos de este nivel, son todos aquellos órganos que pertenecen al *campus* Acallán, esto se debe a que se requiere que todas las instalaciones de la Escuela se encuentren en condiciones adecuadas para cumplir sus objetivos; por lo tanto, será un factor determinante en el *desarrollo del modelo* Cabe hacer la aclaración, que este grupo considera sólo las solicitudes que un órgano realizó al D.S.G.M ; esto indica que si un órgano cualquiera no tiene una solicitud pendiente para un servicio, entonces esta adscripción no se incluye en la estructura jerárquica.

Nivel 3. Este nivel está compuesto por los servicios que se prestan en el D.S.G.M. (descritos en el capítulo I) hacia los órganos de la E.N.E.P. Esos servicios se abrevian de la siguiente manera : albañilería (AL), carpintería (CA), herrería (HE), plomería (PL), electricidad (EL), pintura (PI), cerrajería (CE), jardinería (JA), vidrios (VI) y otros (OT). En

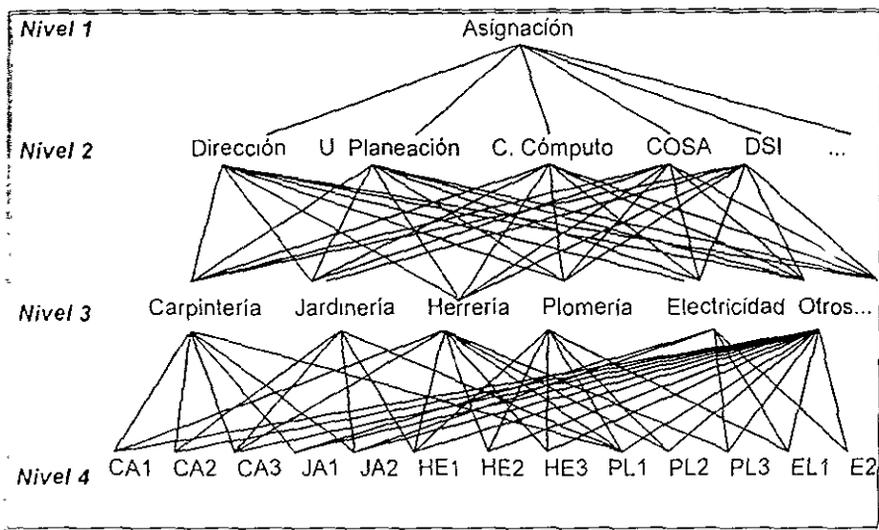
otras palabras, se incluyen todas las solicitudes pendientes, independientemente del órgano que lo solicite¹⁵. Por otra parte, al hablar de una solicitud se considera también el grado de afectación de las solicitudes de material/herramienta que puedan impedir o favorecer la ejecución de una tarea en requerida por la solicitud de servicio.

Nivel 4. Es el nivel básico o inferior que indica las tareas a ser realizadas, representadas por los empleados adscritos al D.S.G M. Estos empleados son considerados sólo para aquellas solicitudes en las que se encuentren capacitados para atender (determinadas en el nivel anterior). Tome de ejemplo un empleado de Carpintería (CA1) que puede realizar actividades de carpintería, cerrajería y plomería; entonces, este empleado aparece en la jerarquía relacionado con las solicitudes de los servicios de carpintería, cerrajería o plomería

Al plantear en estos términos la estructura jerárquica general para el D.S.G.M., se observa que el *criterio general* considera implícitos los otros 4 criterios : *órgano, servicio, fecha y empleado*. Por *órgano* se identifica en el nivel 2 y por *servicio* en el nivel 3. El criterio por *fecha* se encuentra al considerar todas las solicitudes de trabajo en el nivel 3 para un rango de fechas válidas. Finalmente, los empleados disponibles se encuentran en el nivel 4 y corresponden al criterio por *empleado*.

El siguiente diagrama representa la idea general de la estructura jerárquica descrita para el Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento :

¹⁵ Ejemplificando, un órgano puede tener una solicitud para el taller de carpintería y dos solicitudes para el servicio de electricidad; las tres solicitudes deberán ser incluidas en este nivel



Para los cuatro criterios restantes, por *órgano*, por *servicio*, por *empleado* y por *fecha*; se aplica el mismo concepto al construir su respectiva *jerarquía*; la diferencia básica es que esta nueva *jerarquía* está compuesta de 3 niveles (a partir del tercero) y sólo cambia el orden de la jerarquía. Por ejemplo, para el criterio por *órgano*, el nivel 1 será un *órgano*, el nivel 2 serán los servicios o solicitudes y para el nivel 3 los empleados. Por *servicio*, el nivel 1 es un servicio, el nivel 2 serán los *órganos* o solicitudes y el nivel 3 los empleados. Por *empleado*, el nivel 1 será un empleado, el nivel 2 los servicios y nivel 3 los *órganos* o solicitudes. Por *fecha*, el nivel 1 será una fecha o un rango de fechas, el nivel 2 los servicios o solicitudes y el nivel 3 los empleados.

2.4.2 Prioridades en la jerarquía

Como se mencionó, una *jerarquía* es una buena representación de una situación real, sin embargo, se debe considerar que el sólo hecho de determinar los elementos y sus relaciones no es de gran ayuda para el proceso de planeación o toma de decisión. Para superar la problemática se necesita un método que determine la importancia con la cual los elementos de un nivel afectan a los elementos del nivel inmediato superior, de tal

manera que se puedan calcular los impactos de los elementos del nivel más bajo sobre los objetivos generales, nivel más alto o el nivel 1.

Al retomar la estructura jerárquica planteada en la sección anterior, página 30, el interés recae en determinar cual de los empleados (nivel 4) será el más eficiente para llevar a cabo la atención de una solicitud. En primera instancia, lo que se desea es calcular el peso o importancia de los órganos o adscripciones (nivel 2) hacia el objetivo general denominado Asignación (nivel 1). Después, para cada órgano de la Escuela (nivel 2), se determina la influencia de cada servicio (nivel 3) sobre esta adscripción; y, finalmente, se encuentra el grado de importancia de los empleados (nivel 4) hacia las solicitudes del nivel anterior.

En resumen, el método permitirá determinar la *ponderación* (también llamada *prioridad* o *importancia*), de los elementos de un nivel hacia un elemento del siguiente nivel. La explicación psicológica y los fundamentos matemáticos, según el caso, serán tratados sólo cuando se requieran¹⁶.

Una breve descripción del Proceso Analítico de Jerarquías (AHP) ayuda a comprender la importancia de las *prioridades* en la jerarquía y el modelo matemático :

Dados los elementos que componen un nivel, n , de la jerarquía y un elemento, e , del nivel inmediato superior, comparar los elementos del nivel n en parejas según la importancia o influencia sobre e . Insertar los números convenientes, que reflejen la comparación, en una matriz y encontrar el eigenvector con el más grande eigenvalor. El eigenvector indica el orden de prioridad y el eigenvalor una medida sobre la consistencia de los juicios.

Antes de utilizar la metodología, se determina la *escala de prioridad* a utilizar, la cual será de medida conocida (preferentemente, ya que facilita la interacción con la persona que

¹⁶ Para entender con mayor claridad las motivaciones acerca del uso del modelo y la discusión de los fundamentos matemáticos, refiérase a la bibliografía consultada.

toma la decisión). La teoría de toma de decisiones facilita la creatividad para buscar, seleccionar y modificar los *critérios* y *alternativas* que afectan el objetivo de la decisión. Esa teoría también necesita una forma de extraer los juicios y una escala única que combine sus valores para llegar a la decisión.

El AHP¹⁷ ayuda a explorar la complejidad de una decisión honestamente y sin una simplificación exagerada para expresar los juicios de acuerdo a la intensidad de la preferencia, para que finalmente derive una solución que incluya clara y rigurosamente las intensidades de acuerdo a la magnitud. En este sentido, el tomador de decisión acepta la respuesta racionalmente y se siente a gusto con ella, porque esta completamente basada en su percepción.

La escala utilizada incluye los siguientes elementos, necesarios para la toma de decisión multicriterio

- Un método bien definido para extraer los juicios y sus intensidades cualitativamente, es decir, un vocabulario para interpretar datos.
- Una escala fundamental que asocie los juicios expresados con el vocabulario.
- Una forma para derivar una escala de los elementos basados en las medidas de la escala fundamental
- Un método para comparar alternativas generalizadas para comparar criterios con respecto a un objetivo o meta de igual forma que las alternativas son comparadas con respecto a los criterios mismos.
- Un método que trate la toma de decisión en grupo, de tal manera que esté en armonía con la toma de decisión individual.

La escala propuesta para la metodología AHP que cumple con los elementos planteados se presenta a continuación :

¹⁷ El nombre con el cual se identifica a la metodología que se utiliza en la presente investigación, planteado por el Doctor en Matemáticas Thomas L. Saaty., profesor en la Universidad de Pittsburgh.

Escala o Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Importancia igual	Dos actividades contribuyen equivalentemente al objetivo
3	Débil importancia de uno acerca de otro.	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente una actividad más que otra.
5	Esencial o importancia fuerte.	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad más que otra.
7	Muy fuerte o importancia demostrada	Una actividad es favorecida muy fuertemente más que otra, su dominio es demostrado en la práctica
9	Importancia absoluta	La evidencia favorece una actividad más que otra, éste será el orden más alto posible de afirmación.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre valores de la escala adyacente	Serán utilizados cuando así se requieran
Recíprocos de los números de arriba distintos de cero	Si la actividad i tiene uno de los números de arriba, distinto de cero, cuando comparamos con j , entonces j tiene el valor recíproco cuando se compara con i .	La afirmación se entiende razonable.
Racionales	Los radios provienen de la escala	Si se forzó a la consistencia obteniendo n valores numéricos al determinar la matriz.

Existen varias razones por las que se considera el 9 como límite superior en la escala.

- (1) Las distinciones cualitativas son significativas en la práctica y tienen un elemento de precisión cuando los artículos que se están comparando son del mismo orden de magnitud o similar considerados a la propiedad usada para hacer la comparación.
- (2) La habilidad para hacer distinciones cualitativas se representa muy bien por 5 atributos : igual, débil, fuerte, muy fuerte y absoluto. Además, se pueden hacer compromisos entre atributos adyacentes cuando el grado de precisión lo necesite.

En total se requieren 9 valores que pueden ser consecutivos como los planteados y serán validados en la práctica.

- (3) Un método práctico frecuentemente usado para evaluar artículos es la clasificación de estímulo en una tricotomía de regiones : rechazo, indiferencia, aceptación¹⁸. Para refinar la clasificación, cada uno de ellos es subdividido en otra tricotomía de bajo, medio y alto¹⁹.
- (4) El límite psicológico de 7 ± 2 artículos en una comparación simultánea, sugiere que si hay $7 + 2$ artículos se satisface la descripción (1) y si esas son todas las pequeñas diferencias entre ellos, entonces se necesitan 9 puntos para distinguir esas discrepancias²⁰ Además, $7 - 2$ lleva al apartado (2) y 7 conduce a (3).

Se debe hacer notar que para realizar las comparaciones en pareja se puede usar desde una escala de 0 a ∞ , aunque no sea tan eficiente ya que asume que el juicio humano es capaz de comparar el dominio relativo de alguno de 2 objetos, lo cual no es lo que se desea. Como la base es la experiencia, la habilidad para discriminar puede ser muy bien determinada en un rango y cuando hay una disparidad considerable entre los objetos (o actividades que son comparados), las conjeturas tienden a ser arbitrarias y usualmente lejos de la realidad.

El párrafo anterior sugiere que la escala tenga un rango finito, de hecho los límites deben estar incluidos en una región que refleje la capacidad real al hacer las ponderaciones en las comparaciones. Por tal motivo, la unidad es el estándar de la medición y el límite superior no debe estar muy lejos de la unidad, pero lo suficientemente lejos para representar el rango de discriminación.

Por lo descrito en esta sección, para la investigación se aplica la escala de 1 a 9, ya que facilita el entendimiento de la persona que toma la decisión en una parte fundamental del modelo adaptado, como lo es la emisión de juicios subjetivos. En otras

¹⁸ El criterio puede variar, por ejemplo la ley psicológica de Weber-Fechner dice que la sensación es una función lineal del logaritmo del estímulo. Así, si M denota la sensación y s el estímulo, la ley está dada por : $M = a \log s + b$, $a \neq 0$.

¹⁹ Un colega de Saaty, Yoram Wind, indicó que estudios de mercado conducidos por otro colega Paul Green, mostró que uno no necesita más de 7 puntos en la escala para distinguir entre el estímulo. Considerando esto, no se necesita llegar a 9.

²⁰ Una mejor referencia se puede encontrar en "El mágico número siete, más o menos dos : Algunos límites sobre nuestra capacidad para procesar información". *Psychological Rev.*, vol. 63, págs. 81-97, 1956.

palabras, la asignación de valores en las comparaciones en pareja de los elementos de un nivel de la jerarquía, se representan mejor por la persona que sabe cómo se desarrolla el proceso de atención de las solicitudes de tal manera que se incluya su experiencia en forma cuantitativa como un punto clave para la metodología.

2.4.3 Comparaciones en parejas y recíprocos

Para continuar con la metodología, se necesita hacer algunas definiciones de álgebra lineal las cuales servirán para entender los fundamentos matemáticos para el modelo²¹

Una *matriz* es un arreglo rectangular de mn números arreglados en m renglones y n columnas. Un número, elemento o entrada de la matriz A en el i -ésimo renglón y la j -ésima columna se denota por a_{ij} . Esquemáticamente, la matriz A de m por n será :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{m,n} \end{bmatrix}$$

Generalmente, se denota la matriz A por a_{ij} y especifica el número de sus renglones y columnas. Los subíndices i y j se refieren al renglón y columna, respectivamente, en donde se localiza una entrada.

- Una *matriz es cuadrada de orden n* , si $m = n$
- Los *renglones* y *columnas* de A son llamados *vectores*, por ejemplo un vector renglón es $A = (a_{11}, \dots, a_{1n})$.
- Los *elementos de la diagonal* de una *matriz cuadrada* A de orden n son a_{ii} , $i = 1, \dots, n$
- Una *matriz diagonal* tiene la propiedad que $a_{ij} = 0$ para todo $i \neq j$.

²¹ Como el objetivo de la investigación no está basado en el Álgebra Lineal ni mucho menos demostrar sus conceptos o términos utilizados, se hace referencia a ellos debido a la gran importancia para el modelo. Para una mejor referencia consultar la bibliografía correspondiente.

- La *matriz unidad* o *identidad* (I) es una matriz diagonal con $a_{ii} = 1$ para toda i
- Una *matriz triangular* A es una matriz cuadrada con $a_{ij} = 0$ para $i > j$ o $a_{ij} = 0$ para $i < j$
- La *transpuesta* de $A = a_{ij}$ denotada por $A^T = a_{ji}$ está definida por reemplazar el elemento en la posición i, j de A por el elemento en la posición j, i , es decir, intercambiar los renglones y columnas a partir de la diagonal.
- Una *matriz recíproca* está dada por $a_{ij} = 1/a_{ji}$ con $a_{ii} = 1$.
- A es una *matriz positiva* si $a_{ij} > 0$ para toda i y *no negativa* si $a_{ij} \geq 0$.

Además, para las matrices recíprocas positivas se debe cumplir que

$$a_{ii} = \sum_{i=1}^n a_{ii} \equiv \text{traza}(A)$$

y que las raíces de la ecuación característica, como raíces de una ecuación de grado n ,

satisface .
$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = a_{ii} = \text{traza}(A) \quad \text{y} \quad \prod_{i=1}^n \lambda_i = |A|$$

Existen también reglas para sumar, restar, multiplicar y dividir las matrices A y B , denominadas *Álgebra de Matrices*. Así, una matriz de orden 1×1 es denominado un *escalar* o un simple número y las leyes que se aplican a la matrices en general serán aplicadas a estos números ordinarios. El origen de la suma y multiplicación de matrices está relacionado a las operaciones sobre sistemas de ecuaciones, donde la matriz está formada por los coeficientes del sistema.

La regla para la suma de matrices del mismo orden será : $A + B = a_{ij} + b_{ij} = a_{ij} + b_{ij}$
 El inverso aditivo de una matriz $A = a_{ij}$ es la matriz $-A = -a_{ij}$ tal que $A + (-A) = 0$. También cumple con las propiedades asociativa $(A + B) + C = A + (B + C)$ y conmutativa $A + B = B + A$
 Para multiplicar una matriz A por un escalar α , multiplicar cada elemento de A por α .

La regla general para multiplicar $A = a_{ij}$, $B = b_{ij}$ para obtener $C = c_{ij}$, es decir, $AB = C$
 La entrada en la posición i, j de C estará determinada por :

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^n a_{ik} b_{kj}$$

En otros términos, se toma el i -ésimo rengón de A con la j -ésima columna de B , multiplicar los coeficientes en el orden correspondiente de acuerdo al índice k y sumar. En general, la multiplicación sólo se da cuando A sea una matriz de $m \times n$ y B es de $n \times q$ obteniendo la matriz C de $m \times q$, es decir, el producto de matrices no es conmutativo. El producto de matrices debe satisfacer la ley asociativa $C(BA) = (CB)A$; la ley distributiva con respecto a la suma $C(A + B) = CA + CB$, $(C+B)A = CA + BA$; y la ley asociativa con respecto al producto por un número : $(kA)(k'B) = kk'AA$

Continuando con la metodología de Saaty, se debe construir una matriz A de números reales que representen las comparaciones en pareja emitidas por los juicios que denoten la importancia de los elementos de un nivel en una jerarquía con respecto a un elemento del nivel inmediato superior; entonces, encontrar el eigenvalor $\lambda_{m \times m}$ y determinar la solución de la ecuación $Aw = \lambda_{m \times m} w$.

El interés recae en estudiar matrices cuadradas que cumplan las siguientes condiciones :

$$A = a_{ij} \text{ tal que } a_{ij} > 0 \quad \forall \quad i, j = 1, \dots, n, \quad \text{y} \quad a_{ji} = 1/a_{ij} \quad \forall \quad i, j = 1, \dots, n$$

Si se cumple lo anterior, entonces se trata de *matrices cuadradas, recíprocas y positivas*. Además, se considera un requisito especial la *consistencia de la matriz*, que indica la relación fundamental entre sus elementos : $a_{ik} = a_{ij} a_{jk} \quad \forall \quad i, j, k = 1, \dots, n$.

En términos generales, se supone un *sistema* que se descompone en N niveles o componentes C_1, C_2, \dots, C_N y se denotan los elementos del componente C_k por $e_{k1}, e_{k2}, \dots, e_{kn}$, donde n_k es un número. A continuación, se construye una matriz que refleje el impacto medido entre los elementos que corresponden a los componentes o el nivel adyacente, con esto se asume que cada par de componentes interactúan, de lo contrario el valor correspondiente será *cero*.

En primera instancia, se construye una *supermatriz* que represente la composición jerárquica, en seguida se forman matrices de comparación en parejas para medir la prioridad de todos los elementos en el sistema con respecto a otro, como si no existieran niveles. Por razones de consistencia y para tener una mayor facilidad en el manejo de los

resultantes serán representadas en los eigenvectores y serán utilizadas para pesar los elementos correspondientes en W lo cual transformará W en una matriz estocástica²².

En el contexto del Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento, las matrices W_j que sean diferentes de ceros representarán los juicios que emite la persona que toma la decisión, los cuales se basan en el criterio subjetivo, por ejemplo, de acuerdo a la persona que realizará una actividad determinada o el órgano administrativo de que se trate, este juicio subjetivo, a su vez se fundamenta en la experiencia que le permite evaluar y asignar un valor comparativo, según la escala planteada en la sección anterior, página 35.

Para explicar con mayor claridad este paso del proceso de jerarquías, se ejemplifica utilizando los niveles 2 y 3 de la jerarquía planteada en la sección 2.4.1., página 30. En ella, el nivel 2 indica los órganos que tienen al menos una solicitud de servicio y el nivel 3 está compuesto por los servicios que presta el D.S.G.M. Posteriormente, se construyen tantas matrices como elementos haya en el nivel 2, supóngase que hay solicitudes de los órganos Dirección y Unidad de Planeación entonces se forman 2 matrices en donde se desea comparar los servicios (nivel 3) de acuerdo a cada adscripción del nivel 2.

Tomando la supermatriz W , los vectores que se obtenga de las matrices del párrafo anterior forman parte de la matriz W_{32} , es decir, estos serán los 2 únicos vectores columna que componen esta matriz ya que en el ejemplo sólo se tienen 2 adscripciones (Dirección y Unidad de Planeación, abreviar éstas como AAAAAA' y BAAAAA, respectivamente). Para llenar cada una de las 2 matrices, comparar los servicios (nivel 3) basándose en el órgano del nivel adyacente (nivel 2).

Imagine que se otorgan los juicios para el órgano Dirección (AAAAAA) y que en el nivel 3 se tienen solicitudes (de ese órgano) para los 10 servicios que presta el D.S.G.M., a saber albañilería (AL), carpintería (CA), herrería (HE), plomería (PL), electricidad (EL), pintura (PI), cerrajería (CE), jardinería (JA), vidrios (VI) y otros (OT). En consecuencia, se deben llenar 100 espacios para componer la matriz que contendrá las comparaciones de

²² El hecho de considerar la matriz o el eigenvector como estocástico se explicará con más detalle en la siguiente sección

esos elementos considerando el órgano Dirección (de igual forma se tendrá que hacer para cualquier otro órgano). Se da por entendido que los servicios que no tengan una solicitud por parte de alguna adscripción de la Escuela, no se incluirán en ninguna de estas matrices. Para el caso general, se tiene al menos una solicitud de cada uno de los servicios, en este sentido, se llenará la *matriz completa* (de 100 valores) como se ha planteado.

Ahora bien, de los cien lugares en la matriz, los 10 de la diagonal principal están predeterminados y tienen el valor de 1 que indica que un servicio X se desea atender al mismo tiempo que *el mismo servicio X* . De los 90 valores restantes, se necesita conocer sólo 45, porque el resto son las comparaciones inversas y se representan como los *recíprocos* de los elementos de la matriz triangular superior o inferior a la diagonal.

Ahora considere que se comparan los servicios carpintería (CA) y cerrajería (CE) usando la escala recomendada y se introduce el valor de 5 en la posición (CA,CE), es decir donde se intercepta el renglón de CA con la columna de CE, esto indica que el servicio CA es *esencial o con importancia más fuerte*²³ que el taller CE. En consecuencia, se introduce automáticamente el valor recíproco de 1/5 en la posición (CE,CA). Al observar el valor de 1/5 en esta posición se induce que el servicio CE *no es esencial o tiene importancia menos fuerte que el CA, que es lo mismo que se concluye al comparar (CA CE)* En general, no es obligatorio asignar el inverso multiplicativo, pero es racional hacerlo²⁴.

Las siguientes matrices son un ejemplo de la asignación de juicios por la persona que toma la decisión según se ha descrito en los párrafos anteriores

²³ La descripción es tomada de asignar el valor 5 a la comparación de los elementos, según la escala propuesta de 1 a 9

²⁴ Una explicación más clara será expuesta en la sección 2.5.1 de este capítulo, cuando se desarrolle la consistencia de la matriz, que en términos generales, una matriz es consistente cuando se tiene un valor cualquiera y otros datos (pueden ser todos) se deducen lógicamente a partir del número dado.

AAAAAA	AL	CA	HE	PL	EL	PI	CE	JA	VI	OT
AL	1	2	1	4	6	1/2	7	6	1	5
CA	1/2	1	1/3	3	5	1/4	4	3	1/4	2
HE	1	3	1	4	6	1/7	5	4	1	4
PL	1/4	1/3	1/4	1	2	1/5	1	1	1/5	1
EL	1/6	1/5	1/6	1/2	1	1/8	1	1/3	1/7	1/3
PI	2	4	7	5	8	1	7	6	1	1/5
CE	1/7	1/4	1/5	1	1	1/7	1	1	1/6	1/3
JA	1/6	1/3	1/4	1	3	1/6	1	1	1/5	1
VI	1	4	1	5	7	1	6	5	1	1/5
OT	5	1/2	1/4	1	3	5	6	1	5	1

BAAAAA	CA	EL	CE	JA	OT
CA	1	3	3	2	2
EL	1/3	1	1/2	1/5	1
CE	1/3	2	1	1/3	1
JA	1/2	5	3	1	5
OT	1/2	1	1	1/5	1

De las matrices anteriores, la primera matriz está basada para el órgano AAAAAA (Dirección) e indica como le gusta a la persona que toma la decisión que se atiendan las solicitudes de servicio, en otras palabras, refleja que servicio es el que más se desea que no tenga órdenes de trabajo pendientes referentes a esa adscripción en particular. En la segunda matriz, el órgano BAAAAA (Unidad de Planeación) tiene la mitad de servicios participantes, esto sugiere que los servicios no incluidos se deben a que no tienen solicitudes por atender para esa adscripción (como sucedería en la primera matriz en la que aparecen todos).

La matriz que se forme bajo estos principios, tendrá que ser cuadrada de n por n , donde n será igual al número de servicios que tengan solicitudes por realizar, el número de empleados capaces de realizar una actividad determinada o el número de órganos que solicitaron un servicio en particular, según el nivel de la jerarquía en donde se realizan las comparaciones. Además, como se ha indicado, se obtiene una matriz recíproca (ya que cumple con $a_{ij} = 1/a_{ji}$) y no negativa.

2.4.4 Vector de prioridades (probabilístico)

El siguiente paso en el Proceso Analítico de Jerarquías, de gran importancia, consiste en el cálculo de un *vector de prioridades* a partir de una matriz de comparaciones. Al considerar los elementos de algún nivel en la jerarquía, se desea encontrar la *influencia*, w_1, \dots, w_n , sobre algunos elementos del nivel inmediato superior.

En teoría de matrices la expresión

$$Aw = \lambda w \quad \text{o} \quad (1/\lambda)A \text{ transforma } w \text{ a } w$$

indica que w es un vector de A (matriz de comparaciones a_{ij}) y λ un escalar. Si $w \neq 0$ y λ satisface la ecuación anterior, se dice que λ es un *eigenvalor* de A y w es un *eigenvector* de A correspondiente al eigenvalor λ ²⁵

Así, w se considera un *vector propio* si es una solución no trivial, distinta de cero, de

$$(A - \lambda I) w = 0 \text{ para algún número } \lambda$$

En consecuencia, los componentes del vector w , forman un conjunto de soluciones del sistema lineal homogéneo de la matriz

$$A - \lambda I$$

De hecho, este sistema tiene la solución trivial

$$w_1 = \dots = w_n = 0 \text{ donde } w = (w_1, \dots, w_n)$$

pero como debe haber una solución no trivial, la matriz $A - \lambda I$ será *singular* o lo que es lo mismo, su determinante será cero.

$$|A - \lambda I| = 0$$

Este determinante es un polinomio de grado n en λ , que tendrá la forma

$$\lambda^n - a_1 \lambda^{n-1} + \dots + (-1)^n \det(A)$$

y es llamado el *polinomio característico* de A .

²⁵ En alemán *eigen* significa *propio*, entonces un *eigenvalor* es equivalente a un valor propio o característico. De manera similar, un *eigenvector* se conoce como un vector propio o característico.

La condición de que el determinante sea igual a cero conduce a la ecuación de grado n , llamada *ecuación característica* de A , la cual, por el Teorema de Cayley-Hamilton²⁶ es igual a cero si λ es reemplazada por A generando una ecuación matricial.

Las raíces $\lambda_i, i = 1, \dots, n$ de la ecuación característica $|A - \lambda I| = 0$ son los eigenvalores deseados²⁷. Los eigenvectores se obtienen por resolver los sistemas correspondientes de ecuaciones

$$A v_i = \lambda_i v_i$$

por lo tanto, se tendrán n eigenvectores²⁸.

En teoría de matrices la ecuación $Aw = \lambda w$ se expresa como sigue:

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & \dots & A_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} = a_{11} & \frac{w_1}{w_2} = a_{12} & \dots & \frac{w_1}{w_n} = a_{1n} \\ \frac{w_2}{w_1} = a_{21} & \frac{w_2}{w_2} = a_{22} & \dots & \frac{w_2}{w_n} = a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} = a_{n1} & \frac{w_n}{w_2} = a_{n2} & \dots & \frac{w_n}{w_n} = a_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

En el caso práctico en el cual los a_{ij} no están basados en medidas exactas, sino en juicios subjetivos, se tiene una desviación del *radio ideal o exacto* w_i/w_j . Por tal motivo, se consideran 2 hechos de teoría de matrices que consideran estos sucesos:

- Apoyándose en el hecho de que toda matriz de $n \times n$ tiene exactamente n eigenvalores, sean $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ los valores propios de A que satisfacen la ecuación

$$Aw = \lambda w \text{ y si } a_{ii} = 1 \text{ para toda } i, \text{ entonces } \sum_{i=1}^n \lambda_i = n.$$

²⁶ El teorema, llamado así en honor a Sir William Rowan Hamilton y Arthur Cayley, que publicaron el mismo resultado independientemente, se enuncia como sigue: "Toda matriz cuadrada satisface su propia ecuación característica. Es decir, si la ecuación característica de A es $p(\lambda) = 0$, entonces $p(A) = 0$ ".

²⁷ El teorema fundamental del álgebra asegura la existencia de n raíces para una ecuación polinomial de grado n .

²⁸ Se debe considerar que estos vectores podrían repetirse debido a que el número de raíces distintas puede ser menor de n .

Esto indica que todos los eigenvalores son cero, excepto uno, el cual es n . Para el caso de inconsistencia n será el más grande eigenvalor de A .

- Si cambia un valor de la entrada a_{ij} de una matriz recíproca positiva A por pequeñas cantidades, entonces los eigenvalores cambian también por pequeñas cantidades. En otras palabras, los valores propios de una matriz A son proporcionales a los juicios subjetivos que se asignen en esa matriz.

Para el análisis jerárquico se utilizan matrices cuya diagonal está formada por unos ($a_{ii} = 1$), y si A tiende a ser consistente, entonces pequeñas variaciones de a_{ij} conducen al más grande eigenvalor cercano a n , denominado λ_{max} , y los restantes valores propios serán aproximadamente cero

Al trabajar con una matriz compuesta de comparaciones en parejas, se necesita encontrar un vector prioritario que satisfaga $Aw = \lambda_{max} w$. El hecho de utilizar el valor máximo de los eigenvalores, λ_{max} , conduce a calcular el eigenvector principal y no los n eigenvectores de la matriz A .

Para reducir los cálculos al obtener el vector w de prioridades en una matriz de comparaciones, este vector es una aproximación al eigenvector exacto, existen cuatro métodos recomendados por Saaty²⁹:

Sumas normalizadas

Tomar la suma de los elementos en cada renglón y *normalizar* dividiendo cada suma por el total de todas las sumas (cuando se suman los resultados, se obtendrá la unidad). La primera entrada del vector resultante es la prioridad de la primera actividad, la segunda pertenece a la segunda actividad y así sucesivamente.

²⁹ Los nombres para los métodos que calculan el vector de prioridades, han sido adaptados por el autor de la presente investigación.

Recíprocos normalizados

Tomar la suma de los elementos en cada columna y calcular los *recíprocos* de esas sumas. Después se normaliza de tal manera que al sumar los números del vector se obtenga la unidad, dividiendo cada recíproco por la suma de los recíprocos.

Columnas normalizadas

Dividir los elementos de cada columna por la suma de esa columna (es decir, normalizar la columna) y entonces sumar los elementos en cada renglón resultante y dividir esta suma por el número de elementos en el renglón. Este es un proceso de promediar las columnas normalizadas.

Raíces normalizadas

Multiplicar los n elementos en cada renglón y tomar la *raíz n -ésima*. Normalizar los números resultantes.

Cuando se trabaja con una matriz consistente, los cuatro métodos dan los mismos resultados. No obstante, en el caso de *inconsistencia*³⁰, los métodos difieren en efectividad. A manera de ejemplo, se aplican los métodos anteriores en la estimación del vector de prioridades solución a la siguiente matriz, descrita en la página 43 de la sección anterior

<i>BAAAAA</i>	<i>CA</i>	<i>EL</i>	<i>CE</i>	<i>JA</i>	<i>OT</i>
<i>CA</i>	1	3	3	2	2
<i>EL</i>	1/3	1	1/2	1/5	1
<i>CE</i>	1/3	2	1	1/3	1
<i>JA</i>	1/2	5	3	1	5
<i>OT</i>	1/2	1	1	1/5	1

Sumas normalizadas

La suma de los renglones de esta matriz es el vector columna³¹
(11.00, 3.03, 4.67, 14.50, 3.70)

³⁰ Idem Nota al pie de página 24.

³¹ El vector columna es aproximado a dos decimales y se escribe indistintamente como vector renglón. En general, las aproximaciones en los cálculos realizan a 2 decimales.

la suma total de la matriz está dada por la suma de los componentes del vector anterior, cuyo valor es 36.9.

Se divide cada componente del vector por 36.9, obtenido el vector columna de prioridades

$$(0.30, 0.08, 0.13, 0.39, 0.10)$$

para los servicios CA, EL, CE, JA y OT, respectivamente.

Recíprocos normalizados

La suma de las columnas de esta matriz es el vector renglón

$$(2.67, 12.00, 8.50, 3.73, 10.00)$$

Los recíprocos de esas sumas son (0.37, 0.08, 0.12, 0.27, 0.10) al normalizar el vector se obtiene

$$(0.39, 0.08, 0.13, 0.29, 0.11)$$

y al sumar los elementos de este vector se genera la unidad.

Columnas normalizadas

Se normaliza cada columna²² obteniendo la matriz

<i>BAAAAA</i>	<i>CA</i>	<i>EL</i>	<i>CE</i>	<i>JA</i>	<i>OT</i>
<i>CA</i>	0.38	0.25	0.35	0.54	0.20
<i>EL</i>	0.12	0.08	0.06	0.05	0.10
<i>CE</i>	0.12	0.17	0.12	0.09	0.10
<i>JA</i>	0.19	0.42	0.35	0.27	0.50
<i>OT</i>	0.19	0.08	0.12	0.05	0.10

La suma de los renglones es el vector columna

$$(1.72, 0.41, 0.60, 1.73, 0.54)$$

al ser promediado por el tamaño de columnas, en este caso 5, se obtiene el vector columna de prioridades

$$(0.344, 0.082, 0.120, 0.346, 0.108)$$

²² Normalizar sumando los componentes de la columna y dividiendo cada uno por esta suma.

Raíces normalizadas

Al multiplicar cada elemento del renglón se consigue el vector

$$(36.00, 0.03, 0.22, 37.50, 0.10)$$

a continuación se toma la raíz n -ésima (para el ejemplo $n=5$) de cada elemento

$$(2.05, 0.50, 0.74, 2.06, 0.63)$$

Finalmente se normaliza para llegar al vector prioritario

$$(0.34, 0.08, 0.12, 0.35, 0.11).$$

La *solución exacta* para obtener un eigenvector de una matriz de comparaciones se calcula elevando la matriz a una gran potencia arbitraria³³ y dividiendo la suma de cada renglón por la suma de los elementos de la matriz, es decir, normalizando los renglones. La matriz se elevará arbitrariamente hasta que la diferencia entre las sumas de dos cálculos consecutivos sea más pequeña que un valor determinado. Para el ejemplo, la solución exacta es el vector propio

$$(0.35, 0.08, 0.12, 0.34, 0.11)^{34}$$

Como se observa, el procedimiento para obtener el eigenvector de prioridades exacto es muy laborioso, si se realiza manualmente, y los métodos de *columnas* y *raíces normalizadas* son muy buenas aproximaciones a este eigenvector. Para la investigación, se utiliza el método de *raíces normalizadas*, ya que da una mejor aproximación en el caso de inconsistencia. Al tratarse de juicios subjetivos proporcionados por una persona que carezca de práctica en la asignación de los valores comparativos, es muy probable que se generen matrices inconsistentes.

Cabe hacer la aclaración, que al tratar con vectores normalizados, se altera el vector w ligeramente al considerar

$$\alpha = \sum_{i=1}^n w_i, \text{ y reemplazar } w \text{ por } (1/\alpha)w.$$

Sin embargo, esto asegura que w sea un vector único y también que

³³ En cada producto se tendrá una matriz cuadrada que parte de la matriz original.

³⁴ Se obtuvo de elevar la matriz original (suponga que se denomina A) a la potencia 16, es decir, $A \times A = B$, $B \times B = A^2 \times A^2 = A^4 = C$, $C \times C = A^4 \times A^4 = A^8 = D$, $D \times D = A^8 \times A^8 = A^{16} = E$. En *procesos estocásticos* será el equivalente a obtener el vector estacionario de una matriz estocástica, porque al igual que los cuatro métodos descritos se aproxima a un vector fijo en el que la suma de sus elementos sea igual a la unidad.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Esto significa que los valores de los elementos que componen el vector de prioridades se encuentren entre 0 y 1, inclusive.

Se crea una *matriz estocástica*, en la que la suma de los elementos en las columnas sea igual a la unidad y todos los elementos que la componen son no negativos. Las columnas que componen esa matriz son *eigenvectores* de matrices de comparaciones *en pareja de todos los elementos* con respecto a cada componente adyacente en un nivel de la jerarquía o del sistema jerárquico.

El estudio de los sistemas con prioridades (análisis jerárquico) se considera puede ser desarrollado paralelamente a las cadenas de Markov³⁵, en la siguiente tabla se presentan los términos más comunes entre las dos metodologías :

Sistema con prioridades (análisis jerárquico)	Cadenas de Markov
Sistema	Sistema
Componente (con uno o más elementos)	Estado
Impacto o influencia en el nivel <i>k</i>	Transición en el tiempo <i>k</i>
Prioridad	Probabilidad
Impacto desde un componente	Transiciones en un estado
Impacto prioritario (desde el <i>i</i> -ésimo al <i>j</i> -ésimo componente)	Probabilidad condicional de transición
Prioridad compuesta	Probabilidad absoluta

³⁵ Se llaman así a los procesos estocásticos (conjunto de variables aleatorias) cuya distribución futuro depende únicamente de su distribución presente y es independiente de su pasado, este principio fue postulado por el matemático ruso Andrei Andreivich Markov

Esta analogía, permite nuevamente considerar el vector de prioridades que se obtiene por los cuatro métodos como el equivalente a un vector de probabilidades. Además, evalúa el impacto de un nivel x sobre un nivel adyacente superior ($x+1$) en una estructura jerárquica cuando se calculan las contribuciones relativas (prioridades) de los elementos de ese nivel con respecto a cada elemento del nivel adyacente.

2.4.5 Políticas de decisión (asignación)

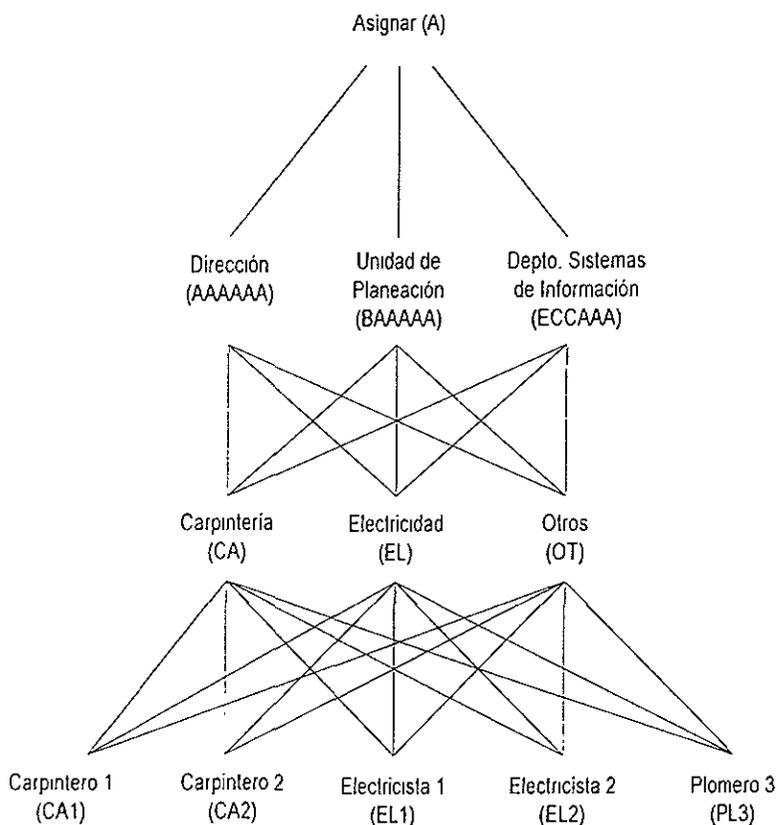
Como se ha mencionado a lo largo de este capítulo, para cada matriz de comparaciones en parejas se debe obtener un vector de prioridades³⁶, este eigenvector se origina del eigenvalor principal de la matriz recíproca no negativa; en consecuencia, también se trabaja con el vector propio principal.

En el desarrollo de la solución de un problema de decisión, expresado con la metodología AHP, se forman tantas matrices de comparaciones como elementos haya en los niveles $n-1$ (suponiendo que la matriz tiene n niveles), es decir, sin considerar el nivel más bajo o el último nivel. Esto se desprende de una razón lógica y para explicarla suponga la siguiente estructura jerárquica :

Nivel 1	Asignar (A)
Nivel 2.	Dirección (AAAAAA), Unidad de Planeación (BAAAAA) y Departamento de Sistemas de Información (ECCAAA)
Nivel 3	Carpintería (CA), Electricidad (EL) y Otros (OT)
Nivel 4	Carpintero 1 (CA1), Carpintero 2 (CA2), Electricista 1 (EL1), Electricista 2 (EL2) y Plomero 3 (PL3)

Gráficamente la jerarquía se muestra a continuación :

³⁶ Con valores entre 0 y 1, inclusive, y que sumados representen la unidad.



Esta estructura indica que se desean asignar los 5 empleados del nivel 4 a las 9 solicitudes del nivel 3³⁷. El nivel 1 se utiliza para realizar la asignación del personal que se indica en el nivel 4.

El ejemplo radica en el *criterio general*, explicado en la sección 2.3.2 página 26, y se considera como un caso ordinario en el cual las adscripciones del nivel 2 tienen una solicitud de cada uno de los servicios del nivel 3 y que dichas solicitudes pueden ser atendidas por cualquiera de los empleados disponibles en el nivel 4.

³⁷ Porque se conjetura que los 3 órganos del nivel 2. - AAAAAA, BAAAAA y ECCAAA -, tienen en forma individual, una solicitud para los 3 servicios, - CA, EL y OT -, o elementos del nivel 3

A continuación, se explica la obtención de las 7 matrices de comparaciones en pareja para la jerarquía planteada. La primera matriz refleja los juicios subjetivos que relacionan el nivel 2 con el nivel 1 y muestra como desea la persona que toma la decisión que se asignen las órdenes de servicios según el órgano administrativo que se trate, es decir, se comparan los órganos del nivel 2 entre sí.

<i>Asignar</i>	<i>AAAAAA</i>	<i>BAAAAA</i>	<i>ECCAAA</i>
<i>AAAAAA</i>	1	2	4
<i>BAAAAA</i>	1/2	1	3
<i>ECCAAA</i>	1/4	1/3	1

Las siguientes tres matrices hacen la correspondencia entre los niveles 2 y 3. Básicamente, en ellas se manifiesta como quiere el tomador de decisiones que se atiendan los servicios para una adscripción determinada, esto implica comparando los servicios entre sí

<i>AAAAAA</i>	<i>CA</i>	<i>EL</i>	<i>OT</i>	<i>BAAAAA</i>	<i>CA</i>	<i>EL</i>	<i>OT</i>
<i>CA</i>	1	1/5	1/3	<i>CA</i>	1	1/5	1/3
<i>EL</i>	5	1	2	<i>EL</i>	5	1	2
<i>OT</i>	3	1/2	1	<i>OT</i>	3	1/2	1

<i>ECCAAA</i>	<i>CA</i>	<i>EL</i>	<i>OT</i>
<i>CA</i>	1	1/7	1/3
<i>EL</i>	7	1	5
<i>OT</i>	3	1/5	1

Los valores asignados responden a distintas motivaciones, entre las que destacan: el número de personas que pertenezcan a un servicio, lo indispensable que se considere un servicio para que el órgano continúe con sus actividades habituales (en donde haya computadoras podría ser electricidad, por ejemplo), los servicios que se desea no tengan trabajos pendientes para esa adscripción, si un servicio es más laborioso o requiere de más tiempo para que se realice una tarea a diferencia de otro, si hay más órdenes de servicio, etc.

Como se observa, en la matriz del órgano ECCAAA (Depto. de Sistemas de Información) una falla eléctrica es de suma importancia, por esta razón se coloca un 7 al comparar los servicios de electricidad y carpintería. Este valor denota, según la escala propuesta en la sección 2.4.2 página 35, que el servicio de electricidad tiene *importancia muy fuerte o demostrada* con respecto al servicio carpintería para la adscripción ECCAAA. En contraste, en las otras matrices, o para los otros órganos, indica que la electricidad tiene *importancia esencial o fuerte* con respecto al servicio de carpintería.

Además, los valores de las comparaciones no varían en gran medida en las 3 matrices, esto sugiere que se puede llenar una matriz global que abarque todos los servicios o que se agrupen los órganos según la actividad que desempeñen. A continuación se obtienen las 3 matrices restantes que vinculan el nivel 4 (empleados) con el nivel 3 (servicios).

CA	CA1	CA2	EL1	EL2	PL3	EL	CA1	CA2	EL1	EL2	PL3
CA1	1	2	7	8	7	CA1	1	1	1/8	1/8	1/2
CA2	1/2	1	7	7	6	CA2	1	1	1/9	1/9	1
EL1	1/7	1/7	1	1	2	EL1	8	9	1	1	7
EL2	1/8	1/7	1	1	1	EL2	8	9	1	1	8
PL3	1/7	1/6	1/2	1	1	PL3	2	1	1/7	1/8	1

OT	CA1	CA2	EL1	EL2	PL3
CA1	1	2	2	1	1
CA2	1/2	1	1	1	1/2
EL1	1/2	1	1	1	2
EL2	1	1	1	1	1
PL3	1	2	1/2	1	1

De las tres matrices anteriores, se concluye que al comparar el trabajo que realizan los empleados, los valores grandes (considere el 7, 8 y 9) se interpretan con razón lógica ya que reflejan la *actividad principal* que realiza una persona en comparación a otra. De lo contrario, indica que el grado de distinción entre los empleados para realizar una tarea específica de ese servicio, es indistinto a medida que se acerque a 1, siendo éste el que refleje la *total indiferencia o igual importancia* si el empleado CA1 o el CA2 realiza tal solicitud, por ejemplo.

Todas estas matrices son deducidas de matrices generales o globales que se llenan sólo una vez y se modifican de acuerdo al tipo de asignación que se desee realizar. De esta manera, los órganos que no tengan una solicitud pendiente, los servicios que no tengan solicitudes por realizar o los empleados que no asistan o se encuentren ocupados al momento de asignar una actividad, no se incluyen en la estructura jerárquica al asignación nuevas tareas y, en consecuencia, no aparecen en las matrices de comparaciones del nivel correspondiente.

Posteriormente, se calculan los eigenvectores, por el método de *raíces normalizadas*, para cada matriz de comparaciones y se forma una matriz para cada uno de los $n-1$ niveles compuesta por los vectores propios de aquéllas matrices. Esto implica, que la matriz del nivel x está integrada con los vectores característicos de las matrices que se formen de sus elementos cuando se comparan los elementos del nivel adyacente inferior ($x+1$).

Así, para la primera matriz o el nivel 1 se obtiene el siguiente eigenvector normalizado, denominado como a :

$$\begin{array}{l}
 \textit{Asignar} \\
 \begin{array}{l}
 \textit{AAAAAA} \\
 \textit{BAAAAA} \\
 \textit{ECCAAA}
 \end{array}
 \begin{bmatrix}
 0.559 \\
 0.318 \\
 0.123
 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

En el segundo nivel, la matriz, b , de vectores propios está dada por :

$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{l}
 \textit{CA} \\
 \textit{EL} \\
 \textit{OT}
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \textit{AAAAAA} \quad \textit{BAAAAA} \quad \textit{ECCAAA} \\
 \begin{bmatrix}
 0.111 & 0.111 & 0.081 \\
 0.581 & 0.581 & 0.731 \\
 0.308 & 0.308 & 0.188
 \end{bmatrix}
 \end{array}
 \end{array}$$

La matriz de vectores de prioridades, c , para el nivel 3 es³⁸ :

³⁸ Se observa que los componentes de las 3 matrices para todos los niveles, tienen entradas no negativas y, además, los elementos de las columnas suman la unidad, principios básicos para que una matriz se considere estocástica, como se explicó en la sección 2.4.4.

$$\begin{array}{c}
 CA \quad EL \quad OT \\
 CA1 \left[\begin{array}{ccc} 0.480 & 0.046 & 0.260 \end{array} \right] \\
 CA2 \left[\begin{array}{ccc} 0.344 & 0.050 & 0.149 \end{array} \right] \\
 EL1 \left[\begin{array}{ccc} 0.067 & 0.416 & 0.197 \end{array} \right] \\
 EL2 \left[\begin{array}{ccc} 0.057 & 0.427 & 0.197 \end{array} \right] \\
 PL3 \left[\begin{array}{ccc} 0.052 & 0.061 & 0.197 \end{array} \right]
 \end{array}$$

El vector que indique la influencia de *asignar* (nivel 1) y seleccionar un *empleado* (nivel 4), está dado por el producto de las matrices *cba* :

$$\begin{array}{c}
 \textit{Asignar} \\
 CA1 \left[\begin{array}{c} 0.155 \end{array} \right] \\
 CA2 \left[\begin{array}{c} 0.111 \end{array} \right] \\
 EL1 \left[\begin{array}{c} 0.314 \end{array} \right] \\
 EL2 \left[\begin{array}{c} 0.320 \end{array} \right] \\
 PL3 \left[\begin{array}{c} 0.100 \end{array} \right]
 \end{array}$$

El procedimiento descrito, sugiere que una vez que se obtengan las matrices estocásticas de cada nivel, se obtenga un único vector prioritario como producto de esas matrices. Ese vector resultante cumple con el requisito de que la suma de sus elementos sea la unidad; por otro lado, se consigue multiplicando la matriz del nivel $n-1$, por la matriz del nivel $n-2$, por la del $n-3$, y sucesivamente hasta llegar al nivel 1, por decirlo de otra forma, inversamente a los niveles planteados en la jerarquía.

Siguiendo este proceso siempre se encuentra un vector estacionario, ya que un nivel cualquiera está relacionado con su semejante inmediato superior, al obtener los vectores prioritarios de las matrices de comparaciones en pareja de los elementos pertenecientes a ese nivel con respecto a cada elemento del nivel inmediato superior.

En el área de Investigación de Operaciones una *asignación* considera que las ponderaciones o prioridades son variables de decisión y determina o selecciona, para el

caso de estudio, indica qué persona realizará *qué tarea* y en *qué momento*, esto conlleva a tratar de obtener el mayor beneficio posible para la Escuela y el D.S.G.M³⁹.

Hillier y Lieberman proponen el *problema de asignación* como un caso especial de un problema de programación lineal en el que los recursos se asignan a las actividades sobre una base *uno a uno*.

Cuando se pretende asignar utilizando el Proceso Analítico de Jerarquías, se observa que también se tiene un problema lineal y que los recursos (planteados en el nivel 4 con los empleados) son asignados a las actividades (del nivel 2 y 3 o solicitudes de servicio) Sin embargo, no se puede tener una base *uno a uno*, debido a que la demanda de servicios, generalmente, sobrepasa a la oferta laboral; desde otro punto de vista, significa que quedan solicitudes pendientes de realizar y por ello surge la necesidad de *proponer un modelo con prioridades o probabilístico*.

Según William T. Morris, una *decisión* "significa una conceptualización de una situación de selección" Para Juan Prawda, *decidir* "es un proceso por el que una o más personas seleccionan una alternativa de entre un conjunto para, de acuerdo a ciertos criterios, alcanzar una serie de objetivos y metas preestablecidas"⁴⁰.

De las definiciones anteriores, se desprende que el *proceso de asignación*, en el cual se tiene un conjunto de alternativas de selección, involucra la *toma de decisiones*. El *análisis de decisión* se ha convertido en una técnica muy importante en negocios, industria, sector gubernamental y educativo, siendo en éste precisamente, donde se incluye el contexto planteado para la E.N.E.P.

En general, para el D.S.G.M. del *campus* Acatlán, el *proceso de decisión* consiste en seleccionar una o varias alternativas, generando un conjunto de posibles resultados, *asignación*, bajo el supuesto de que se obtiene una probabilidad mayor para un mejor beneficio en el *campus*, los empleados y el propio D.S.G.M. Por otro lado, el *proceso de*

³⁹ Una definición más sencilla, pero que mantiene la idea, se encuentra en el el diccionario enciclopédico Hispano Mexicano define *asignar* como "el acto de señalar o fijar lo que corresponde a un persona o cosa".

⁴⁰ En el diccionario Hispano Mexicano, *decidir* es formar un juicio definitivo sobre algo dudoso o tomar una determinación.

decisión también se conoce como un proceso de *selección de políticas, estrategias o programas* que establece la empresa o la persona que toma la decisión.

Hillier y Lieberman definen una *política de decisión* como "una regla para tomar decisiones en cada punto en el tiempo" Adoptando esta definición para la AHP, una *política* se determina a partir del conjunto de decisiones tomadas de una decisión individual para cada nivel en la estructura jerárquica, que es equivalente a seleccionar la mejor alternativa o el elemento con mayor prioridad, del vector de prioridades, en cada nivel

En esta investigación una *política* se propone al determinar o asignar a la persona que proporcione mayor prioridad, mayor beneficio, para realizar una actividad específica, es decir, identificar *políticas de decisión* que conjunten las decisiones que se tomen en cada nivel

A continuación se plantea un procedimiento para llevar a cabo la *asignación* descrita o el establecimiento de *políticas de decisión* Para ello, se retoma el ejemplo expuesto al inicio de esta sección, página 52. El vector que relaciona el nivel 1, asignar, con el nivel 4, empleados, es el que se obtuvo del producto de matrices en el ejemplo anterior

$$\begin{array}{l} \text{Asignar} \\ CA1 \\ CA2 \\ EL1 \\ EL2 \\ PL3 \end{array} \left[\begin{array}{l} 0.155 \\ 0.111 \\ 0.314 \\ 0.320 \\ 0.100 \end{array} \right]$$

Este vector sugiere que se debe asignar o se debe seleccionar el empleado EL2 ya que es el que tiene la mayor prioridad o mayor probabilidad de realizar una tarea. Con esta decisión se relacionan ambos niveles, 1 y 4, incluyendo implícitamente el 2 y 3. Posteriormente se toma la decisión del vector que relacione el nivel de Asignar con el nivel 3 Este vector se obtiene de multiplicar *ba* (ya calculadas) y es el siguiente :

$$\begin{array}{l}
 \textit{Asignar} \\
 CA \left[\begin{array}{l} 0.107 \\ 0.600 \\ 0.293 \end{array} \right] \\
 EL \\
 OT
 \end{array}$$

Del vector anterior se toma la decisión de asignar la solicitud del servicio EL, que es la que tiene el valor más alto.

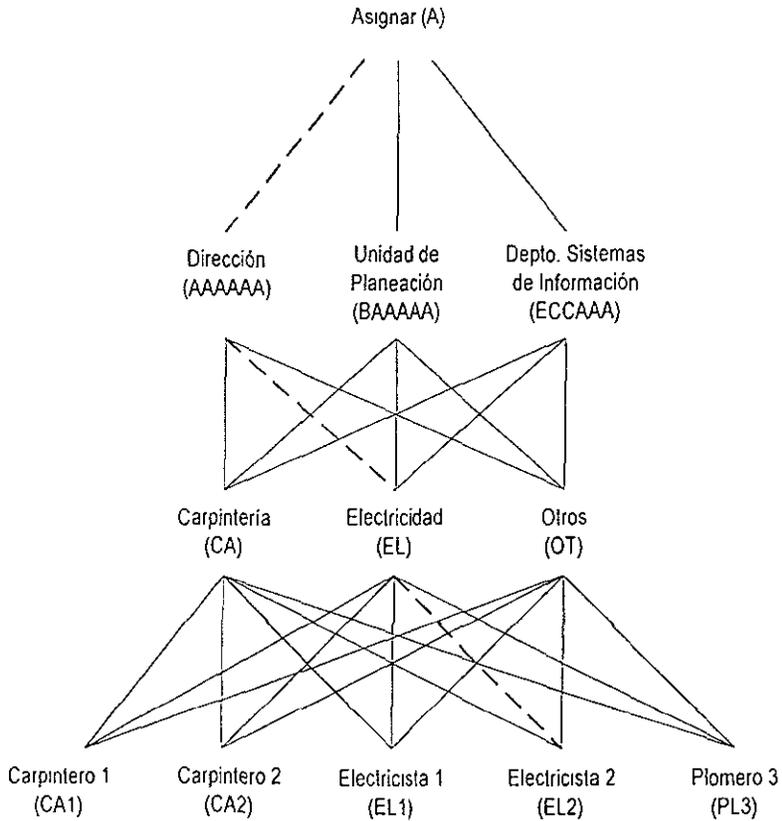
Finalmente, el vector ya obtenido que corresponda al nivel 1 y 2 se utiliza para determinar el órgano o adscripción de la Escuela que será favorecido al seleccionar su petición de servicio. Para el ejemplo, se deberá seleccionar el órgano AAAAAA (Dirección) que tiene el máximo valor de las adscripciones disponibles, como se indica en el vector

$$\begin{array}{l}
 \textit{Asignar} \\
 AAAAAA \left[\begin{array}{l} 0.559 \\ 0.318 \\ 0.123 \end{array} \right] \\
 BAAAAA \\
 ECCAAA
 \end{array}$$

Conjuntando las decisiones tomadas en cada nivel, se alcanza una *política de decisión*, que interpretada de otra manera, significa que la decisión es tomar el elemento con mayor valor en el vector que relaciona los niveles. Así se selecciona la mejor alternativa de decisión, que para el ejemplo es .

Asignar (nivel 1) el empleado EL2 del nivel 4 a la solicitud de servicio EL (electricidad) del nivel 3, realizada por la adscripción AAAAAA (Dirección) nivel 2.

En la jerarquía, la *política* se muestra con las líneas punteadas de la forma siguiente :



Una vez tomada esta decisión, los elementos de cada nivel que intervienen en la decisión (a excepción del nivel 1) son eliminados de la estructura jerárquica, para cálculos posteriores. En el ejemplo, significa que el empleado EL2 no tiene tiempo disponible para realizar otra solicitud de trabajo hasta que se desocupe, mientras tanto no aparece en el nivel 4. En el nivel 3, el servicio surge siempre y cuando haya otra solicitud pendiente para ese servicio, y para el nivel 2 el órgano se incluye en la jerarquía si tiene otra petición de trabajo (del mismo taller o distinto).

Se hace la aclaración, de que en este ejemplo no se considera una solicitud de material, es decir, el resultado se puede verse alterado si no existiera material para realizar la tarea específica del órgano seleccionado, por ejemplo AAAAAA. Las solicitudes de material/herramienta serán incluidas en el nivel que maneje los servicios, para el

ejemplo es el nivel 3, esto implica que si una adscripción tiene 2 solicitudes para el servicio de carpintería (CA), entonces éste aparece 2 veces en el nivel con un distintivo que indique la solicitud⁴¹.

2.5 Validación de la aplicación del modelo

El Proceso Analítico de Jerarquías se presenta como una herramienta de gran utilidad para el tomador de decisiones, esta metodología tiene fundamentos matemáticos (de los cuales se vio una parte), así como facilidad de comprensión si el decisor no muestra interés o afinidad hacia las ciencias exactas. Esta característica hace que la metodología de Saaty tenga un futuro con gran desarrollo en todas las áreas de investigación.

La validación del modelo práctico, se lleva a cabo por complementos a la teoría matemática expuesta y por razonamientos lógicos deductivos a partir del AHP.

2.5.1 Consistencia y eigenvalor principal λ_{\max}

A partir de la página 28, sección 2.4, se explicó la importancia del eigenvector principal de una matriz recíproca no negativa⁴² de comparaciones en pareja, así como algunos métodos para obtenerlo. Ese vector característico surge como el principal eigenvalor, o como se ha denominado el λ_{\max} de la matriz de $n \times n$.

El teorema de O. Perron manifiesta la existencia única de un eigenvalor para matrices recíprocas, irreducibles y positivas. El teorema fue generalizado por G. Frobenius para matrices no negativas. Actualmente, se conoce el teorema como Perron-Frobenius⁴³, y se enuncia como sigue :

⁴¹ Como se verá cuando se diseñe el sistema, el distintivo es el número de solicitud, por ejemplo CA-11 y CA-35 indican 2 solicitudes para el órgano Dirección o cualquier otra adscripción del servicio de carpintería.

⁴² Que es más general que la matriz recíproca positiva, ya que en ésta sólo se aceptan números mayores de 0 y en una matriz recíproca no negativa los valores pueden llegar a ser 0.

⁴³ Debido a que la demostración del teorema es muy extensa, se recomienda revisar la bibliografía referente al álgebra de matrices.

Sea $A \geq 0$ una matriz de $n \times n$ irreducible, entonces

- A tiene un eigenvalor λ_{\max} como un simple número real positivo (i.e., no es un múltiplo), el cual no es excedido en valor absoluto por algún otro eigenvalor de A .
- El eigenvector de A corresponde al eigenvalor λ_{\max} , tiene componentes positivos y es esencialmente único (salvo que en multiplicación por una constante).
- El número λ_{\max} (algunas veces llamado *raíz de Perron* para A) está dado por

$$\lambda_{\max} = \max_{x \geq 0} \min_{1 \leq i \leq n} \frac{(Ax)_i}{x_i} = \min_{x \geq 0} \max_{1 \leq i \leq n} \frac{(Ax)_i}{x_i}; \quad x \geq 0 \text{ arbitraria}$$

y satisface

$$\min_{1 \leq i \leq n} \frac{(Ax)_i}{x_i} \leq \lambda_{\max} \leq \max_{1 \leq i \leq n} \frac{(Ax)_i}{x_i}$$

Es importante hacer mención de algunos hechos para matrices con características necesarias para que se cumpla el Teorema Perron-Frobenius.

- λ_{\max} tiene un límite superior dado por la suma de renglón (columna) máxima e inferior por la suma de renglón (columna) mínima. Así, si A es una matriz estocástica, es decir, si su renglón (columna) suma uno, entonces $\lambda_{\max} = 1$.

Este caso se presenta para las matrices que componen la *supermatriz*, ya que ellas se forman de los eigenvectores normalizados (tomados como columnas y cuya suma es la unidad) de las matrices de comparaciones en pareja. Como se verá no es necesario obtener ese valor para las matrices estocásticas de la *supermatriz* general, sólo para las matrices de comparaciones en pareja (*que no son estocásticas*).

- Para una matriz estocástica A , el $\lim_{k \rightarrow \infty} A^k = ev$, donde v es un vector renglón

positivo, $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)$, $\sum_{i=1}^n v_i = 1$ y $e = (1, 1, \dots, 1)^T$.

- Para una matriz positiva A , hay una constante λ positiva, un vector renglón v distinto de cero y un vector columna w también distinto de cero, tal que

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{A^k}{\lambda^k} = wv$$

λ es el eigenvalor más grande de A y es llamado el eigenvalor principal, w y v son eigenvectores principales únicos, diferenciados por el producto de una constante.

Para el AHP, T. Saaty propone un forma sencilla de estimar el eigenvalor principal, y se describe a continuación:

Cálculo del eigenvalor principal

- 1 Se multiplica la matriz de comparaciones sobre la derecha por el vector solución estimado (llámese α), obteniendo un nuevo vector (β).
- 2 Dividir el primer componente de β por el primer componente de α , el segundo elemento de β por el segundo elemento de α , y así hasta dividir los n elementos de α y β ; el resultado es un nuevo vector (γ).
- 3 Sumar los componentes de γ y dividir el resultado por el número de componentes, el valor resultante será la aproximación al eigenvalor principal λ_{max} . Este valor propio es cercano a n (el número de componentes en la matriz) a medida que se presente el caso de consistencia que refleje la proporcionalidad de las preferencias de quien asigna los juicios o valores comparativos

Continuando con estas ideas, se define la **consistencia** de una matriz como un proceso que indique la interpretación lógica de todos los valores que son introducidos en la matriz. Cuando la persona que asigna esos valores es inexperta en el proceso de comparar elementos, es recomendable obtener un **índice de consistencia** (C.I., consistency index) que indique la validez de sus juicios. En este sentido, El valor λ_{max} es de gran importancia para estimar el grado de inconsistencia de una matriz de comparaciones en pareja.

Como se ha mencionado, un elemento es igualmente importante cuando se compara con él mismo, es por esta razón que los valores de la diagonal principal de la matriz son siempre iguales a 1. Además, cuando se inserta el valor recíproco en la posición j,i , al comparar el elemento i,j , por ejemplo 1, 1/3, ..., 1/9, se reduce con ello el grado de consistencia

Los juicios pueden ser deducidos por usar la siguiente relación :

Si la actividad A_1 es 3 veces más dominante que la que la actividad A_2 y la actividad A_1 es 6 veces más importante que la actividad A_3 , entonces $A_1 = 3A_2$ y $A_1 = 6A_3$; esto significa que $3A_2 = 6A_3$ o $A_2 = 2A_3$ y $A_3 = \frac{1}{2}A_2$. Si el valor numérico del juicio en la posición (2,3) es diferente de 2, entonces la matriz será *inconsistente*.

Lo anterior sucede frecuentemente debido a que es muy tedioso realizar todas las relaciones, imagine una matriz de 10 elementos en los cuales se deben asignar 45 valores. Por otro lado, también se pueden construir los juicios de $n-1$ valores básicos que relacionan a todos los elementos de una matriz y los cuales son absolutamente ciertos, pero existe una gran dificultad para identificar esos $n-1$ valores

La **consistencia** de una matriz recíproca positiva es equivalente a que el máximo eigenvalor, λ_{max} , sea igual a n , pero en la mayoría de los casos $\lambda_{max} \geq n$. Entonces, es posible estimar la desviación de la consistencia por :

$$C.I. = \frac{\lambda_{M4A} - n}{n - 1}$$

Se calcula un radio de consistencia (C.R. consistency ratio) que relacione este índice de consistencia con un índice de consistencia aleatorio (R.I. random index) del promedio de matrices del mismo tamaño que utilicen la escala de 1 a 9, generadas aleatoriamente y que tienen forzados sus recíprocos.

En el laboratorio Oak Ridge de E.U. se generó un R.I. promedio para matrices de orden 1-15 usando un tamaño de 100 en cada muestra. En la escuela Wharton, se

realizaron los mismos cálculos para matrices de orden 1-11 con un tamaño de 500 muestras. Obviamente, se espera que a medida que aumente el orden de la matriz, el R.I. incremente también. La siguiente tabla indica el R.I. para una matriz de orden n , tomando los valores de Wharton para $n = 1, \dots, 11$ y de Oak Ridge para $n = 12, \dots, 15$:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Considerando lo anterior, un radio de consistencia C.R. de 0.10 o menos se considera aceptable, es decir, los juicios son consistentes y validan las relaciones lógicas descritas en párrafos anteriores.

Para ilustrar el cálculo del eigenvalor principal, λ_{\max} , C.I. y C.R., considere la matriz de comparaciones y su eigenvector solución estimado en el ejemplo de la sección anterior, página 51:

EL	$CA1$	$CA2$	$EL1$	$EL2$	$PL3$	$\alpha =$	EL
$CA1$	1	1	1/8	1/8	1/2	$\left[$	$CA1$ 0.046
$CA2$	1	1	1/9	1/9	1	0.050	$CA2$ 0.050
$EL1$	8	9	1	1	7	0.416	$EL1$ 0.416
$EL2$	8	9	1	1	8	0.427	$EL2$ 0.427
$PL3$	2	1	1/7	1/8	1	0.061	$PL3$ 0.061

Primero, obtener el valor de λ_{\max} con el procedimiento para cálculo del eigenvalor principal. El producto de la matriz de comparaciones anterior por α es el vector β :

$$\beta = \begin{matrix} & EL \\ & CA1 \\ & CA2 \\ & EL1 \\ & EL2 \\ & PL3 \end{matrix} \begin{bmatrix} 0.232 \\ 0.251 \\ 2.088 \\ 2.149 \\ 0.316 \end{bmatrix}$$

En seguida, calcule un nuevo vector y al dividir cada elemento del vector β por su correspondiente en α .

$$\gamma = \begin{matrix} & EL \\ CA1 & \left[\begin{matrix} 5.043 \\ 5.020 \\ 5.019 \\ 5.033 \\ 5.180 \end{matrix} \right] \\ CA2 & \\ EL1 & \\ EL2 & \\ PL3 & \end{matrix}$$

λ_{-av} resulta de sumar los elementos del vector γ y dividirlos entre 5 (número de elementos), es decir,

$$\lambda_{\max} = 25.295 / 5 = 5.059$$

En primera instancia, este valor indica que no hay mucha inconsistencia en los juicios emitidos para esa matriz en particular, para verificarlo se calcula el índice de consistencia (C.I.)

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{5.059 - 5}{5 - 1} = \frac{0.059}{4} = 0.015$$

Para determinar que tan bueno es el C.I., se divide éste por el valor correspondiente al índice de consistencia aleatorio R.I. = 1.12 (para n=5), que origina que un radio de consistencia C.R. = C.I. / R.I. igual a 0.013. Este radio de consistencia refleja que efectivamente no hay una inconsistencia considerable en los juicios, debido a que cumple con la desigualdad C.R. \leq 0.10, recomendada para indicar que no se presenta inconsistencia

La inconsistencia puede originarse por una persona inexperta en el proceso, a medida que se familiarice la persona que toma la decisión en asignar juicios de comparaciones en parejas, el radio de consistencia C.R. disminuirá.

Mientras se muestre inconsistencia suficientemente grande, es recomendable aplicar otro procedimiento para ajustar y disminuir el radio de consistencia de la matriz. Cabe hacer la aclaración que esta revisión de juicios no se debe repetir varias veces (considérese razonable 1 o 2 veces) ya que altera directamente los valores que han sido asignados por la persona que compara los elementos de la matriz. Si el proceso se repite excesivamente hasta que la matriz se considere consistente, derivado de que el C.R. sea

0.10 o menor, la solución o política de decisión será alterada significativamente de la que original y puede no reflejar exactamente lo que el decisor desea

El proceso para disminuir la inconsistencia, surge para ayudar a aquellas personas que tienden a la incertidumbre al comparar un grupo de actividades con un simple elemento, y se integra a la metodología AHP como sigue :

Revisión de juicios o Disminución de inconsistencia

- 1 Realice las comparaciones en pareja y forme la matriz A cuyas entradas sean a_{ij}
2. Obtenga el eigenvector principal normalizado, w , que cumpla $Aw = \lambda_{\max} w$.
3. Calcule el valor de λ_{\max} a partir del producto Aw / w (ya explicado)
4. Obtenga el radio de consistencia C.R. y si este es mayor de 0.10, indica inconsistencia en la matriz, antes de considerar la solución realice los pasos 5, 6 y 7
5. Cuando haya inconsistencia calcule la matriz, B , de radios de prioridades a partir de los elementos del vector principal w y formada como $b_{ij} = w_i / w_j^{44}$.
6. Forme una nueva matriz C de los valores absolutos de las diferencias de los elementos de las matrices A y B , es decir, $c_{ij} = |a_{ij} - b_{ij}|$.
7. Seleccione el elemento con el máximo valor en la matriz C , llámese c_{xy} y reemplace el elemento de la matriz a_{xy} por este valor, esto indica que se modificarán los valores de la matriz original A (paso 1 de este procedimiento). Regrese al paso 2.

La forma subjetiva, y quizá la más relevante, de revisar los juicios es que en el paso 7 se haga conciencia de si el valor original asignado es el correcto o si realmente hay necesidad de modificarlo, ya que el uso excesivo de este proceso, obliga a los juicios a la consistencia. En consecuencia, se altera la respuesta y es contrario a la experiencia de donde se originaron los valores.

⁴⁴ Observe que la diagonal principal seguirán siendo unos y los elementos de la matriz pueden llegar a ser mayores de 9

Para ilustrar este proceso considere que en la matriz del ejemplo anterior se asignó el valor de 7 en la posición (4,3)⁴⁵ y todos los demás valores son los mismos. También se obtiene su eigenvector principal (pasos 1 y 2) :

<i>EL</i>	<i>CA1</i>	<i>CA2</i>	<i>EL1</i>	<i>EL2</i>	<i>PL3</i>		<i>EL</i>
<i>CA1</i>	1	1	1/8	1/8	1/2		<i>CA1</i> [0.038
<i>CA2</i>	1	1	1/9	1/9	1		<i>CA2</i> 0.042
<i>EL1</i>	8	9	1	7	7		<i>EL1</i> 0.512
<i>EL2</i>	8	9	1	1	8		<i>EL2</i> 0.357
<i>PL3</i>	2	1	1/7	1/8	1		<i>PL3</i>] 0.051

El correspondiente

$$\lambda_{\max} = 6.017 \quad \text{y} \quad \text{C.I.} = 0.254 \quad \text{originan el} \quad \text{C.R.} = 0.227$$

que representan los pasos 3 y 4, y muestran la inconsistencia en la matriz anterior. Posteriormente, el paso 5 indica que se forme la matriz de radios de prioridades, *B*, a partir del eigenvector de prioridades estimado.

<i>EL</i>	<i>CA1</i>	<i>CA2</i>	<i>EL1</i>	<i>EL2</i>	<i>PL3</i>
<i>CA1</i>	1	0.905	0.074	0.106	0.745
<i>CA2</i>	1.105	1	0.082	0.118	0.824
<i>EL1</i>	13.474	12.190	1	1.434	10.039
<i>EL2</i>	9.395	8.500	0.697	1	7.000
<i>PL3</i>	1.342	1.214	0.100	0.143	1

El paso 6 sugiere que se construya la matriz *C* a partir del valor absoluto de la resta de los elementos de las matrices *A* y *B*

⁴⁵ Es válido asignar este valor pero, según se ha visto, lógicamente entraría el valor de 1/7 en la posición recíproca, es decir, (3,4). Como se observa en el ejemplo, esto no sucede y por lo tanto se presenta *inconsistencia*.

<i>EL</i>	<i>CA1</i>	<i>CA2</i>	<i>EL1</i>	<i>EL2</i>	<i>PL3</i>
<i>CA1</i>	0	0.095	0.051	0.019	0.245
<i>CA2</i>	0.105	0	0.029	0.007	0.176
<i>EL1</i>	5.474	3.190	0	5.566	3.039
<i>EL2</i>	1.395	0.500	0.303	0	1.000
<i>PL3</i>	0.658	0.214	0.043	0.018	0

El máximo valor en la matriz *C* es 5.566 que se encuentra en la posición (3,4), precisamente el valor que se cambió y que originó la inconsistencia en la matriz de *comparaciones*. El paso 7 dice que se cambie ese valor, 5.566, en la misma posición de la matriz *A* y se vuelvan a calcular los valores de λ_{\max} , C.I. y C.R. para observar el cambio en la inconsistencia

Para ahorrar espacio, sólo se presentan los valores de λ_{\max} , C.I. y C.R. calculados después de haber realizado el cambio indicado en el paso 7. El eigenvector columna de esa matriz es (0.039, 0.043, 0.501, 0.365, 0.052), además

$$\lambda_{\max} = 29.069 / 5 = 5.814 \quad \text{C.I.} = 0.204 \quad \text{y} \quad \text{C.R.} = 0.182.$$

Como se observa, el radio de consistencia C.R. disminuyó (de 0.227 a 0.182) cuando se cambió el valor de un elemento de la matriz original y aplicar el procedimiento para *disminuir la inconsistencia o revisión de juicios*. Sin embargo, el valor de C.R. = 0.182 sigue siendo mayor al recomendado de 0.10, esto sugiere que se vuelva a realizar el proceso de inconsistencia. Sin embargo, hay que estar consciente que volver a ejecutar este proceso involucra cambiar otro valor (o el mismo) en la matriz original.

Para el ejemplo no importaría si se realiza otra vez el proceso, al contrario disminuirá el valor arbitrario que se modificó en la posición (3,4), pero en el caso práctico no se recomienda que se ejecute muchas veces ya que cambia los juicios de la persona experta que los asignó y no es lo mismo que al comparar se asigne el valor de 7 a un valor de 5; o considerando la descripción de la escala, no es igual decir que una actividad es *favorecida muy fuertemente* más que otra y que su dominio es demostrado en la práctica a que la experiencia y el juicio favorecen *fuertemente* una actividad más que la otra

2.5.2 Proceso hacia adelante y otros métodos

Otro punto importante al validar el modelo, es identificar el proceso a seguir una vez que se considera una política de decisión y se asignan a las personas según el AHP. Como se vio en la sección 2.4 5, a partir de la página 51, al tratar las políticas de decisión, se asigna un elemento o se selecciona la mejor alternativa para cada nivel, formando así una política de decisión.

Una vez seleccionado el elemento con *mayor prioridad* o *probabilidad* de una matriz para un nivel cualquiera y que forme parte de la política de decisión, se debe eliminar de la estructura jerárquica los elementos que se hayan considerado en la asignación o política de decisión. Realizar este cambio, modifica una matriz de cada nivel y en consecuencia habrá cambios en los cálculos de una nueva política de asignación.

En el ejemplo de la sección 2.4 5, página 51, se desarrolló el caso en el que 3 órganos de la Escuela realizan, cada uno, 3 solicitudes de trabajo para 3 servicios diferentes, es decir, se tienen 9 solicitudes pendientes de realizar. Además, se supone hay 5 empleados con tiempo disponible para atender las solicitudes

En breve, el proceso que se ha visto, para asignarle a una persona una solicitud que debe atender se obtiene a partir de las matrices estocásticas que se forma con los eigenvectores normalizados de las matrices de comparaciones en pareja. Al multiplicar estas matrices inversamente, es decir, la matriz del nivel $n-1$, por la matriz del nivel $n-2$, hasta llegar al nivel 1, se obtiene un vector columna cuya suma de sus elementos es la unidad. A este proceso se le conoce como *proceso hacia atrás* (Backward Process).

El Backward Process, se usa generalmente para los casos en los que todos los elementos de un nivel están relacionados con todos los elementos del nivel adyacente inferior, como en el ejemplo de la sección 2.4.5 página 51, y cuando sólo se desea tomar la mejor decisión y no repetir el proceso para tomar otra decisión.

Para el caso en el que no se relacionan todos los elementos de los niveles y que se desea repetir el proceso para formar varias políticas de asignación, como en el estudio

de esta investigación, se considera el *proceso hacia adelante* (Forward Process), que sufre algunas consideraciones al *proceso hacia atrás*.

Para exponer el Forward Process, considere que una vez obtenidos los eigenvectores normalizados de las matrices de comparaciones en pareja y formadas las matrices estocásticas para cada nivel, en lugar de realizar el producto de matrices en forma inversa, del nivel inferior al superior, se multiplican de arriba hacia abajo esas matrices, tomando una decisión más antes de efectuar una nueva multiplicación. Considere el siguiente algoritmo del Forward Process para el *criterio general* de asignación:

Proceso hacia adelante

1. Realice las comparaciones en pareja de los elementos del nivel 2 con respecto al elemento del nivel 1.
2. Obtenga el eigenvector principal normalizado de la matriz de comparaciones del paso anterior.
3. Seleccione los elementos necesarios del eigenvector, obtenido en el paso 2, de tal manera que la suma de sus prioridades sea mayor o igual a 80%⁴⁵
4. Para los elementos seleccionados en el paso anterior, forme las matrices de comparaciones en parejas (nivel 3) y calcule sus respectivos eigenvectores normalizados
5. Para cada uno de los elementos seleccionados en el paso anterior al 4, multiplique su valor prioritario a cada uno de los elementos del vector relacionado del paso 4.
6. De los vectores del paso anterior, seleccione para cada uno de ellos los elementos que abarquen el 80% o más, para ello se toma el respectivo vector normalizado del paso 4, pero no se trabajará con esos resultados, sino con los valores de los vectores del paso 5.

⁴⁵ El porcentaje se determina arbitrariamente, la idea es seleccionar a los elementos que realmente tiene la posibilidad de obtener una probabilidad alta o de ser incluidos en la política de asignación. Si la persona que toma la decisión considera que en algunos casos el porcentaje debe ser del 75%, 70% o menos, será tomado

7. Forme un sólo vector columna con todos los elementos seleccionados en el paso 6, en el caso de que se repitan, considere el elemento de mayor valor. Los valores que aparecerán en este nuevo vector, serán los obtenidos en el paso 5 (sin normalizar).
8. Normalice el vector del paso 7 y seleccione los elementos que sumen el 80% o más de prioridades.
- 9 Regrese al paso 4, pero ahora se compararán los elementos del nivel 4 (empleado) para los elementos seleccionados del nivel 3 en el paso 7. Sólo se regresará al paso 4 una vez (suponiendo el *criterio general*).
- 10 Seleccione el elemento con la mayor prioridad para cada uno de los $n-1$ vectores que se obtenga de la jerarquía, siempre y cuando se encuentre al menos una relación entre niveles adyacentes⁴⁷. Esta será la política de asignación deseada
11. Elimine los elementos que pertenezcan a la política de decisión de la estructura jerárquica, formando así, una nueva jerarquía.
- 12 Para esta nueva estructura jerárquica, repita todo el procedimiento siempre y cuando haya al menos una solicitud pendiente o un empleado (o más) en horario laboral disponible para realizar una actividad más.

Este algoritmo, así como el AHP en general, puede ser adaptado a cualquier situación o estructura jerárquica que se forme a partir de un caso de estudio en particular. Para ejemplificar el algoritmo anterior, suponga la jerarquía planteada en la sección 2.4.5, página 51 :

- | | |
|----------|---|
| Nivel 1. | Asignar (A) |
| Nivel 2 | Dirección (AAAAAA), Unidad de Planeación (BAAAAA) y
Departamento de Sistemas de Información (ECCAAA) |
| Nivel 3 | Carpintería (CA), Electricidad (EL) y Otros (OT) |

como válido. Esto es claro cuando se tienen sólo 2 elementos, de los cuáles uno tiene el 70 y el otro el 30%, es obvio, que el de 70% tiene gran posibilidad de incluirse en la política de asignación.

⁴⁷ Por ejemplo, si la solución es elegir en el nivel 3 el servicio Electricidad, y en el nivel 2 la prioridad mayor resulta para un órgano que no tiene una solicitud pendiente para ese servicio, entonces se deberá seleccionar el servicio con la segunda prioridad mayor, siempre y cuando cumpla la condición anterior

Nivel 4. Carpintero 1 (CA1), Carpintero 2 (CA2), Electricista 1 (EL1),
Electricista 2 (EL2) y Plomero 3 (PL3)

En esta estructura no se incluye el procedimiento de *inconsistencia* por razones de espacio, sin embargo se sobreentiende que revisar los juicios es una parte fundamental de la metodología AHP. También se observa que la estructura refleja que todos los elementos de un nivel están relacionados con todos los elementos del nivel inmediato inferior, esto con la finalidad de llegar a la misma conclusión que cuando se aplicó el *proceso hacia atrás* para la primera política de asignación. Además, se obvian pasos como cálculo de eigenvectores o explicación lógica detallada de los resultados obtenidos, por haber sido ya tratados.

Iteración 1

El paso 1 y 2 indican que se forme la matriz de comparaciones (del nivel 1 y 2) y se obtenga el vector propio principal normalizado.

<i>Asignar</i>	<i>AAAAAA</i>	<i>BAAAAA</i>	<i>ECCAAA</i>		<i>Asignar</i>
<i>AAAAAA</i>	1	2	4		<i>AAAAAA</i> [0.559]
<i>BAAAAA</i>	1/2	1	3		<i>BAAAAA</i> [0.318]
<i>ECCAAA</i>	1/4	1/3	1		<i>ECCAAA</i> [0.123]

Se seleccionan los elementos *AAAAAA* y *BAAAAA*, ya que suman el 87.7%, como se describe en el paso 3. El paso 4 indica que se obtengan las matrices de comparaciones en pareja para los elementos *AAAAAA* y *BAAAAA*, del nivel 3 (servicios), así como sus respectivos eigenvectores normalizados. Las matrices se plantearon iguales y por lo tanto también sus vectores propios.

<i>AAAAAA</i>	<i>CA</i>	<i>EL</i>	<i>OT</i>		<i>AAAAAA</i>		<i>BAAAAA</i>
<i>CA</i>	1	1/5	1/3		<i>CA</i> [0.111]		<i>CA</i> [0.111]
<i>EL</i>	5	1	2		<i>EL</i> [0.581]		<i>EL</i> [0.581]
<i>OT</i>	3	1/2	1		<i>OT</i> [0.308]		<i>OT</i> [0.308]

El paso 5 indica que se multiplique 0.559 por el eigenvector para AAAAAA y 0.318 para BAAAAA, obteniendo

$$\begin{array}{l}
 \text{AAAAAA} \\
 CA \begin{bmatrix} 0.062 \\ 0.325 \\ 0.172 \end{bmatrix} \\
 EL \\
 OT
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \text{BAAAAA} \\
 CA \begin{bmatrix} 0.035 \\ 0.185 \\ 0.098 \end{bmatrix} \\
 EL \\
 OT
 \end{array}$$

Como indica el paso 6, se seleccionan los elementos que cumplan con el 80% o más de prioridad de los vectores anteriores, claramente se observa que para los dos vectores esos elementos son EL y OT. Se forma un nuevo vector con los valores de esos elementos, tomando los valores máximos para EL y OT si aparecieran repetidos (paso 7) y se normaliza el vector (paso 8). Se seleccionan los dos elementos, ya que ninguno tiene un valor superior al 80%.

$$\begin{array}{l}
 EL \begin{bmatrix} 0.325 \\ 0.172 \end{bmatrix} \\
 OT
 \end{array}
 \Rightarrow
 \begin{array}{l}
 \text{Vector normalizado} \\
 EL \begin{bmatrix} 0.654 \\ 0.346 \end{bmatrix} \\
 OT
 \end{array}$$

El paso 9 indica que se inicie nuevamente el paso 4 (sólo una vez) comparando los empleados (nivel 4) con base en los elementos del paso anterior (EL y OT)

<i>EL</i>	<i>CA1</i>	<i>CA2</i>	<i>EL1</i>	<i>EL2</i>	<i>PL3</i>	<i>EL</i>
<i>CA1</i>	1	1	1/8	1/8	1/2	<i>CA1</i> [0.046
<i>CA2</i>	1	1	1/9	1/9	1	<i>CA2</i> 0.050
<i>EL1</i>	8	9	1	1	7	<i>EL1</i> 0.416
<i>EL2</i>	8	9	1	1	8	<i>EL2</i> 0.427
<i>PL3</i>	2	1	1/7	1/8	1	<i>PL3</i> 0.061]

<i>OT</i>	<i>CA1</i>	<i>CA2</i>	<i>EL1</i>	<i>EL2</i>	<i>PL3</i>	<i>OT</i>
<i>CA1</i>	1	2	2	1	1	<i>CA1</i> [0.260
<i>CA2</i>	1/2	1	1	1	1/2	<i>CA2</i> 0.149
<i>EL1</i>	1/2	1	1	1	2	<i>EL1</i> 0.197
<i>EL2</i>	1	1	1	1	1	<i>EL2</i> 0.197
<i>PL3</i>	1	2	1/2	1	1	<i>PL3</i> 0.197]

De acuerdo al paso 5, se multiplica 0.654 (el valor para EL del vector normalizado del paso 8) por el vector normalizado para el elemento EL seleccionado y 0.346 (OT del vector normalizado) para el elemento OT.

$$\begin{array}{cc}
 \begin{array}{c} EL \\ CA1 \\ CA2 \\ EL1 \\ EL2 \\ PL3 \end{array} \begin{bmatrix} 0.046 \\ 0.050 \\ 0.416 \\ 0.427 \\ 0.061 \end{bmatrix} & \times 0.654 = & \begin{array}{c} EL \\ CA1 \\ CA2 \\ EL1 \\ EL2 \\ PL3 \end{array} \begin{bmatrix} 0.030 \\ 0.033 \\ 0.272 \\ 0.279 \\ 0.040 \end{bmatrix} \\
 \begin{array}{c} OT \\ CA1 \\ CA2 \\ EL1 \\ EL2 \\ PL3 \end{array} \begin{bmatrix} 0.260 \\ 0.149 \\ 0.197 \\ 0.197 \\ 0.197 \end{bmatrix} & \times 0.346 = & \begin{array}{c} OT \\ CA1 \\ CA2 \\ EL1 \\ EL2 \\ PL3 \end{array} \begin{bmatrix} 0.090 \\ 0.052 \\ 0.068 \\ 0.068 \\ 0.068 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

Se seleccionan del vector EL los elementos EL1 y EL2, ya que abarcan el 84.3%; y del vector OT se eligen CA1, EL1, EL2 y PL3, los cuales suman el 85.1% (paso 6) Se forma el vector como se describe en el paso 7, cuyos componentes son CA1, EL1, EL2 y PL3. A continuación se muestra el nuevo vector (paso 7) y del lado derecho su vector normalizado (paso 8).

$$\begin{array}{c} CA1 \\ EL1 \\ EL2 \\ PL3 \end{array} \begin{bmatrix} 0.090 \\ 0.272 \\ 0.279 \\ 0.068 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{array}{c} CA1 \\ EL1 \\ EL2 \\ PL3 \end{array} \begin{bmatrix} 0.127 \\ 0.384 \\ 0.393 \\ 0.096 \end{bmatrix}$$

En el paso 10 se selecciona el elemento con mayor prioridad de los siguientes vectores normalizados :

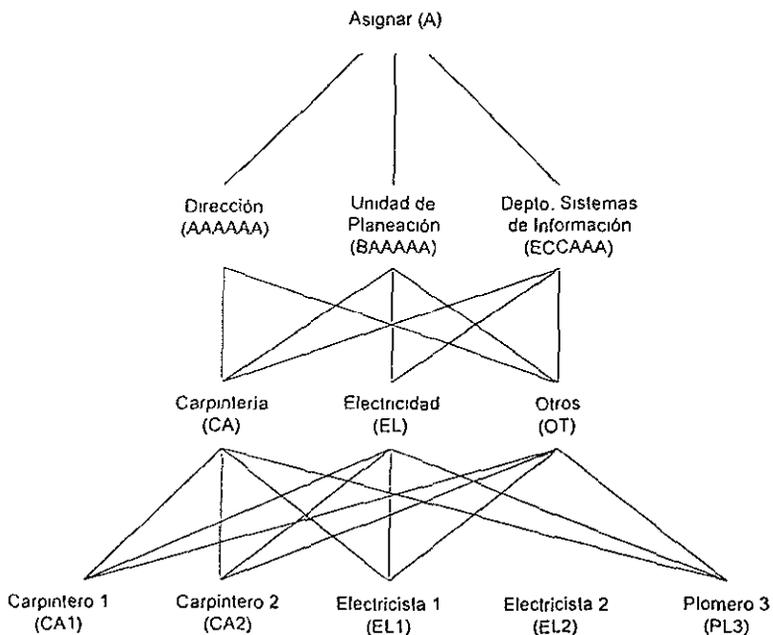
$$\begin{array}{ccc}
 \text{Nivel 2} & \text{Nivel 3} & \text{Nivel 4} \\
 \text{Asignar} & & \\
 \begin{array}{c} AAAAAA \\ BAAAAA \\ ECCAAA \end{array} \begin{bmatrix} 0.559 \\ 0.318 \\ 0.123 \end{bmatrix} & \begin{array}{c} EL \\ OT \end{array} \begin{bmatrix} 0.654 \\ 0.346 \end{bmatrix} & \begin{array}{c} CA1 \\ EL1 \\ EL2 \\ PL3 \end{array} \begin{bmatrix} 0.127 \\ 0.384 \\ 0.393 \\ 0.096 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

La política de asignación es :

Seleccionar del nivel 2 el elemento AAAAAA (Dirección), del nivel 3 se toma EL (Electricidad) y del nivel 4 el empleado EL2 (Electricista 2). En otras palabras, el Electricista 2 realizará una tarea de Electricidad para la Dirección.

Observe que esta política de decisión, es la misma política de asignación de la obtenida al finalizar la sección 2 4.5, página 60.

Eliminando los elementos de su respectivo nivel (paso 11) seleccionados al formar la política de asignación, se genera la siguiente jerarquía, la cual muestra que ya no están relacionados todos los elementos de un nivel con el nivel adyacente inferior.



El paso 12 sugiere realizar una segunda iteración. En las siguientes iteraciones se dan por entendidos algunos cálculos para evitar redundancia.

Iteración 2

El paso 1 y 2 no se modifican en relación a la iteración 1, esto se debe a que los elementos del nivel 1 y 2 no son alterados en sus elementos⁴⁸. Para el paso 3 se seleccionan, nuevamente, los elementos AAAAAA y BAAAAA (87.7%). En el paso 4, se obtienen las matrices de comparaciones, pero ya no son iguales; la matriz BAAAAA no sufre cambios, por lo tanto, su eigenvector normalizado es el mismo; pero la matriz AAAAAA ya no tiene el elemento EL (que ya fue asignado). Esto origina que para el paso 4 se tengan los siguientes resultados :

$$\begin{array}{c|cc}
 \text{AAAAAA} & \text{CA} & \text{OT} \\
 \hline
 \text{CA} & 1 & 1/3 \\
 \text{OT} & 3 & 1
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \text{AAAAAA} \\
 \text{CA} \begin{bmatrix} 0.250 \\ 0.750 \end{bmatrix} \\
 \text{OT}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \text{BAAAAA} \\
 \text{CA} \begin{bmatrix} 0.111 \\ 0.581 \\ 0.308 \end{bmatrix} \\
 \text{EL} \\
 \text{OT}
 \end{array}$$

El paso 5 indica que se multiplique 0.559 por el eigenvector para AAAAAA y 0.318 para BAAAAA, obteniendo

$$\begin{array}{c}
 \text{AAAAAA} \\
 \text{CA} \begin{bmatrix} 0.140 \\ 0.419 \end{bmatrix} \\
 \text{OT}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \text{BAAAAA} \\
 \text{CA} \begin{bmatrix} 0.035 \\ 0.185 \\ 0.098 \end{bmatrix} \\
 \text{EL} \\
 \text{OT}
 \end{array}$$

Como se describe en el paso 6, para el vector BAAAAA se debe seleccionar los elementos EL y OT, que suman más del 80%; para el vector AAAAAA sólo se selecciona OT que es el 75%. En el paso 7 se forma el vector con los elementos EL y OT y se normaliza el vector (paso 8).

$$\begin{array}{c}
 \text{EL} \begin{bmatrix} 0.185 \\ 0.419 \end{bmatrix} \\
 \text{OT}
 \end{array}
 \Rightarrow
 \begin{array}{c}
 \text{EL} \begin{bmatrix} 0.306 \\ 0.694 \end{bmatrix} \\
 \text{OT}
 \end{array}$$

El paso 9 indica que se inicie nuevamente el paso 4 (sólo una vez) comparando los empleados (nivel 4) con base en los elementos del paso anterior (EL y OT), es de notar que ya no se incluye al empleado EL2 el cual ya tiene determinada la actividad a realizar.

⁴⁸ Aunque ya se asignó una solicitud de la adscripción AAAAAA, ésta todavía tiene 2 solicitudes pendientes (de carpintería y otros), por esta razón permanece en el nivel 2.

<i>EL</i>	<i>CA1</i>	<i>CA2</i>	<i>EL1</i>	<i>PL3</i>		<i>EL</i>
<i>CA1</i>	1	1	1/8	1/2		<i>CA1</i> [0.076]
<i>CA2</i>	1	1	1/9	1		<i>CA2</i> [0.088]
<i>EL1</i>	8	9	1	7		<i>EL1</i> [0.724]
<i>PL3</i>	2	1	1/7	1		<i>PL3</i> [0.112]
<i>OT</i>	<i>CA1</i>	<i>CA2</i>	<i>EL1</i>	<i>PL3</i>		<i>OT</i>
<i>CA1</i>	1	2	2	1		<i>CA1</i> [0.343]
<i>CA2</i>	1/2	1	1	1/2		<i>CA2</i> [0.171]
<i>EL1</i>	1/2	1	1	2		<i>EL1</i> [0.243]
<i>PL3</i>	1	2	1/2	1		<i>PL3</i> [0.243]

De acuerdo al paso 5, se multiplica 0.306 por el vector normalizado para el elemento *EL* seleccionado y 0.694 para el elemento *OT*.

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c}
 \textit{EL} \\
 \textit{CA1} \begin{bmatrix} 0.076 \\ 0.088 \\ 0.724 \\ 0.112 \end{bmatrix} \\
 \textit{CA2} \\
 \textit{EL1} \\
 \textit{PL3}
 \end{array}
 \end{array}
 \times 0.306 =
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{c}
 \textit{EL} \\
 \textit{CA1} \begin{bmatrix} 0.023 \\ 0.027 \\ 0.222 \\ 0.034 \end{bmatrix} \\
 \textit{CA2} \\
 \textit{EL1} \\
 \textit{PL3}
 \end{array}
 \end{array}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c}
 \textit{OT} \\
 \textit{CA1} \begin{bmatrix} 0.343 \\ 0.171 \\ 0.243 \\ 0.243 \end{bmatrix} \\
 \textit{CA2} \\
 \textit{EL1} \\
 \textit{PL3}
 \end{array}
 \end{array}
 \times 0.694 =
 \begin{array}{c}
 \begin{array}{c}
 \textit{OT} \\
 \textit{CA1} \begin{bmatrix} 0.238 \\ 0.119 \\ 0.169 \\ 0.169 \end{bmatrix} \\
 \textit{CA2} \\
 \textit{EL1} \\
 \textit{PL3}
 \end{array}
 \end{array}$$

Se selecciona del vector *EL*, el elemento *EL1* ya que abarca el 72.4%; y del vector *OT* se eligen *CA1*, *EL1*, y *PL3*, los cuales tienen el 82.9% (paso 6). Se forma el vector como se describe en el paso 7, cuyos elementos serán *CA1*, *EL1* y *PL3*. A continuación se muestra el vector y del lado derecho su vector normalizado (paso 8).

$$\begin{array}{c}
 \textit{CA1} \begin{bmatrix} 0.238 \\ 0.222 \\ 0.169 \end{bmatrix} \\
 \textit{EL1} \\
 \textit{PL3}
 \end{array}
 \Rightarrow
 \begin{array}{c}
 \textit{CA1} \begin{bmatrix} 0.378 \\ 0.353 \\ 0.269 \end{bmatrix} \\
 \textit{EL1} \\
 \textit{PL3}
 \end{array}$$

La decisión se forma con los elementos de mayor prioridad para cada uno de los siguientes vectores (paso 10) :

Nivel 2

Nivel 3

Nivel 4

	<i>Asignar</i>		
AAAAAA	$\begin{bmatrix} 0.559 \end{bmatrix}$	EL	$\begin{bmatrix} 0.306 \end{bmatrix}$
BAAAAA	$\begin{bmatrix} 0.318 \end{bmatrix}$	OT	$\begin{bmatrix} 0.694 \end{bmatrix}$
ECCAAA	$\begin{bmatrix} 0.123 \end{bmatrix}$	CA1	$\begin{bmatrix} 0.378 \end{bmatrix}$
		EL1	$\begin{bmatrix} 0.353 \end{bmatrix}$
		PL3	$\begin{bmatrix} 0.269 \end{bmatrix}$

La política de asignación es

Se selecciona del nivel 2 el elemento AAAAAA (Dirección), del nivel 3 se toma OT (Otros Servicios) y del nivel 4 el empleado CA1 (Carpintero 1) En otras palabras, el Carpintero 1 realizará una tarea (que no pertenece precisamente al taller de Carpintería) clasificada como Otros Servicios para la adscripción Dirección.

El paso 11 indica que se eliminan de la estructura jerárquica los elementos que se incluyen en la política de asignación anterior. Es importante recalcar, que estos elementos serán eliminados siempre y cuando no haya más solicitudes de servicio para un elemento en particular perteneciente a algún nivel, por ejemplo que la adscripción (nivel 2) o el servicio (nivel 3) no tengan más solicitudes pendientes.

Para la siguiente iteración, no se incluye el empleado CA1 (que ya se ha asignado), sin embargo, la adscripción AAAAAA seguirá apareciendo en el nivel 2 ya que tiene una solicitud de carpintería pendiente. Los 3 servicios (CA, EL y OT) continuarán en la jerarquía por las solicitudes que tienen sin asignar.

Iteración 3

Los tres vectores prioritarios resultantes para cada nivel son los siguientes :

	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
	<i>Asignar</i>		
AAAAAA	$\begin{bmatrix} 0.559 \end{bmatrix}$	CA	$\begin{bmatrix} 0.664 \end{bmatrix}$
BAAAAA	$\begin{bmatrix} 0.318 \end{bmatrix}$	EL	$\begin{bmatrix} 0.220 \end{bmatrix}$
ECCAAA	$\begin{bmatrix} 0.123 \end{bmatrix}$	OT	$\begin{bmatrix} 0.116 \end{bmatrix}$
		CA2	$\begin{bmatrix} 0.702 \end{bmatrix}$
		EL1	$\begin{bmatrix} 0.245 \end{bmatrix}$
		PL3	$\begin{bmatrix} 0.053 \end{bmatrix}$

La política de asignación es :

Seleccionar del nivel 2 el elemento AAAAAA (Dirección), del nivel 3 se toma CA (Carpintería) y del nivel 4 el empleado CA2 (Carpintero 2). En otras palabras, el Carpintero 2 realizará una tarea de Carpintería para la adscripción Dirección.

Para la iteración 4 no se incluirá en la jerarquía al empleado CA2, que ha sido asignado, ni a la adscripción AAAAAA, ya que no tiene solicitudes de trabajo pendientes. Los servicios CA, EL y OT seguirán formando parte de la jerarquía ya que tienen solicitudes por realizar para los órganos BAAAAA y ECCAAA.

Iteración 4

Los tres vectores prioritarios resultantes para cada nivel son los siguientes :

Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
<i>Asignar</i>	<i>CA</i>	<i>EL1</i>
<i>BAAAAA</i> [0.750]	<i>EL</i> [0.581]	<i>PL3</i> [0.167]
<i>ECCAAA</i> [0.250]	<i>OT</i> [0.308]	

La política de asignación es :

Seleccionar del nivel 2 el elemento BAAAAA (Unidad de Planeación), del nivel 3 se toma EL (Electricidad) y del nivel 4 el empleado EL1 (Electricista 1). En otras palabras, el Electricista 1 realizará una tarea de Electricidad para la adscripción Unidad de Planeación.

La iteración 5 será la última que se realice, debido a que sólo queda un empleado, PL3, por asignarle una tarea. Los servicios CA, EL y OT seguirán formando parte de la jerarquía ya que tienen solicitudes por realizar para el órgano BAAAAA (CA y OT) y para ECCAAA

Iteración 5

Iteración 5

Los tres vectores prioritarios resultantes para cada nivel son los siguientes :

	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
	<i>Asignar</i>		
	<i>BAAAAA</i>	<i>CA</i>	
	<i>ECCAAA</i>	<i>OT</i>	<i>PL3</i>
	$\begin{bmatrix} 0.750 \\ 0.250 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.250 \\ 0.750 \end{bmatrix}$	$[1.000]$

La política de asignación es :

Seleccionar del nivel 2 el elemento BAAAAA (Unidad de Planeación), del nivel 3 se toma OT (Otros) y del nivel 4 el empleado PL3 (Plomero 3). En otras palabras, el Plomero 3 realizará una tarea de Otros o diversos servicios para la adscripción Unidad de Planeación.

En resumen, se origina una política de asignación para cada una de las 5 iteraciones :

1a Iteración El Electricista 2 realizará una tarea de Electricidad para la Dirección.

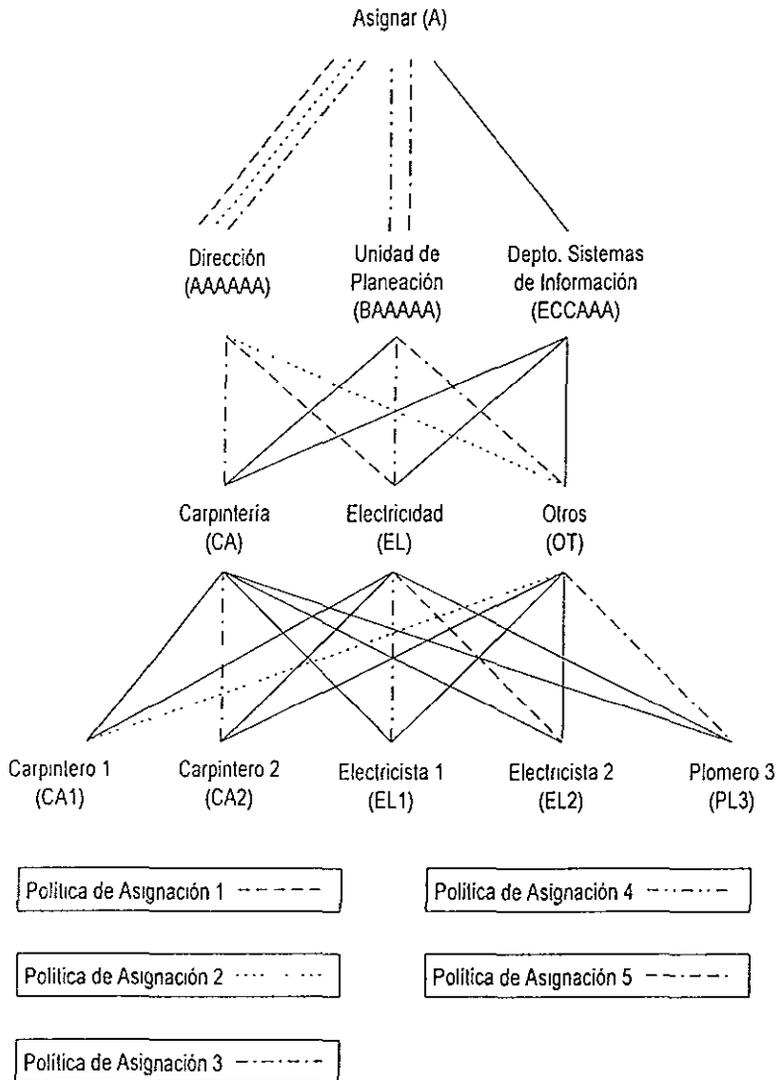
2a Iteración El Carpintero 1 realizará una tarea (que no pertenece precisamente al taller de Carpintería) clasificada como Otros Servicios para la adscripción Dirección.

3a Iteración El Carpintero 2 realizará una tarea de Carpintería para la Dirección.

4a Iteración El Electricista 1 realizará una tarea de Electricidad para la adscripción Unidad de Planeación.

5a Iteración El Plomero 3 realizará una tarea de Otros o diversos servicios para la adscripción Unidad de Planeación.

Esquemáticamente, las políticas de asignación se observan en la siguiente jerarquía.



De la estructura anterior y de cómo se obtuvieron las políticas de decisión, se observa que se asignaron primero todas las solicitudes para el órgano AAAAAA y luego para BAAAAA, sin asignar ninguna de la adscripción ECCAAA. Se hace notar que esta distinción se provocó cuando se compararon los elementos del nivel 2 en relación al

elemento (Asignar) del nivel 1. Además, si no se desea ninguna inclinación en este sentido, la matriz a la que se hace referencia (nivel 1-2), estará compuesta de unos; realizando esto, para determinar la adscripción ha seleccionarse se toma la fecha de la solicitud, es decir, se selecciona la que tenga más tiempo sin atender.

Dos consideraciones importantes en las políticas de asignación obtenidas, las cuales serán incluidas al modelo en el siguiente capítulo, cuando se haga el diseño del sistema de cómputo :

- 1) No se han contemplado los horarios de los empleados, es decir, si un empleado ya realizó una actividad implica que tiene tiempo disponible para realizar otra tarea mientras se encuentre dentro de su horario de trabajo,
- 2) Las fechas de las solicitudes tampoco se contemplan, que son muy importantes para asignar una solicitud a determinado servicio.

Antes de finalizar esta sección, es conveniente mencionar el método Delphi, por ser el más cercano a la forma de operar del AHP, que también maneja juicios de personas, este método es un proceso para analizar problemas, estimar valores y pronósticos de dirección. A continuación se describen algunas diferencias entre el método Delphi y el análisis jerárquico del AHP.

- 1 *Anónimos contra discusión grupal de operación.* En Delphi cada uno de los miembros del grupo responde anónimamente a un cuestionario ya preparado con el fin de desproporcionar la influencia de las personalidades. En jerarquías el criterio y los juicios son estabilizados principalmente por un grupo abierto que se encarga de la toma de decisión.
- 2 *Arreglo como un ciclo contra discusión dinámica.* En Delphi se revisan los resultados de los cuestionarios y los arreglos se hacen a través de bases anónimas, y así repetidamente. En las jerarquías se usa la discusión dinámica al momento de construir la jerarquía y proporcionar y revisar los juicios de común acuerdo, aquí las personas pueden presentar sus argumentos abiertamente.

3 *Cuestionario contra estructura jerárquica como base para los juicios.* En Delphi, el diseño de los cuestionarios implica la selección de las variables involucradas por la persona que crea el cuestionario. En jerarquías, el grupo decide sobre las variables que tienen algún efecto sobre los juicios que se hacen. Inicialmente todas las variables sugeridas son aceptadas, al continuar con el proceso se ignoran algunas por tener una prioridad baja según los juicios del grupo de decisión (el caso más claro es el proceso hacia adelante).

4 *Estadística y análisis cuantitativo contra análisis cualitativo* El método Delphi requiere de respuestas numéricas, las cuales son analizadas estadísticamente como base del procedimiento. En el proceso de jerarquías, los juicios involucran números absolutos de 1 a 9, reflejando juicios cualitativos sobre comparaciones en pareja y usados como parte de una derivación rigurosa de un eigenvector estimado. Además, la consistencia es una importante como una condición necesaria para validar la escala de la realidad.

En ambos casos el proceso para analizar el problema mejora la calidad de los juicios, pero en la jerarquía se separan los juicios en sus componentes elementales y, en consecuencia, es más adecuado al estilo de conocimiento humano. Otro punto importante en el uso de las jerarquías, es que el grupo determina el conjunto importante de variables y, por lo tanto, tiene más confianza en lo significativo de sus juicios. Este procedimiento ayuda en gran medida a disminuir los desacuerdos en una dinámica abierta. Como un procedimiento simple y corto con gran eficiencia en los resultados, los que han usado el AHP recomiendan su uso en planeación y pronósticos como una reflexión de las creencias de los participantes.

En términos generales, un buen método para toma de decisión multicriterio (donde se clasifica el AHP), necesita los siguientes elementos :

- Un método bien definido para extraer juicios y sus intensidades cualitativamente, es decir, un vocabulario para interpretar datos.
- Una escala fundamental para asociar los juicios expresados de acuerdo a su vocabulario. Para el AHP la escala son los enteros de 1-9 con una descripción lógica cada uno

- Una forma para derivar una escala para los elementos basados en medidas de la escala fundamental. En el caso particular de la AHP se observa al calcular pesos o prioridades en el método.
- Un método para comparar alternativas, que pueda ser generalizado para comparar criterios con respecto a una meta de la misma forma en que se comparan las alternativas con respecto a los mismos criterios.
- Un método que trate la toma de decisión grupal de igual forma que la toma de decisión individual.

Es de hacer notar que el Proceso Analítico de Jerarquías cumple con los elementos mencionados, por lo que se considera uno de los mejores métodos multicriterio para la toma de decisiones.

2.5.3 Ventajas y hechos del AHP

El AHP es una metodología que presenta grandes ventajas para las personas que intervienen directamente en la toma de decisión, siendo su parte fundamental, la construcción de una jerarquía. Las principales ventajas de utilizar jerarquías al resolver un problema de decisión son:

- ⇒ La representación jerárquica de un sistema puede ser usada para describir como afecta, en términos prioritarios, el nivel superior a los elementos de niveles inferiores.
- ⇒ Las jerarquías pueden dar gran detalle de información sobre la estructura y función de un sistema en los niveles inferiores y proveer una revisión de los actores y sus propósitos en los niveles superiores, según como se construya la estructura.
- ⇒ Los sistemas naturales adaptados jerárquicamente, es decir, a través de la construcción modular y conjunción final de sus módulos, evoluciona más eficientemente que cuando se considera como un todo.

⇒ Las estructuras jerárquicas son estables y flexibles; estable al considerar que pequeños cambios representan pequeños efectos y flexible porque al agregar o disminuir elementos a una jerarquía bien estructurada no se corrompe el rendimiento o funcionamiento de la metodología (*performance*).

Para finalizar este capítulo, es importante mencionar algunos hechos sobresalientes, entiéndase usos, considerados por las personas que recomiendan el AHP⁴⁹.

- *AHP usa comparaciones en pareja.* Las comparaciones pueden ser hechas, verbalmente, numéricamente o incluso gráficamente.
- *AHP puede incluir objetividad.* Las comparaciones en pareja pueden ser basadas en datos físicos o verbales. Si se desea asumir una utilidad lineal y datos de la escala, entonces las comparaciones son consistentes y equivalentes a usar números absolutos.
- *AHP necesita no satisfacer la "independencia de alternativas irrelevantes".* Una alternativa evaluada de forma relativa en el AHP es relevante porque todas las otras alternativas son evaluadas en términos de ésta. Sin embargo, una alternativa dominada no es necesariamente irrelevante para la decisión.
- *La normalización es requerida si la escala es mantenida cuando se combinan valores de diversas dimensiones.* Es claro que no se pueden sumar números de diferentes escalas y obtener buenos resultados; los números bajo distintos criterios se ponen en la misma escala aplicando normalización, así cuando se multiplica y suma por la ponderación correspondiente, el resultado está en la misma escala.
- *AHP permite inconsistencia / intransitividad.* La teoría acerca del AHP no demanda la consistencia perfecta, pero provee una medida de la inconsistencia en cada conjunto de juicios. Esto es natural para las personas que desean ser consistentes, ya que la consistencia es un requisito para el pensamiento lógico. Sin embargo, en ocasiones se aprenden nuevas cosas que permiten la inconsistencia. Las causas principales de

inconsistencias son . error de oficina, al teclear los números en la computadora, de entendimiento, por falta de información, falta de concentración durante el proceso de juicios, algunas ocurrencias del mundo real son inconsistentes (e.g. en deportes), y finalmente, que la estructura del modelo sea inadecuada.

- *Un análisis con baja inconsistencia no implica un buen análisis.* Es importante que la inconsistencia sea baja, pero ésta no es una meta del proceso de toma de decisión. Una consistencia baja es necesaria, pero no suficiente para una buena decisión.
- *Las inconsistencias e intransitividad no son malas.* Ellas existen en cualquier parte y cualquier teoría que intente representar el mundo real, debe aceptarlas; en general, son comúnmente aceptadas
- *El AHP puede tratar incertidumbre.* La AHP puede derivar distribuciones de probabilidad subjetivas de las comparaciones en pareja o de las alternativas.
- *El AHP puede ser usada para producir resultados idénticos a la Teoría del Valor Esperado.* Saaty mostró en 1986 este hecho en una Nota sobre el AHP y la Teoría del Valor Esperado. En esa nota hace la aclaración de que no se trata de duplicar con la AHP la Teoría del Valor Esperado y recomienda que cuando una decisión involucre valores cuantitativos de acuerdo a una escala, deberán ser consideradas otras herramientas antes de considerar el AHP.
- *El criterio de ponderaciones en AHP no puede ser automáticamente calculado o ajustado con base en los valores alternativos.* En la mayoría de los análisis del AHP, las ponderaciones de los criterios serán derivados de los juicios según la importancia relativa del criterio, el cual depende de los valores relativos de las alternativas. Sin embargo, no tiene sentido asumir que la dependencia de la importancia del criterio sobre los valores de la alternativa puedan ser obtenidos a partir de una fórmula. La resolución será consecuencia del juicio humano y no la respuesta de una fórmula

⁴⁴ El estudio fue realizado por Ernest H. Forman, profesor de la Universidad de Washington, en su artículo "Hechos y Ficciones acerca del Proceso de Analítico de Jerarquías"

- *Una gran parte del tiempo de un análisis de AHP típico, puede ser requerido para las comparaciones en pareja. Esto es quizá la mayor debilidad del AHP. Si un problema complejo tiene que ser resuelto en pocos minutos, quizá la AHP no sea la mejor alternativa de tratar el problema.*
- *No se necesita mucho tiempo para realizar las comparaciones en pareja con AHP. El tiempo necesario para analizar una decisión con AHP es usualmente mucho menor que el tiempo para la colección y análisis de datos. En este sentido, dos puntos importantes son: la comunicación entre los miembros del grupo de decisión y la redundancia (o el exceso de un mínimo de juicios requeridos) de las comparaciones para ajustar al juicio verbal. Saaty propone que en problemas complejos, los tomadores de decisiones dividan en varias sesiones para realizar las comparaciones.*

C A P I T U L O I I I

Diseño y desarrollo del sistema “SSerGen”

“El análisis y el diseño de sistemas sirve para analizar, diseñar y fomentar mejoras en la operación de la empresa, lo cual puede realizarse mediante el uso de sistemas de información computarizados”

Kenneth E. Kendall y Julie E. Kendall

CAPITULO III

DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA “SSERGEN”

3.1 Conceptos básicos

Una organización como el Depto de Servicios Generales de Mantenimiento de la ENEP Acatlán, maneja un gran volumen de información, la cuál debe de estar disponible en todo momento, esto conlleva a que la información sea administrada con responsabilidad. La aparición de equipos de cómputo que soporten gran cantidad de información, implica para las organizaciones, incluyendo Instituciones educativas, una gran diversidad de cómo clasificar y almacenar datos, aprovechando al máximo la información generada.

Aunque un sistema de información no involucra necesariamente el uso de computadoras, se ha hecho de uso común relacionarlos para facilitar los informes que se utilizan en la toma de decisiones. Por tal motivo, los sistemas de información computarizada se pueden clasificar en 4 tipos :

- a) *sistemas para el procesamiento de datos*, son aquéllos que procesan grandes volúmenes de información de las funciones administrativas de rutina;
- b) *sistemas de información para la administración*, éstos proporcionan informes periódicos para la planeación, control y toma de decisiones;

- c) *sistemas de apoyo para la toma de decisiones*, ayudan a quien toma las decisiones, cuando le proporcionan la información que solicita; y,
- d) *sistemas expertos*, los que asimilan la experiencia de quienes toman las decisiones en la solución de problemas.

Dado que en *el modelo* desarrollado en el capítulo anterior es de gran importancia el criterio de quien toma decisiones, se considerará que el sistema de cómputo adecuado sea del tipo de apoyo a la toma de decisiones, sin olvidar que la decisión en sí, depende de la persona responsable de la misma. Estos sistemas se diseñan con una orientación hacia la persona o el grupo que los utilizará

El análisis y diseño del sistema, pretende estudiar sistemáticamente la operación de ingreso de los datos, el flujo de los mismos y la salida de información; todo ello en el contexto del D.S.G.M. de la E.N.E.P. También hay que considerar que si un sistema se instala sin una planeación adecuada, es muy probable que no sea satisfactorio y después de un tiempo quede en el olvido.

El enfoque de los sistemas de información está basado en la *Teoría General de Sistemas*, planteada por primera vez por Ludwig Von Bertalanffy en los años 30's. Como biólogo, le interesaba elaborar la teoría de *sistemas abiertos*, es decir, sistemas que intercambiaran materiales con el medio ambiente, como todo sistema vivo.

Los propósitos de esta nueva disciplina, como los planteó Bertalanffy, son :

- Existe una tendencia general hacia la integración entre las diferentes ciencias naturales y sociales
- Tal integración parece centrarse en una *teoría general de sistemas*.
- Esta teoría puede ser un medio importante para llegar a la teoría exacta de los campos no físicos de la ciencia.
- Desarrollando principios unificados que van verticalmente a través de los universos de las ciencias individuales, esta teoría acerca al objetivo de la unidad de la ciencia.
- Los puntos anteriores conducen a la integración necesaria de la educación científica.

La *Ingeniería de Sistemas* es la ciencia que más trata esta teoría, aunque en la actualidad, se consideran estos propósitos como básicos para el rumbo que ha seguido la investigación científica. De hecho, algunos investigadores consideran que la Teoría General de Sistemas revolucionó las ideas filosóficas de científicos del siglo pasado.

En general, un *sistema* es un grupo de elementos interconectados, en donde cada elemento o *subsistema* esta dado por recursos tales como material, equipo, personal, información, etc. Además el sistema está limitado por un ambiente de características físicas, sociales, políticas, económicas y técnicas. Por lo tanto, para resolver problemas reales, se requiere la aplicación de técnicas específicas organizadas tales como matemáticas, administrativas, psicológicas, etc.

El ciclo de desarrollo de los sistemas o *ciclo de vida de los sistemas* (SDLC, Systems Development Life Cycle), trata el enfoque sistemático que el analista aplica en el análisis y el diseño de los sistemas de información. Este ciclo es un enfoque por etapas de análisis y diseño, postulando que el desarrollo de los sistemas mejora cuando existe un ciclo específico de actividades entre el analista de sistemas y los usuarios

El *ciclo de vida del sistema* tiene diferentes connotaciones, cuatro de ellas son las mas usadas

- a) es un modelo para explicar y ayudar a atender el proceso de desarrollo y mantenimiento del sistema,
- b) es una descomposición paso a paso del proceso de desarrollo de sistemas,
- c) es una lista de cosas por hacer, y
- d) es una herramienta administrativa y técnica para organizar, planear, programar y controlar las actividades asociadas al desarrollo y mantenimiento de sistemas.

A pesar de que los analistas no están de acuerdo respecto al número exacto de etapas (varían de 4 a 10) que conforman el *ciclo de desarrollo de los sistemas*, la idea general de aplicar el enfoque sistemático, se reconoce en todas las propuestas. Cabe aclarar, que las etapas no se llevan a cabo como elementos independientes, sino que se realizan al mismo tiempo diversas actividades, y éstas, inclusive, llegan a repetirse.

Las siguientes etapas⁵⁰, forman el *ciclo de vida de los sistemas* :

- 1a. etapa. *Identificación de problemas, oportunidades y objetivos.* Se considera esta fase de gran importancia para el éxito del resto del proyecto. En esta etapa, el analista observa en forma objetiva lo que ocurre en una empresa y luego hace notar el o los problemas. Al identificar los objetivos, el analista descubre lo que la empresa intenta realizar. En esta etapa se definen las oportunidades como aquellas situaciones consideradas para perfeccionar el uso de los sistemas de información computarizados.
- 2a. etapa. *Determinación de los requerimientos de información.* Para identificar los requerimientos, se utilizan diversos instrumentos como muestreo, estudio de los datos y formas usadas por la organización, entrevista, cuestionarios e, inclusive, la observación de la conducta de quien toma las decisiones.
- 3a. etapa *Análisis de las necesidades del sistema.* Para esta etapa también existen herramientas como diagramas de flujo de datos, es ella se analizan las decisiones estructuradas mediante el lenguaje estructurado, tablas de decisiones y árboles de decisión. En este período se hace la propuesta del sistema, que resume lo que se ha investigado y propone recomendaciones propias del analista de sistemas basadas en su formación profesional.
- 4a. etapa. *Diseño del sistema recomendado.* Aquí se elabora el diseño lógico del sistema de información. Se diseñan procedimientos de captura de datos, así como accesos al sistema mediante formas y pantallas. En la parte del diseño lógico del sistemas se encuentra la interfaz con el usuario. En esta etapa, también se diseñan los archivos y/o base de datos que almacenará aquellos datos requeridos por quien toma las decisiones en la organización.
- 5a. etapa. *Desarrollo y documentación del software.* En esta fase se trabaja con los programadores para desarrollar el software original, el analista transmite al programador los requerimientos de programación. También se hace la documentación.

⁵⁰ Este *ciclo de vida de los sistemas* ha sido tomado de Kenneth E. Kendall y Julie E. Kendall, en su libro "Análisis y Diseño de Sistemas", sin olvidar que las etapas pueden variar entre los autores.

indispensable del software, incluyendo manuales de procedimientos; estos documentos ayudan al usuario a operar el software y a saber que hacer en caso de presentarse algún problema.

6a. etapa. Pruebas y mantenimiento del sistema. El sistema de información debe probarse antes de utilizarlo, estas pruebas son llevadas a cabo por el programador y el analista de sistemas. Los ensayos pueden incluir datos del sistema real y de ser posible captura por parte del usuario final. El mantenimiento y documentación empiezan en esta etapa y después se realizará de forma rutinaria a lo largo de toda la vida del sistema.

7a. etapa. Implementación y evaluación del sistema. En esta última etapa, se incluye el adiestramiento para el usuario; en el caso de que haya un cambio de sistemas, el analista necesita planear adecuadamente esta transición. La evaluación se presenta en esta etapa como parte integral de todo el sistema, sin olvidar que la evaluación toma parte en cada una de las etapas. Uno de los criterios fundamentales que debe satisfacerse, es que el futuro usuario utilice el sistema desarrollado.

En el presente capítulo, se explica el diseño que habrá de seguir el sistema denominado SSerGen (Sistema de SERvicios GENerales) aplicado a las necesidades propias del D.S.G.M. En términos generales, para desarrollar el sistema planteado, se hace referencia a las 6 primeras etapas del ciclo de desarrollo de los sistemas descrito anteriormente. Este sistema busca conjuntar los procesos administrativos con el modelo planteado en la investigación.

3.2 Análisis del modelo aplicado al sistema

Antes de proceder directamente al planteamiento para el D.S.G.M., caso de esta investigación, como en el capítulo anterior, se agregan algunas definiciones de un *sistema*, estas definiciones son las más usuales para las personas que trabajan en el área del desarrollo de sistemas de información.

- Un conjunto de componentes que están interrelacionados y que llevan a una meta
- Un conjunto de elementos y procedimientos relacionados, que tienen como propósito el logro de determinados objetivos.
- Una red de procedimientos interrelacionados que son unidos para realizar una actividad o para completar un objetivo específico.
- Una colección de componentes que interactúan entre sí como una unidad, para la consecución de un propósito explícito, o implícitamente definido.

Si se considera que *analizar* es el estudio preparatorio para llevar a cabo una acción, y las definiciones para un sistema y un modelo, considerado como una representación de la realidad, entonces se pretende adaptar el modelo descrito en el capítulo anterior (la metodología AHP) a un sistema de cómputo, llamado SSerGen. Además, este sistema deberá incluir las necesidades particulares del D.S.G.M. de la E.N.E.P. Acatlán.

El proceso analítico de jerarquías es un proceso complejo que antes de ser aplicado y obtenida una solución a nivel informático, debe prepararse la información necesaria para aplicar la metodología. En ocasiones no se cuenta con datos o se tienen que estimar, para ello, el sistema propone alternativas que manejen estas eventualidades en la decisión.

3.2.1 Información disponible

El propósito de esta sección, es especificar la información que se ha obtenido a través de investigación de campo con el D.S.G.M para el desarrollo del sistema y de la manera como se ha hecho la recopilación de estos datos. Los datos que se investigan van desde documentos y entrevistas con el Jefe del Departamento para identificar las políticas y estrategias que comúnmente sigue.

Como se vio en el primer capítulo de esta investigación, el D.S.G.M. es un órgano indispensable para que la E.N.E.P. Acatlán cumpla con las funciones que se le han encomendado como parte de la U.N.A.M. Por tal motivo, es de gran importancia el planteamiento de un sistema de cómputo; este sistema, en primera instancia es propuesto por el Jefe del D.S.G.M., debido a la carga de trabajo que se tiene.

La aplicación de un modelo matemático, como el descrito en el capítulo anterior, es propuesto por parte del autor de esta investigación, la cuál radica como parte de su formación profesional. En ese sentido, una parte fundamental para que esta investigación tenga sentido, fueron las entrevistas de estas dos personas.

La primera información obtenida de esta serie de entrevistas, es la manera en que se organiza y opera el D.S.G M. En la sección 1.2.3 página 11, se describió el personal que labora en el Departamento y cómo se ha manejado en el modelo analítico propuesto (capítulo II), en donde los empleados forman el último nivel de la estructura jerárquica planteada, en consecuencia, la información concerniente al personal es parte fundamental para el sistema de cómputo SSerGen

Las entrevistas realizadas permitieron que el autor de este estudio, se enterara de las metas, sentimientos, opiniones y procedimientos de quien toma las decisiones en el D S G M Estos diálogos de preguntas y respuestas de exploración surgen con la finalidad de que el entrevistado proporcione información detallada necesaria para el desarrollo del sistema. De las entrevistas, se realizaron observaciones que permitieron enterarse de manera directa al autor de lo la operación laboral en el Depto y tomar las bases para la adecuación a la metodología AHP y al sistema computarizado.

Finalmente, se realizó la propuesta del sistema al Jefe del Departamento que reflejó la recopilación de información y la satisfacción de las necesidades para D.S.G M La propuesta del sistema, comúnmente llamada *prototipo*, originó sugerencias, innovaciones y revisiones con el fin de realizar mejoras al prototipo.

En términos generales, el prototipo indica el manejo de información concerniente a los empleados, las solicitudes de servicio, material y herramienta, la asignación del personal mediante un modelo matemático, el uso de catálogos y el diseño de reportes para la operación propia del sistema⁵¹.

⁵¹ En lo que resta del capítulo, se verá con más detalle el manejo de la información dentro del sistema de cómputo SSerGen

3.2.2 Requerimientos para el sistema

En esta sección se trata el equivalente a las etapas 2 y 3 del *ciclo de vida para el desarrollo de los sistemas*. Un sistema de apoyo para la toma de decisiones, como el propuesto, sirve para organizar la información que se usa en la toma de decisiones. La información se almacena en una base de datos para el propósito específico de toma de decisiones y emisión de reportes.

Un sistema de apoyo para la toma de decisiones no sólo automatiza las transformaciones de los datos, ni simplemente proporciona una salida en forma de reporte; más bien, apoya el proceso de toma de decisiones mediante la presentación de la información deseada. Para el caso de estudio, la toma de decisiones propuesta en el sistema de cómputo, será la asignación de las actividades al personal del D.S.G M.; ésta es adaptada a partir de un modelo matemático

Con este tipo de sistemas, no se pretende reemplazar el juicio del usuario, ni llegar a decidir por él; en contraste, permite que el tomador de decisiones se relacione de manera natural, por medio de un diseño cuidadoso de la interfaz con el usuario. Un sistema de apoyo relevante, reta al tomador de decisiones y, eventualmente, motiva a un cambio en esta persona ya que le proporciona nuevas formas para razonar los problemas y las alternativas de decisión.

En la investigación, el sistema de apoyo para la toma de decisiones se construye para decisiones tomadas de manera rutinaria, asignar actividades al personal, y enfrenta el problema que requiere el juicio humano, es decir, el problema que no pueda automatizarse por completo. Este sistema habrá de cambiar de acuerdo a las necesidades del usuario.

Para el uso del sistema, se requiere de una computadora personal 486 o superior asignada al D.S.G.M. (hardware), ésta deberá estar conectada a la red instalada en la E N E P Acatlán y se recomienda con 8 o 16 MB en RAM, ya que atenderá las solicitudes o peticiones de servicios desde las distintas instalaciones de la Escuela. En cuanto al software, a pesar de que existen paquetes de aplicación que evitan ocasionalmente la programación, no se adaptan a las necesidades particulares del Depto.; esta es una

razón más por la que se propone un nuevo sistema que contemple únicamente la información concerniente al Departamento. En este sentido, el software preinstalado en la computadora, es el sistema operativo Windows 3.x o 95. El sistema SSerGen, será el software académico que se anexe.

Además, el sistema deberá atender las tareas requeridas y, por otro lado, deberá tener un buen diseño en pantalla y gran capacidad para almacenar la información que se maneje. En cuanto a la eficiencia operativa, se pone un énfasis especial en los tiempos de respuesta, capturas y salidas eficientes, así como los respaldos de la información almacenada.

Los requerimientos mínimos de información necesarios para el buen funcionamiento del sistema, se enuncian a continuación .

Información de los empleados del D.S.G.M. Se requiere saber el nombre del empleado, su número de tarjeta, el turno en el que trabajará y la categoría o el tipo de servicio que realiza el trabajador en la mayor parte del horario de trabajo. El número de tarjeta será la clave con la que se identifique el empleado y no podrá repetirse en ningún caso, esta clave puede ser tomada del Depto. de Personal. El turno permite que el sistema maneje horarios. es decir, no se podrá asignar una tarea a un empleado si no está dentro de su horario laboral.

Información de las adscripciones de la E.N.E.P. Acatlán. Será necesario conocer de los órganos de la Escuela, la clave única con la que se identificará a ésta. Asimismo, se debe informar sobre el responsable o encargado del órgano y su ubicación física y extensión telefónica

Información sobre los servicios que presta el D.S.G.M. Se deberá asignar una clave a los distintos servicios que presta el D.S.G.M. a los órganos de la Escuela. Además, se debe establecer una clasificación de las solicitudes pendientes para cada servicio. Estas solicitudes deberán tener el órgano que realiza la petición, fecha de petición, folio de la solicitud, una bandera de estado que indique si ya se realizó la petición, etc.

Información del material y herramienta perteneciente al D.S.G.M. El material deberá tener una descripción corta y una completa, además indicar la cantidad de material disponible en el almacén interno del Depto. Una vez que se realiza una solicitud de material para atender una petición en particular, se considera el órgano para el que se solicita, la cantidad solicitada, fecha y solicitud de servicio. Con respecto a la herramienta del almacén, también debe tener una descripción completa y una clave de identificación para cada herramienta, en éstas es muy importante que se considere el número de inventario unico otorgado por la U.N.A.M. Además, se debe informar el vale de solicitud de herramienta correspondiente y el empleado que se hace responsable de dicho equipo durante la elaboración de una tarea determinada.

Información sobre los reportes Las emisión de salidas en papel son una parte fundamental en cualquier sistema de cómputo, esto además de almacenar la información, permite al tomador de decisiones orientarse en el rumbo que deberá seguir. Los reportes más utilizados por el D.S.G.M. son reportes de solicitudes de servicio, reportes de personal, solicitudes atendidas por servicios, servicios atendidos para una adscripción en particular, servicios atendidos en un periodo de tiempo, material/herramienta existente en el almacén interno, material en resguardo, etc.

Información para el modelo de asignación. La metodología AHP ajustada a la investigación sobre el D.S.G.M., requiere de información que sea transparente para el usuario del sistema, ésta debe ser presentada en forma clara y comprensible. En primera instancia, se debe indicar al usuario que tipo de asignación desea realizar, es decir, que criterio utiliza para asignar tareas, ya sea por servicio, órgano, empleado, fecha o general, los cuales fueron descritos en la sección 2.3.2 página 25. Posteriormente, que el sistema aplique la metodología descrita en el capítulo anterior para encontrar una solución que ayude al tomador de decisiones en la asignación de las actividades del personal.

3.3 Diseño del sistema

El diseño de un sistema es quizá la etapa del ciclo de vida del desarrollo del sistema (etapa 4) más importante, debido a que en ella se comprende la conjunción del análisis realizado y de lo que el usuario desea. Un diseño inadecuado, es reflejo de que no se

comprendió correctamente el análisis y aunque las etapas posteriores al diseño, sean llevadas a cabo en forma eficaz, el sistema puede no cumplir con los objetivos planteados por el analista y el usuario.

Las principales características de un diseño son las funciones que realizarán los subsistemas y su *modularización*, así como los programas y definición lógica de los módulos. Hacer *modular* un sistema significa que la información puede ser manejada en varias partes, llamadas módulos, que conjuntas forman el sistema. Cada módulo hace el papel de un subsistema evitando posibles errores globales, ya que un error puede ser tratado en forma independiente en el módulo en que halla ocurrido, a menos de que sea la secuencia lógica o comunicación entre los módulos.

En términos generales, el diseño de sistemas comprende 4 fases :

- a) Diseño inicial y lógico del sistema;
- b) Revisión del diseño;
- c) Diseño de programas, esto incluye diseño de la estructura de programas (menú) y diseño de módulos, y
- d) *Revisión del diseño de programas.*

3.3.1 Diseño general del sistema

Los *menús* son interfaces, quizá en la actualidad son las más usadas; que ayudan a que los usuarios introduzcan información al sistema, esta interfaz persigue la eficacia, al ser congruente con las necesidades del usuario, y eficiente al mejorar la velocidad de captura de datos y reducción de errores. La interfaz cuenta con dos componentes principales : el lenguaje de presentación, que es parte de la relación computadora-hombre y el lenguaje de acción que caracteriza la parte hombre-computadora

La interfaz de menús permite que el usuario elija las posibles opciones de una lista en pantalla. Al responder el usuario al menú, se limita a las opciones que se le presentan. Esto implica que el usuario no necesita conocer el sistema pero si necesita saber qué *tareas* pueden realizarse. Sin embargo, para sacar el máximo provecho del menú, los

usuarios deben estar al tanto de las tareas potenciales del sistema y de lo que realmente son capaces de realizar.

Los menús pueden encontrarse anidados, uno dentro del otro, de tal manera que el usuario los solicite conforme los requiere. El usuario comienza con el menú principal y luego selecciona una opción de un *submenú*. Los menús anidados permiten que la pantalla se mantenga despejada, lo cual es consistente con un buen diseño de pantalla; también evitan que el usuario siga viendo aquellas opciones del menú que ya no son de su interés, reduciendo así, la información irrelevante para el usuario. Además, los menús anidados permiten un movimiento rápido del usuario a lo largo del programa ya que algunas opciones pueden invocarse mediante un *acceso corto*, shortcut, o combinaciones de teclas, haciendo que el sistema sea más atractivo y rápido.

Con base en requerimientos y la información disponible descritos en secciones anteriores, se presenta el menú principal y las opciones para el sistema SSerGen como diseño global del sistema :

• **SSerGen** : Sistema para el Departamento de Servicios Generales de Mantenimiento de la E.N.E.P *campus* Acatlán. Este sistema está dividido en los módulos :

• **Empleados** : Este módulo realiza la actualización a los datos personales de los empleados del D.S.G.M. por medio de las opciones Altas, Cambios y Bajas. En la opción de Asistencia se registrará al personal que registró su entrada en el día laboral de que se trate, esta opción es indispensable que se actualice diariamente, ya que de aquí se deberán asignar las personas del Depto. que se encuentran en las instalaciones.

• **Solicitudes** : Este módulo permite que se realice una solicitud de servicio de algún órgano administrativo de la Escuela. De igual manera se deberá realizar una solicitud de material y otra de herramienta para llevar a cabo un servicio en particular. Las solicitudes de material y herramienta son requeridas por alguna persona adscrita al D.S.G.M. Por otro lado, se debe

descargar una solicitud de servicio para indicar que se ha realizado una actividad o servicio para alguna adscripción. Otra opción es que se resguarde⁵² herramienta a algún empleado del Depto., el cuál será responsable directo del equipo por algún tiempo.

- **Asignación** : Este módulo es medular para la aplicación de la presente investigación; aquí se debe realizar la asignación del personal con base en la demanda de solicitudes que tenga por realizar el Departamento. Los criterios para realizar la asignación son . por órgano, servicio, fecha, empleado y general. La aprobación es una parte importante en el proceso, ya que el sistema sugiere una política de decisión, pero es el Jefe del Departamento el que otorgue el visto bueno.

- **Reportes** : Este módulo genera los diferentes reportes que sirven para la organización administrativa del D.S.G M. Algunos reportes como solicitudes atendidas por servicio, ayudarán en la toma de decisiones. Los reportes a que se hace referencia son relativos a la información de los recursos, servicios, solicitudes y personal que se maneja en el D.S.G M.

- **Administración** El módulo permite configurar la seguridad o acceso al sistema según los usuarios que lo utilizarán. Parte importante para el informático responsable del sistema, es el mantenimiento de catálogos de información que más se utilizan, como las administraciones, servicios, material, herramienta, etc.

- **Ayuda** : Presenta la ayuda en línea para el correcto uso del sistema, y finalmente, se presenta en *Acerca de . . . los créditos del autor del sistema.*

Gráficamente, el sistema tiene la siguiente pantalla inicial referente al menú principal descrito :

⁵² El significado de resguardar una herramienta fue descrito en el capítulo I en la sección 1.3.5 Clasificación de Herramienta y Material, que en términos generales indica que una herramienta se asigna a un empleado por tiempo indefinido quedando bajo su responsabilidad el buen uso y mantenimiento de la misma.



3.3.2 Diseño de pantallas o formas

Las imágenes en un monitor están dirigidas en forma más específica hacia el usuario, ya que tienen un formato con mayor flexibilidad y, en ocasiones, las salidas por pantalla permiten modificaciones mediante una interacción directa. Además, los usuarios deben saber que teclas presionar si desean consultar pantallas adicionales, cómo concluir la presentación y si es posible, cómo interactuar con lo desplegado en la pantalla. El acceso a las presentaciones en pantalla puede controlarse a través del uso de un código confidencial (*password*)

La calidad de la salida del sistema está determinada por la calidad de su acceso o entrada. Durante el diseño de las formas de entrada y las pantallas, es vital tener en mente esta relación decisiva. Un buen diseño de los formatos y las pantallas de entrada, satisface los objetivos de *eficacia*, *precisión*, *facilidad de uso*, *consistencia*, *sencillez* y *atracción*. Tales objetivos se alcanzan cuando se conoce lo que se requiere como entradas para el sistema y cuando se llega a una comprensión de la manera en que el usuario responderá a los diferentes elementos de las formas y las pantallas.

En términos generales, la *eficacia* significa que las formas y las pantallas de entrada satisfagan propósitos específicos del sistema de información del D.S.G.M., mientras que la *precisión* se refiere a un diseño tal que asegure una realización satisfactoria. La *facilidad de uso* implica que tanto las formas como las pantallas serán explícitas y no requerirán de tiempo adicional para descifrarse. La *consistencia* significa que las formas y las pantallas ordenen los datos de manera similar de una aplicación a otra, mientras que la *sencillez* se refiere a mantener en un mínimo los elementos indispensables que centren la atención del usuario. Finalmente, la *atracción* implica que el usuario disfrutará del uso o tránsito a través de las pantallas.

Las formas son instrumentos importantes para el desempeño adecuado del sistema. Por definición, las *formas* son documentos duplicados o preimpresos que requieren ser llenados por las personas, en respuesta a un procedimiento estándar. Las formas hacen surgir y capturan la información que se requiere; a través de este proceso, las formas sirven comúnmente como documentos fuente para el usuario del sistema. En un sistema de cómputo, las formas hacen el equivalente a las pantallas que se observan en el monitor; aunque las pantallas están basadas en las formas en papel, el analista de sistemas no debe adoptar ciegamente las convenciones de las formas en papel

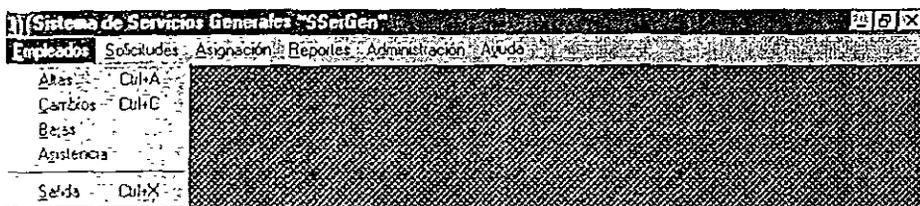
Se observan cuatro lineamientos para el diseño de pantallas, haciendo la aclaración de que éstos son importantes pero no exhaustivos o totales :

- *Pantalla sencilla.* La pantalla del monitor debe mostrar sólo lo que es necesario para la acción particular que se lleva a cabo. Otra forma de mantener la sencillez de la pantalla es emplear múltiples ventanas
- *Presentación consistente* Si el trabajo de los usuarios se basa en formas en papel, las pantallas deben apegarse a ello. También, se presenta la consistencia, si la información se localiza en la misma área cada vez que se accesa una nueva pantalla. De manera similar, la información que tenga alguna relación lógica entre sí, debe agruparse
- *Movimientos del usuario entre pantallas.* Una forma de llevar a cabo este lineamiento, es hacer sentir al usuario que se mueve físicamente hacia una nueva pantalla. Esto puede ser posible por tres mecanismos : a) desplazamiento por medio del teclado o *mouse*, b) solicitud de mayor detalle a otras pantallas o acceso fácil a la información agrupada; y c) diálogo en pantalla o etiquetas que ayuden al usuario a identificar el dato que se desea.
- *Pantallas atractivas.* Si el usuario se siente atraído por la pantalla, es muy probable que sea más productivo, requiera de menos supervisión y cometa menos errores. Una pantalla no se debe ver sobrecargada o saturada, siempre será mejor utilizar pantallas múltiples, que amontonar todo en una sola. Las pantallas que son fáciles de recordar,

atraen tanto a usuarios inexpertos como a los expertos. Además, al plantear las pantallas se debe utilizar un flujo lógico y hacer uso discreto de diferentes tipos de letra y de espesores de línea que dividen en subcategorías de información. Las imágenes (iconos) y el color pueden utilizarse para mejorar la comprensión de las pantallas de entrada

A continuación, se presentan y analizan brevemente las principales pantallas para el sistema SSerGen

Módulo Empleados



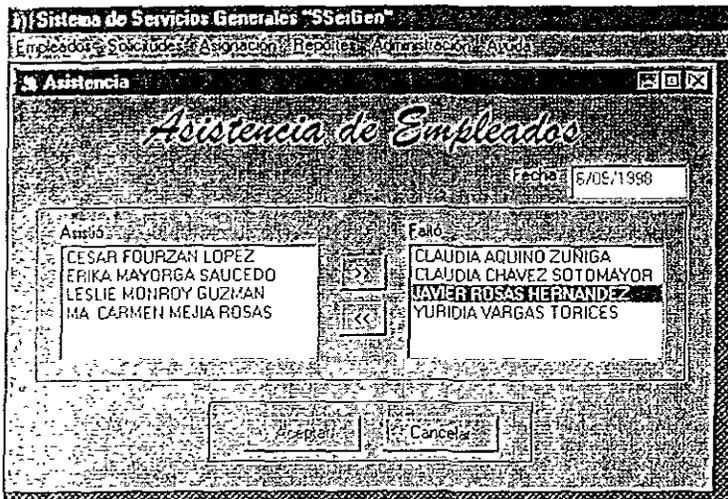
a) *Alta de un Empleado.* Esta pantalla permite que se capturen los datos de un empleado como su nombre, el turno en el que laborará, la categoría y el número de tarjeta que deberá coincidir con la que el empleado tiene en el Departamento de Personal de la Escuela y por medio del cual se registra su asistencia laboral. El número de tarjeta es indispensable que se suministre en primera instancia, de lo contrario no se activan los campos adicionales, así como los botones Aceptar y Servicios.

El botón Cancelar cierra la ventana sin que se guarden las actualizaciones; el botón Aceptar por el contrario, se activará cuando se pueda guardar la información; y el de Servicios permite que se seleccionen los servicios que puede prestar el empleado, el cuadro que aparecerá predeterminado será el relacionado a la categoría que se ha seleccionado, de hecho, el botón Servicios se activará una vez que se seleccione esa categoría. Esto se ha desarrollado, como se ha explicado, porque habrá ocasiones en las que un empleado esté capacitado para ejercer más de un servicio, con esta opción, será posible realizar lo anterior; por ejemplo, si un herrero tiene marcados los servicios carpintería, herrería y plomería, indica que el empleado deberá atender solicitudes relativas a esos tres servicios y no sólo a herrería, como se entendería.

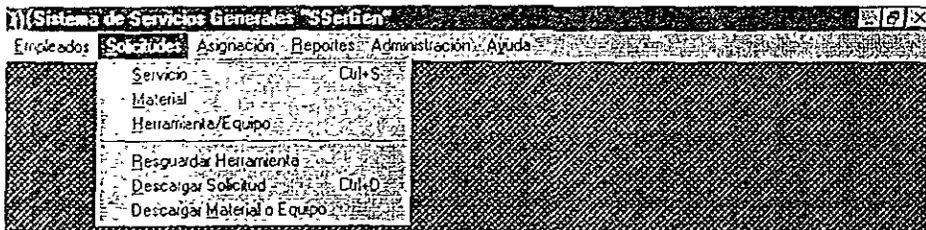


La pantalla de *Cambios de un Empleado*, que también se encuentra en el módulo de Empleados, funciona de manera similar a la anterior descrita, sólo que el empleado al que se deseen realizar los cambios deberá estar dado de alta y para acceder a los campos se deberá ingresar el número de tarjeta. En la pantalla de *Baja de Empleado* primero se teclea el número de tarjeta y si es correcto aparecerán los datos concernientes al empleado (sin que se puedan modificar), al dar Aceptar se dará de baja al empleado en la base de datos

b) *Asistencia* Esta pantalla es de suma importancia ya que permite identificar los empleados que asistieron en el día en que se trate realizar la asignación de una solicitud, es obvio que no se puede asignar una tarea a un empleado que no asistió a laborar, por razones como vacaciones, incapacidad médica, días económicos, etc., por tal motivo se recomienda que esta pantalla sea actualizada con la información diariamente.



Módulo Solicitudes



c) *Solicitud de Servicio*. Esta es quizá la pantalla básica para el sistema, por medio de ella un órgano administrativo de la E.N.E.P. hará la petición de un servicio para el D.S.G.M., es indispensable reconocer que sin una petición de servicio o solicitudes pendientes, no se puede realizar una asignación de actividades al personal aunque éste se encuentre registrado. En la parte superior aparecen los campos folio y fecha, el folio será un número consecutivo que no podrá ser alterado por el usuario y la fecha mostrará la fecha actual y tampoco se modificará.

Posteriormente, se deberá seleccionar el tipo de servicio que se solicita, cabe mencionar que los servicios que aparecen en la lista, son los servicios que presta el D.S.G.M. A continuación, se selecciona el órgano solicitante del servicio, una vez que se

da clic en la adscripción deseada, automáticamente deberá aparecer la persona responsable de ese órgano, su ubicación física y la extensión telefónica en la que se puede localizar, estos tres últimos datos no serán modificados por el usuario, ya que se obtendrá esta información a través de un catálogo que sólo maneje el administrador del sistema. Finalmente, se solicita se haga la descripción del servicio, la cuál deberá ser lo más breve y explícita posible

The image shows a screenshot of a software application window titled "Sistema de Servicios Generales 'SSerGen'". The window contains a form titled "Solicitud de Servicio". The form has the following fields and options:

- Foto:** 18
- Fecha:** 7/02/1998
- Servicio:** A dropdown menu with options: ALBAÑILERIA, CARPINTERIA, CERRAJERIA, and ELECTRICIDAD.
- Órgano Solicitante:** A dropdown menu with options: Centro de Computo, Coordinación de Servicios Académicos, Departamento de Servicios de Computo, and Departamento de Sistemas de Información.
- Nombre del Solicitante:** FIC: Manuel Velazco Rodríguez
- Ubicación:** Nuevo C.C.
- Extensión:** 31757
- Descripción del Servicio:** A large text area for entering the service description.

At the bottom of the form, there are three buttons: "Aceptar", "Cancelar", and "Aplicar".

d) *Solicitud de Material.* Una vez que se tiene una solicitud de servicio, se deberá llenar la *solicitud de material* y la *solicitud de herramientas* necesarias para la atención de la orden de un servicio en particular. La *solicitud de material* consiste en la petición de los materiales necesarios para realizar una tarea específica y obviamente no siempre se otorgará el material que requiera el órgano, ya sea por que no se cuenta con él o porque el órgano ha solicitado material en exceso; para ello se determinará por medio del catálogo de adscripciones un campo que indique el crédito disponible para ese órgano administrativo. Cuando el crédito este agotado indicará que no se puede otorgar más

material para ese órgano en particular, la única persona que puede aumentar el crédito, será el jefe del departamento. También, por el catálogo de materiales, se determinará el valor en crédito de cada material por unidad.

En la parte superior derecha de la pantalla aparece el número de solicitud de material, que será un consecutivo no modificable por el usuario. A continuación se selecciona el órgano solicitante, apareciendo automáticamente el responsable del órgano. Otro campo no modificable será la fecha en que se está realizando la solicitud, necesaria sobre todo cuando se hace la asignación de solicitudes con mucho tiempo de retraso.

Sistema de Servicios Generales "SSerGen"
 Empleados Solicitudes Asignación Reportes Administración Ayuda

Solicitud de Material

Solicitud de Material al Almacén Solicitud No.

Departamento Solicitante:

Nombre: Fecha Salida:

Cantidad Unidad Destino

Descripción del material:

Can.	Unidad	Descripción del material	Destino
1	pieza	Chapa para puerta con llave	Edificio de Gobierno
3	pieza	Lija de agua	Edificio de Gobierno

En el siguiente recuadro, se deberá teclear la cantidad que se solicita, el material y el destino físico donde se llevará el material. Cuando se selecciona el material de la lista desplegable, automáticamente aparecerá en el campo unidad la unidad de medida bajo la cual se trabaja ese material. Cuando se han escrito los campos de los dos recuadros

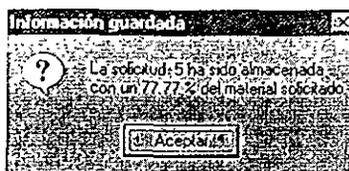
superiores, se deberá oprimir el botón Agregar, que permitirá que se anexe la petición a la cuadrícula inferior.

Una vez anexadas todas las peticiones en la cuadrícula, se podrá seleccionar alguna de ellas considerando cada renglón como una de ellas. Si se selecciona un registro de la cuadrícula, se podrán hacer cambios o borrar el registro o la petición seleccionada en el cuadro con los botones Cambiar y Eliminar, respectivamente

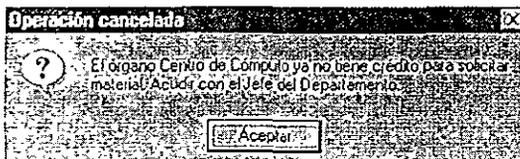
En el caso en que no se encuentre material disponible en la base de datos, aparecerá una ventana de diálogo que indique el material con el que se cuenta como la siguiente



La información será guardada y aparecerá una ventana indicando el número de solicitud que se guarda y un porcentaje que será reflejo del material solicitado, es decir, el 100% indicará que todo lo que se ha solicitado se ha otorgado. Un 77.77%, como en la pantalla siguiente, indica que hubo material que no se pudo obtener del almacén, podría ser por que *no existia todo lo que se solicitaba como se indica en la pantalla anterior.*



Si el órgano al que se hace referencia en la solicitud de material ya no tiene crédito para pedir material, entonces aparecerá una pantalla como la siguiente indicando que acuda con el jefe del departamento que es el único que estará facultado para aumentar el crédito de la adscripción



e) *Vale al Almacén por Herramienta o Equipo*. Esta pantalla registra información que un empleado solicita al almacén interno del D.S.G.M. Una vez que se ha solicitado un servicio por un órgano administrativo, un empleado deberá solicitar herramienta o equipo al almacén generando un número de vale que será un consecutivo que no pueda ser modificado por el usuario

La cuadrícula del centro deberá ser llenada con la cantidad, descripción de la herramienta, nombre del órgano para el que se solicita la herramienta y las observaciones. Estos cuatro campos se capturan de forma similar a como se hace en la pantalla de solicitud de material al almacén con la ayuda de los botones agregar, cambiar y eliminar. Otro campo importante es la fecha de salida del almacén interno.

A diferencia de la solicitud de material, el vale por herramienta deberá tener un responsable encargado del buen uso de lo solicitado, esta será una persona adscrita al D S G M y también será quien rinda informe del equipo en caso de avería, pérdida, etc. La obtención de la adscripción para la que se solicita, en esta pantalla cubre un carácter de manera informativa.

Como en la ventana de solicitud de material, una vez que se oprime el botón de aceptar, aparecerá un mensaje que indique la falta de herramienta solicitada (si es que el almacén no tuviera en existencia lo requerido) o una pantalla informando el porcentaje cumplido con base al equipo solicitado.

Sistema de Servicios Generales "SSerGen"

Procedimientos | Solicitudes | Asignación | Reportes | Administración | Ayuda

Solicitud de Herramienta o Equipo

Vale al Almacén por Herramienta o Equipo Vale No. 4

Cantidad: Descripción: Formón

Solicitante: Centro de Cómputo Observaciones:

Fecha Salida: 7.03/1958

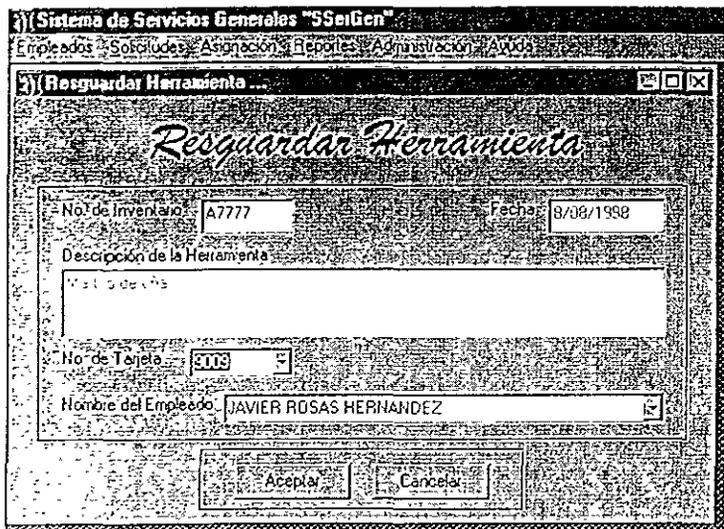
Cant.	Descripción de herramienta y/o equipo	Nombre del Solicitante	Observaciones
2	Escuadra 6"	Centro de Cómputo	
1	Formón	Centro de Cómputo	

Número de Tarjeta: 9009 Nombre del Empleado: ROSAS HERNANDEZ

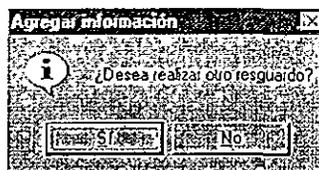
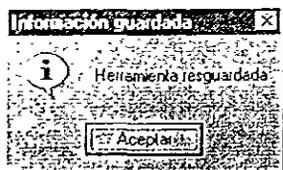
f) *Resguardar Herramienta*. En esta pantalla se registra la herramienta que el personal del D S G M. tiene en *resguardo*⁵³, es decir, herramienta que tiene a su cargo por tiempo indefinido y de la cual es responsable. Esto surge con la finalidad de que un empleado tenga en cualquier momento las herramientas necesarias o básicas para ejercer su actividad

Para realizar el resguardo se deberá proporcionar el número de inventario de la herramienta que se desea asignar y al cambiar de campo automáticamente aparecerá la descripción de esa herramienta. La fecha será la actual registrada en el equipo de cómputo y no podrá ser modificada ya que reflejará la fecha en que se dio de alta el resguardo o se realizaron cambios

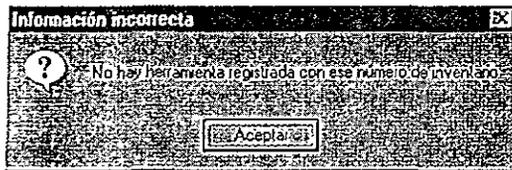
⁵³ Una mejor explicación del concepto de resguardo de una herramienta puede ser consultado en el capítulo I de esta investigación sección 1.3.5



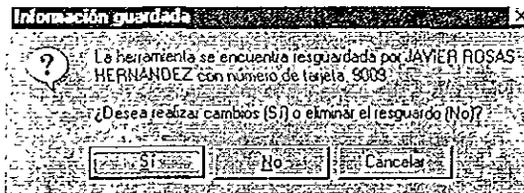
Una vez que se acepta dar de alta el resguardo, aparecerá la pantalla siguiente indicando que la herramienta está resguardada para el empleado actual. A continuación aparecerá otra ventana indicando si se desea realizar otro resguardo, en el caso de que se elija no, se cierra la ventana y en caso de oprimir el botón de sí, mantendrá la pantalla de resguardar herramienta.



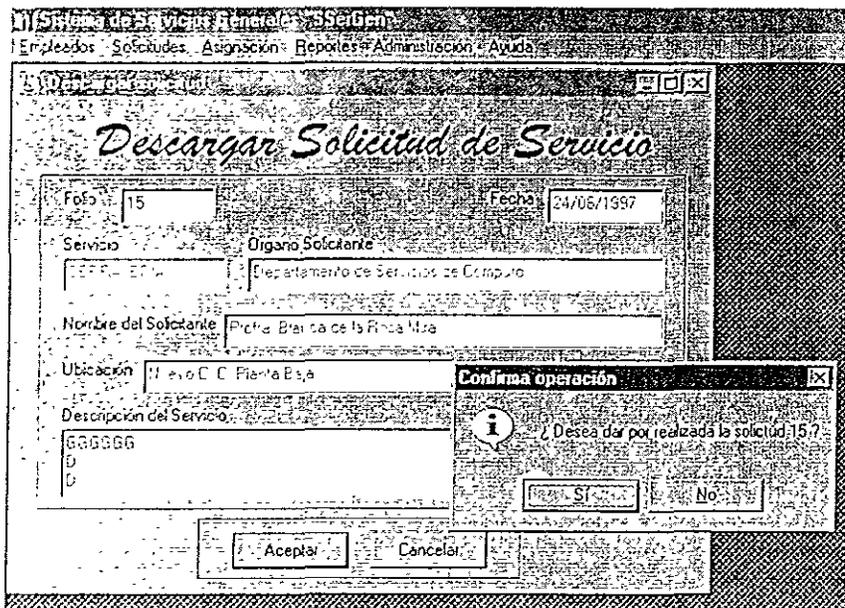
Si al teclear el número de inventario se encuentra que no coincide con ninguno de los inventarios de las herramientas registradas en la base de datos, el sistema indicará el mensaje de error como el siguiente con posibilidad de volver a teclear el número de inventario.



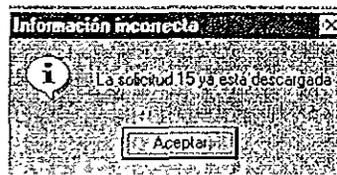
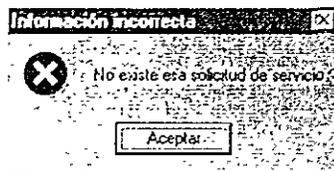
Cuando se teclee un número de inventario de una herramienta que ya ha sido resguardada, el sistema indicará la persona que actualmente tiene el resguardo, así como su número de tarjeta. Además, presentará en esta misma ventana tres botones : el botón Si querrá decir que se desean realizar cambios al resguardo, el botón No eliminará el resguardo implicando con ello que la herramienta será regresada al almacén interno del departamento, y finalmente, con el botón Cancelar se regresa a la pantalla anterior para intentar realizar otro resguardo.



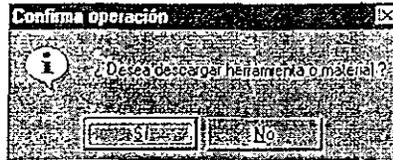
g) *Descargar Solicitud de Servicio* Esta opción es de gran importancia para llevar un control de las solicitudes que han sido atendidas. Primero se deberá introducir el folio de la solicitud de servicio que se desea descargar, a continuación el sistema mostrará la información concerniente a esa solicitud, como el servicio al que se clasificó la solicitud, organo solicitante del servicio, persona responsable del órgano, la ubicación física y la descripción del servicio; todos estos datos serán mostrados en forma de consulta, es decir, que el usuario no puede modificarlos, esto se debe a que sólo se deberá confirmar si se desea descargar la solicitud o no.



En el caso en que se tecleara un folio de solicitud incorrecto, el sistema mostrará un mensaje que indique que no existe esa solicitud de servicio o en el caso de que la solicitud ya se encuentre descargado, el sistema también lo deberá indicar, como se muestra en las siguientes pantallas



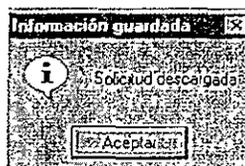
Cuando no haya ocurrido ninguno de los dos errores anteriores y que se confirme descargar la solicitud de servicio según el folio indicado, el sistema mostrará una ventana que indique si se desea descargar material o herramienta con esa solicitud que se está descargando, es decir, si el órgano administrativo va a devolver material al almacén interno del D.S.G.M. o si el empleado que atendió esa solicitud devuelve alguna herramienta o equipo también al almacén



Si se desea descargar herramienta o material, aparecerá otra ventana que indique la herramienta que el empleado que realizó la solicitud tiene asignada y el material que puede devolver el órgano que solicitó el servicio. Una vez que se seleccionan ambas opciones (descargar herramienta o material) o sólo una, se oprimirá el botón correspondiente de Aceptar Devolución para que se ejecuten los cambios



Cuando se hayan hecho las devoluciones pertinentes de material o herramienta, se cerrará la ventana con el botón Cerrar, apareciendo una última ventana que indique que la solicitud se ha descargado



n) *Descargar Material o Equipo*. La pantalla que se muestra a continuación es muy similar a la que aparece cuando se descarga material con la opción de Descargar Solicitud de Servicio (inciso anterior de esta sección). A diferencia de la otra pantalla, en esta opción se introduce en una sola ventana el nombre del empleado o el órgano administrativo de que se trate, junto con los datos específicos del equipo o material a devolver. Esta diferencia de pantallas se realiza debido a que puede haber una devolución de material o equipo que no este relacionado con una solicitud de servicio. El funcionamiento es similar al descrito en pantallas anteriores

Sistema de Servicio Generales - SSGE Ben
Empleados Solicitudes Asignación Reportes Administración Ayuda

Descargar Material o Equipo

Descargar Material o Equipo

Equipo

No de Tarjeta: 9003 Nombre: ROSAS HERNANDEZ
Cantidad: 1 Inventario: [] Aceptar Devolución

Descripción: Escuadra 6"

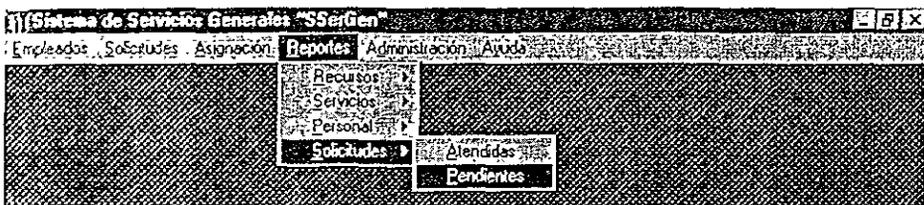
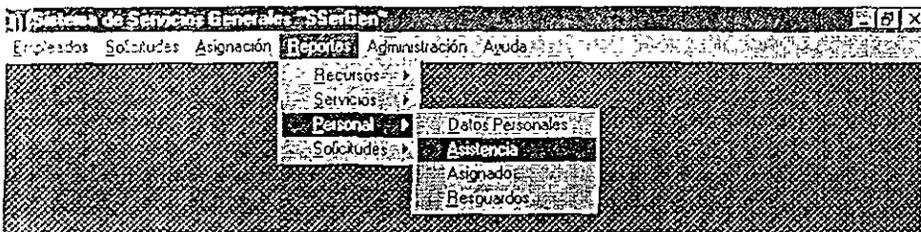
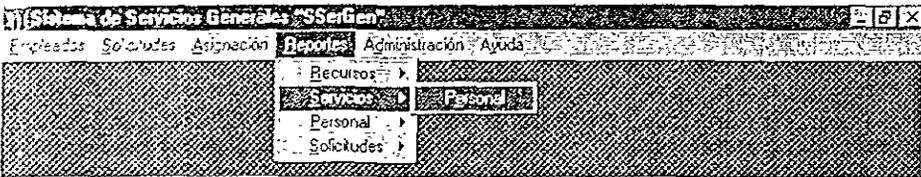
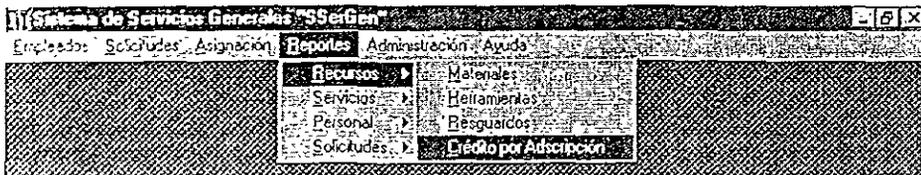
Material

Adscripción: Departamento de Sistemas de Información
Cantidad: 1 Unidad: pieza Aceptar Devolución

Descripción del material: Chapa para puerta con llave

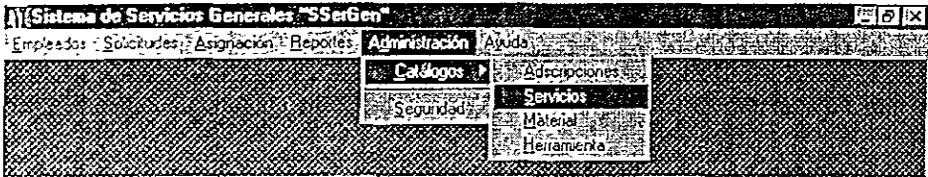
Fecha: 16/03/19 Aceptar

ii) *Reportes* Las pantallas de los reportes son pantallas que no presentan información confusa o de gran trascendencia para la comprensión de la implementación del sistema. En terminos generales serán pantallas que soliciten una fecha o un rango de fechas de las cuales se deberá emitir el reporte elegido del menú Reportes. Los reportes que se emiten se pueden observar del los submenús del módulo de Reportes.



⁵⁴ Las ventanas o pantallas relacionadas a estos módulos no se presentan para ahorrar espacio y debido a que no se consideran con una complejidad superior a las pantallas descritas a lo largo de la sección.

j) *Administración* Las ventanas de Administración, básicamente son catálogos que hacen referencia a información que utiliza el sistema SSeGen basada en una clave, que para efectos de comprensión deben de estar esas claves relacionadas con una descripción o características específicas de que se trate. Los catálogos que se utilizan se muestran en la siguiente pantalla del módulo de Administración.



3.3.3 Base y tablas de datos

Una parte fundamental en los sistemas de información basados en la computadora es el almacenamiento de los datos. En términos generales, la finalidad de almacenar la información se presenta para que los datos estén disponibles para cuando el usuario desee usarlos. deben de ser precisos y consistentes (incluyendo integridad). Además, la acumulación de esta información debe ser eficiente, así como su actualización y recuperación. Por otro lado, la información obtenida de los datos almacenados debe contar con un formato útil que facilite la administración, la planeación, el control o la toma de decisiones.

Una *base de datos* es un almacenamiento de datos formalmente definido, controlado centralmente para intentar servir a múltiples y diferentes aplicaciones. Un usuario puede seleccionar una parte de la base de datos o ciertos registros. Para tener una mejor organización de la información, los administradores de bases de datos actuales, permiten dividir una base en *tablas de datos*, que hacen el papel de bases de datos relacionadas entre sí, evitando así la creación de múltiples archivos físicos. En general, para los sistemas de información actuales, sólo se crea una base de datos que contenga varias tablas clasificadas según los tipos de datos que almacenan.

La esencia de una base de datos es el Sistema Administrador de la Base de Datos (DBMS . Database Management System), el cual permite la creación, modificación y actualización de la base de datos; la recuperación de los datos y la emisión de reportes. Los objetivos de eficacia de la *base de datos* son :

- 1 Asegurar que los datos puedan ser compartidos por los usuarios, por una variedad de aplicaciones.
- 2 Que el mantenimiento de los datos sea preciso y consistente
- 3 Asegurar que todos los datos requeridos para las aplicaciones presentes y futuras se encuentren siempre disponibles
- 4 Permitir que la base de datos evolucione y se adapte a las necesidades crecientes de los usuarios
- 5 Permitir que los usuarios desarrollen su propia visión de los datos sin preocuparse por la manera en que los datos se encuentre almacenados físicamente.

La principal *desventaja* de las *base de datos* es que todos los datos se almacenan en un sólo lugar, y en consecuencia, los datos son más vulnerables a accidentes y requerirán de un respaldo completo. Además, existe el riesgo de que quien administra la base de datos se convierta en el único privilegiado o habilitado para estar cerca de los datos. Con una buena planeación de los tiempos de respaldo de la información y la responsabilidad de la persona que administra la base de datos, estos inconvenientes o desventajas no serán determinantes en el funcionamiento del sistema.

Las tablas pueden utilizarse para almacenar datos por un periodo indefinido de tiempo o bien, como almacenes temporales para un propósito particular. Las tablas se crean a partir de las entidades que son cualquier objeto o evento acerca del cual, se recolectan datos; una entidad también puede ser una persona, un lugar o una unidad de tiempo. Las principales entidades que se utilizan en las tablas del sistema S-SerGen son los empleados, las adscripciones u órganos administrativos de la Escuela, el material y herramienta existente en el almacén interno del D.S.G.M., el procedimiento para realizar una solicitud de servicio, etc.

También se debe considerar al crear una tabla, los atributos de las entidades, es decir, las características de una entidad. Puede haber muchos atributos para cada

entidad (considerados también como datos), los cuales pueden un valor de longitud fija o variable, además pueden ser alfabéticos, numéricos o alfanuméricos. En ocasiones, un dato puede referirse como un campo; sin olvidar que un campo representa algo físico y no lógico. Supóngase que la entidad es el empleado, algunos de sus atributos pueden ser : nombre del empleado, el turno en el que labora, su número de tarjeta, la fecha de ingreso al Depto , la categoría o actividad principal que desempeñará, etc.

Las tablas se conforman más específicamente a través de registros. Un *registro* es una colección de datos elementales para el sistema que tienen algo en común con la entidad descrita. En muchas ocasiones, se debe elegir una llave o dato elemental (o conjunto de datos) de un registro que se utiliza como criterio de identificación para éste. La creación de llaves sirve para crear índices para búsquedas o consultas ordenadas de la información de una manera sistemática

Para poder localizar de una manera rápida los elementos de una lista, se requieren los datos en cierto orden, para ello se recurre a la *indexación* que es la ordenación de manera lógica de los renglones de una relación, con base en un determinado criterio.

Un usuario concibe y describe los datos desde una presentación de usuario; sin embargo, el problema es que usuarios diferentes tienen enfoques diferentes. Estas presentaciones se examinan en el modelo lógico global de la base de datos, que eventualmente deberá desarrollarse. Finalmente, el modelo lógico de la base de datos debe transformarse en el correspondiente diseño físico de la base de datos (esquema interno). El diseño físico considera la forma del almacenamiento de los datos y de sus interrelaciones, así como la mecánica del acceso.

A continuación se describen las tablas de datos principales para el sistema SSerGen, que se incluyen en la base de datos SSerGen.mdb :

ADSCRIP : Contiene la información de las adscripciones u órganos administrativos de la E N E P. Acatlán.

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
ADSCRIP	Texto	6	Clave única para cada órgano administrativo de la escuela. Ej. AAAAAA.
EXTENSION	Texto	6	Extensión telefónica dentro de la Escuela
ORGANO	Texto	40	Nombre del órgano administrativo.
PUNTOS	Entero		Puntos que se han acumulado en la petición del material por parte del órgano.
PUNTOSMAX	Entero		Puntos que se otorgarán al órgano para solicitar material (crédito)
RESPONSABLE	Texto	40	Nombre del responsable de la adscripción.
UBICACIÓN	Texto	25	Ubicación física dentro del campus, donde se encuentra el responsable del área. Ej Edificio A-2, Centro de Cómputo P A.

INDICES

ADSCRIP (campo ASCRIP) y ORGANO (campo ORGANO).

CATEGORIAS A manera de catálogo, contiene las categorías que puede tener un empleado adscrito al D.S.G.M

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
CATEGORIA	Texto	15	Descripción corta de una categoría.
CLAVE_CAT	Texto	2	Clave para identificar una categoría.
DESCRIPCION	Texto	40	Descripción larga de una categoría

INDICES

CATEGORIA (campo CATEGORIA) y CLAVECAT (campo CLAVE_CAT).

DESCMAT : Contiene un catálogo del material y sus características existente en el almacén interno del D.S.G.M.

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
CANTIDAD	Entero		Cantidad en existencia del almacén.
DESCRIPCION	Texto	50	Descripción larga del material.
MATERIAL	Texto	4	Clave o descripción corta asignada al material
PUNTOS	Entero		Valor entero o crédito que se dará al

			material.
UNIDAD	Texto	8	Unidad empleada para describir el material Ej. pieza, docena, par, etc.

INDICES

CLAVE (campo MATERIAL) y MATERIAL (campo DESCRIPCION).

DESCHERR . Contiene un catálogo de la herramienta y/o equipo existente en el almacén interno del D.S.G M.

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
DESCRIPCION	Texto	50	Descripción larga para el equipo.
EQUIPO	Texto	4	Clave que se utiliza para identificar el equipo o herramienta. Ej 908, 1112, 105.

INDICES

EQUIPO (campo EQUIPO) y HERRAMIENTA (campo DESCRIPCION).

HERRAMIENTA Contiene un catálogo de la herramienta y/o equipo existente en el almacén interno del D.S.G.M.

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
ADSCRIP	Texto	6	Clave única para cada órgano administrativo de la escuela Ej. AAAAAA
EQUIPO	Texto	4	Clave que se utiliza para identificar el equipo o herramienta. Ej. 908, 1112, 105.
FECHA	Fecha		Fecha en que se presta la herramienta o en que se resguarda.
INVENTAR	Texto	8	Número de inventario único que asigna la escuela a la herramienta. Ej. A14785.
NUM_TARJETA	Entero	Largo	Número de tarjeta del empleado que se hará responsable de la herramienta solicitada.
OBS	Texto	20	Observaciones relacionadas al vale especificado.
RESGUARDO	Booleano		Indica si la herramienta fue resguardada o prestada por tiempo indefinido a un empleado del D.S.G.M. True = Si, False = No.
VALE	Entero	Corto	Número consecutivo de Vale solicitado.

INDICES

CLAVE (campo EQUIPO), INVENTAR (campo INVENTAR)

TARJETA (campo NUM_TARJETA) y VALE (campo VALE).

MATDEV Contiene la información del material que se devuelve al almacén interno del D.S.G.M. por un órgano administrativo.

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
ADSCRIP	Texto	6	Clave del órgano que hace la devolución del material. Ej. AAAAAA.
CANTIDAD	Entero		Cantidad de material que se devuelve.
FECHA	Fecha		Fecha en que se devuelve el material al almacén.
MATERIAL	Texto	4	Clave o descripción corta asignada al material que se devuelve
PUNTOS	Entero		Puntos acumulados del material devuelto, deberán ser sumados a los PUNTOS de la tabla ADSCRIP para el órgano que devuelve

MATERIAL Contiene la información del material que se ha solicitado al almacén interno del D S G M

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
ADSCRIP	Texto	6	Clave de la adscripción que solicita el material
CANT_SOL	Entero		Cantidad solicitado por la adscripción.
DESTINO	Texto	50	Ubicación física donde se destinará el material solicitado
FECHA	Fecha		Fecha en que se realiza la solicitud.
MATERIAL	Texto	4	Clave del material solicitado.
PUNTOS	Entero		Puntos acumulados del material solicitado, deberán ser restados a los PUNTOS de la tabla ADSCRIP para el órgano que solicita.
SOLICITUD	Entero		Número de solicitud consecutivo.

INDICES

CLAVE (campo MATERIAL) y SOLICITUD (campo SOLICITUD).

PERSONAL . Almacena la información laboral de los empleados adscritos al D.S.G.M.

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
ASISTE	Booleano		Indica si el empleado en cuestión asistió a laboral o no, para un día en particular. True = Si, False = No
CLAVE_CAT	Texto	2	Clave de la categoría o actividad principal que desempeña el empleado
FECHA	Fecha		Fecha en que se da de alta o se modifica el registro.
NOMBRE	Texto	50	Nombre del empleado.
NUM_TARJETA	Entero	Largo	Número de tarjeta (único) que identifica al empleado. Este se recomienda sea el mismo que utiliza el Depto. de Personal.
OCUPADO	Booleano		Indica si el empleado en cuestión tiene asignada o se encuentra realizando alguna actividad. True = Si, False = No
SERVICIOS	Texto	20	Claves de los servicios que puede realizar el empleado. Ej. CAEL indica que el empleado puede realizar trabajos de carpintería (CA) y de electricidad (EL)
TURNO	Booleano		Indica el turno en que labora el empleado. True = Matutino, False = Mixto.

INDICES

CATEGORIASPERSONAL (campo CLAVE_CAT),

NOMBRE (campo NOMBRE) y TARJETA (campo NUM_TARJETA).

SERVICIO : Contiene la información concerniente a las solicitudes de servicios realizadas por las administraciones de la Escuela.

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
ADSCRIP	Texto	6	Clave de la adscripción que solicita el servicio al D S.G.M.
CLAVE_SERV	Texto	2	Clave del servicio solicitado.
DESCR_SERV	Memo		Descripción del servicio o problemática del órgano administrativo.

FECHA_CONFOR	Fecha		Fecha en que se acepta que se inicie la atención de la solicitud.
FECHA_RECIB	Fecha		Fecha en que se indica que se inicie la atención de la solicitud.
FECHA_SOL	Fecha		Fecha en que se solicita el servicio.
FOLIO	Entero	Largo	Folio consecutivo de la solicitud de servicio
NUM_CONFOR	Entero	Largo	Número de tarjeta de la persona que realiza la actividad.
NUM_ORDENA	Entero	Largo	Número de tarjeta de la persona que indica que se realice la actividad.
NUM_RECIBE	Entero	Largo	Número de tarjeta de la persona que recibe la petición de la actividad.
REALIZADO	Booleano		Indica si se ha realizado o no la solicitud con el FOLIO indicado. True = Si, False = No.

INDICES

FOLIO (campo FOLIO).

SERVICIOS : A manera de catálogo, contiene la clasificación de los servicios o talleres que ofrece el D.S.G M a las adscripciones de la E.N.E.P.

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
CLAVE_SERV	Texto	2	Clave mínima para identificar el servicio.
DESCRIPCION	Texto	40	Descripción larga del servicio.
SERVICIO	Texto	15	Descripción corta del servicio

INDICES

CLAVE_SERV (campo CLAVE_SERV) y SERVICIO (campo SERVICIO).

SOLICITUDES : Contiene información de los cálculos de porcentajes de las solicitudes de servicio, material o herramienta realizadas por el D.S.G.M.

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
PORCENHERR	Real	Corto	Porcentaje cumplido con la herramienta solicitada para la solicitud.
PORCENMAT	Real	Corto	Porcentaje cumplido con el material solicitado para la solicitud.

SOLHERR	Entero	Corto	Folio de la solicitud de herramienta.
SOLMAT	Entero	Corto	Folio de la solicitud de material.
SOLSERV	Entero	Corto	Folio de la solicitud de servicio.

3.3.4 Flujos de información

El diseño de un sistema con un flujo adecuado minimiza el tiempo invertido y el esfuerzo realizado por los empleados en entender el funcionamiento del sistema. Así como en las formas se sigue un flujo de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, el sistema en general debe mantener la misma consistencia en la información.

En el sistema SSerGen, se pretende que los módulos estén relacionados de tal forma que cada uno proporcione información relevante, y al considerar todo el sistema, la información ayude en el proceso de la toma de decisiones. En este orden de ideas, recuérdese los módulos descritos en la sección anterior del sistema SSerGen :

- *Empleados* : Maneja la información particular de cada empleado adscrito al D.S.G.M.
- *Solicitudes* Presenta pantallas para llenar las solicitudes (servicio, material, herramienta) que puede realizar un órgano al D.S.G.M. o incluso un empleado del propio departamento También la terminación de una solicitud (cualquiera que sea su estado)
- *Asignación* : Es la parte analítica del sistema y deberá adecuar el proceso analítico de jerarquías al sistema con la información de los otros módulos para llegar a la asignación que satisfaga las necesidades de la persona que toma la decisión.
- *Reportes* : Este módulo presentará las diferentes opciones para mantener la información en papel.
- *Administración* : Contendrá los catálogos que se utilizan en el sistema, así como la seguridad del mismo.
- *Ayuda* . Deberá presentar la ayuda en línea para algún proceso en particular que se maneje dentro del sistema.

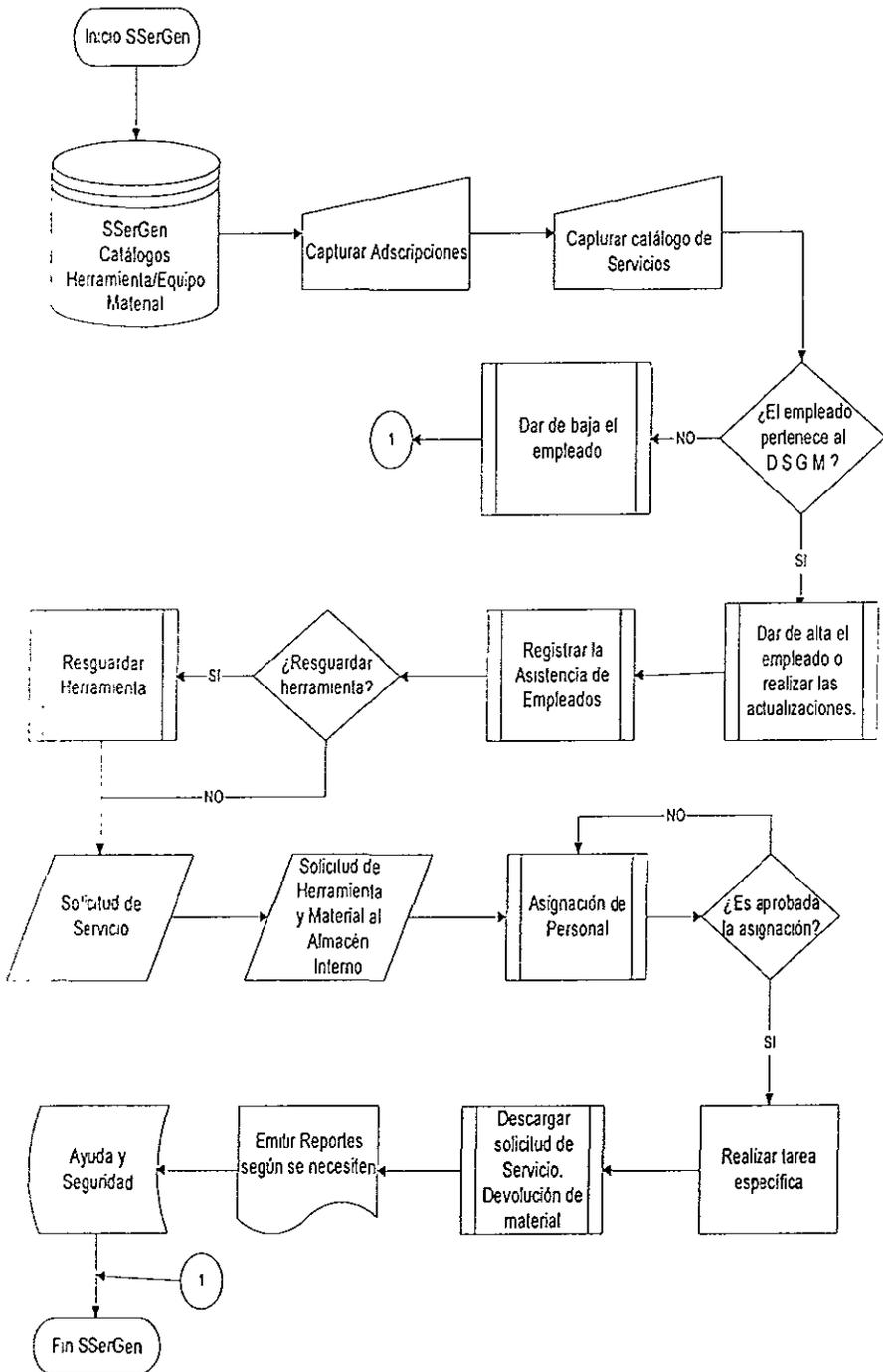
En algunas pantallas o partes del sistema, se requiere información que deberá ser proporcionada antes en otro módulo o incluso históricos que ya contenga la base de

datos. Por tal motivo, para recibir una solicitud de servicio y darle seguimiento adecuado hasta la atención o conclusión de la misma, se recomienda el siguiente flujo de información y consideraciones :

1. Se deberán haber llenado o actualizado los catálogos de herramienta/equipo y material.
- 2 Se deberá capturar el catálogo de todas las adscripciones u órganos administrativos pertenecientes a la E.N.E.P. Acatlán.
3. Dar de alta el catálogo de servicios que presta el D.S.G.M. asignándole a cada servicio una clave única.
4. Se deberán capturar los empleados que participen en las actividades propias del D.S.G.M., esta información deberá mantenerse actualizada, por ejemplo, si un empleado cambia de actividad o servicio que presta, se deberá modificar el dato antes de asignarlo a otra actividad. De igual forma si el empleado ya no pertenece al departamento, se deberá dar de baja.
5. Al inicio de cada día, con la opción de Asistencia del módulo Empleados, se deberán registrar todos los empleados que asistieron a laborar en ese día.
6. Resguardar la herramienta básica que requiera cada uno de los empleados adscritos al D.S.G.M.
7. Registrar la solicitud de servicio en el módulo Solicitudes, según la petición de algún órgano administrativo de la Escuela, poniendo especial cuidado en cada uno de los campos que se piden.
8. Realizar las solicitudes al almacén interno de herramienta y material necesarios para el desarrollo de una tarea en particular (solicitud de servicio).
9. Llevar a cabo la asignación de las solicitudes pendientes de realizar con alguna opción del módulo de Asignación (por servicio, órgano, fecha, empleado o general).
10. Aprobar con la opción Aprobación del módulo de Asignación, la solución que se obtenga del paso anterior, esta se deberá llevar a cabo por la persona que toma la decisión.

11. Una vez que se haya realizado la tarea relacionada con una solicitud de servicio, se deberá descargar la solicitud de servicio y, de requerirse, la devolución de material y/o equipo al almacén interno.
12. Emitir los reportes necesarios para tener la información en papel y ayudar a la toma de decisiones, ya que podrán ser desde reporte de asistencia del personal hasta el número de solicitudes atendidas por empleado, servicio o para algún órgano en particular.
13. La seguridad y ayuda, deberán ser opciones que se actualicen constantemente, a pesar de que no sean requisito indispensable para el correcto funcionamiento del sistema.

Esquemáticamente se representa el flujo de información anterior con el siguiente diagrama de flujo :



3.4 Módulo de Asignación en SSerGen

Decidir que persona realizará una actividad (o varias) al día, es una tarea difícil y de gran responsabilidad para quien sea el encargado de asignar o distribuir las tareas por realizarse en el D.S.G.M. Cuando se ofrecen diferentes servicios o talleres, se cuenta con un gran número de empleados y sus condiciones laborales, se tienen distintos órganos que pueden realizar un sin número de solicitudes a la vez, y además, se tienen limitaciones de herramienta o material por parte del almacén interno; se ve un panorama más complejo de llevar a cabo la asignación de manera neutral.

Los modelos analíticos, como el AHP (proceso analítico de jerarquías), pueden parecer laboriosos ante la comprensión o falta de habilidad para desarrollarlos con fines prácticos. SSerGen, será el sistema de cómputo que implemente el modelo jerárquico a la medida de los requerimientos del D.S.G.M. y deberá ayudar en la asignación de las tareas para los empleados adscritos al departamento.

En esta sección se analiza como se puede implementar el modelo matemático, descrito en el capítulo anterior y acoplarse al sistema de cómputo que facilite la toma de decisiones. A manera de algoritmo matemático, se deberá programar el modelo como parte de SSerGen, interactuando o recibiendo información de los otros módulos del sistema. Se deberá entender también, que este módulo de SSerGen, no es parte básica del sistema, sino la parte más funcional del mismo.

3.4.1 Análisis del módulo

En la sección 2.5.2 del capítulo anterior se planteó un algoritmo general de solución para la asignación del personal adscrito al D.S.G.M. a las actividades diarias o atención de las solicitudes de servicio, usando la metodología AHP (Proceso Analítico de Jerarquías) propuesta por Saaty. A continuación se modificará el algoritmo planteado de tal manera que pueda ser incluido en el sistema SSerGen como un módulo independiente, a saber Módulo de Asignación como ha sido planteado en secciones anteriores de este capítulo.

El algoritmo será planteado de igual forma para el criterio general que abarca cuatro niveles : Asignar (nivel 1), adscripciones (nivel 2), servicios (nivel 3) y empleados (nivel 4)

Es de notar que la información ya se maneja en el sistema (como se ha planteado) para estos niveles, es decir, el nivel 2 de adscripciones se forma con el campo ADSCRIP de la tabla ADSCRIP, el nivel 3 de servicios se forma con el campo CLAVE_SERV de la tabla SERVICIOS y el nivel 4 de empleados se formará con el campo NUM_TARJETA de la tabla PERSONAL. Estos campos se han elegido debido a que son únicos en la tabla en que se incluyen, por lo tanto no se podrán repetir y sólo se determinan filtros o criterios para incluir un elemento de la tabla en el proceso.

Además se deberán crear las tablas ASIGNA y COMPARA con la finalidad de almacenar los cálculos importantes en el proceso de asignación. Esas tablas deberán tener las estructuras siguientes :

ASIGNA : Contiene la información referente a los cálculos sobresalientes y las asignaciones que resulten de utilizar el módulo Asignación del sistema.

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
ELEMPRIO1_2	Texto	50	Contiene los valores (separados por comas) de los elementos del campo VECNORM1_2 cuyas prioridades sean mayor o igual a 80%. Ej. 0,0,3,0,2,0,4
ELEMPRIO2_3	Texto	50	Contiene los valores (separados por comas) de los elementos del campo VECNORM2_3 cuyas prioridades sean mayor o igual a 80%. Ej. 0,0,3,0 2,0,4
ELEMPRIO3_4	Texto	50	Contiene los valores (separados por comas) de los elementos del campo VECNORM3_4 cuyas prioridades sean mayor o igual a 80%. Ej. 0,0,3,0,2,0 4
FECHA	Fecha		Fecha en que se ha realizado el cálculo de la asignación correspondiente en POLITICA.
FOLIO	Entero	Simple	Folio de la solicitud de servicio relacionada

			con la asignación.
POLITICA	Texto	200	Contendrá una cadena de caracteres separados por comas (,) indicando con cada elemento que conformará la asignación buscada en cada iteración. Además el caracter "\ " determinará entre una iteración y otra. Ej. EL2,EL,AAAAAA \ CA1,OT,BAAAAA. El ejemplo indica 2 iteraciones, en la primera se selecciona el Electricista 2 para realizar una tarea de Electricidad para la adscripción AAAAAA (Dirección)
VECNORM1_2	Texto	50	Contiene los valores (separados por comas) del eigenvector principal normalizado para la matriz del nivel 2 con respecto al nivel 1. Ej. 0.1,0.3,0.2,0.4
VECNORM2_3	Texto	500	Contiene los vectores (separados por \) cuyos valores estarán separados por comas. Estos eigenvectores serán los normalizados para las matrices del nivel 4 con respecto al nivel 4. Ej. 0.1,0.3,0.2,0.4 \ 0.0,0.6,0.4,0.0 \ 0.8,0.1,0.0,0.1 El ejemplo indica 3 vectores para 3 matrices
VECNORM3_4	Texto	500	Contiene los vectores (separados por \) cuyos valores estarán separados por comas. Estos eigenvectores serán los normalizados para las matrices del nivel 4 con respecto al nivel 4.

INDICES

FOLIO (campo FOLIO).

COMPARA : Almacena los valores (números entre 0-9) que se obtienen de las comparaciones que se realicen entre los elementos de los niveles adyacentes.

NOMBRE DEL CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
ADSCRIPS	Texto	200	Contendrá una cadena de caracteres (0-9) que indique con cada carácter el resultado

			de una comparación entre la adscripción del campo RELACION y las adscripciones de la E.N.E.P.
EMPLEADOS	Texto	100	Contendrá una cadena de caracteres (0-9) que indique con cada carácter el resultado de una comparación entre el empleado del campo RELACION y los empleados adscritos al D.S.G.M.
NIVEL_ADY	Texto	10	Indica el elemento del nivel adyacente superior al que pertenecerá la matriz que se forme de los campos RELACION y ADSCRIPS, EMPLEADOS o SERVICIOS.
RELACION	Texto	10	Indica el elemento con el que se está realizando la comparación del campo ADSCRIPS, EMPLEADOS o SERVICIOS. Este campo puede tener sólo un valor equivalente al campo ADSCRIP de la tabla ADSCRIP, NUM_TARJETA de la tabla PERSONAL o CLAVE_SERV de la tabla SERVICIOS.
SERVICIOS	Texto	50	Contendrá una cadena de caracteres (0-9) que indique con cada carácter el resultado de una comparación entre el servicio del campo RELACION y los servicios del D.S.G.M

INDICES

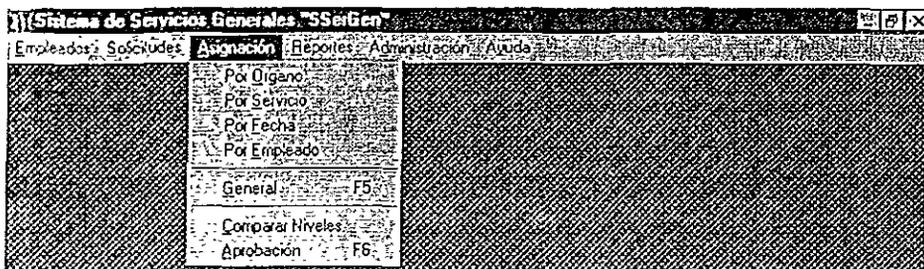
RELACION (campo RELACION).

Se agregará al sistema SSerGen un catálogo que realice las comparaciones entre los elementos de niveles adyacentes, este catálogo deberá ser llenado sólo una vez y modificado según se requiera. En esta opción, se compararán los elementos de los niveles asignándoles un valor de 0-9 como se indicó con la escala descrita en el capítulo

anterior (sección 2.4.2) para el modelo de asignación, la información deberá almacenarse en la tabla COMPARA⁵⁵.

En otras palabras, se deberá llenar n matrices de comparaciones para un nivel determinado, donde n estará determinado por el número de elementos que conforman el nivel adyacente inmediato superior al nivel de los elementos que se comparan.

Así planteado, el módulo de Asignación en SSerGen, tendrá en primera instancia la siguiente apariencia:



El sistema deberá tener planteado el siguiente algoritmo:

- 1 Realice las comparaciones en pareja con la opción Comparar Niveles del módulo de Asignación para los elementos del nivel 2 con respecto al elemento del nivel 1. Si la información ya ha sido capturada en la tabla COMPARA, sólo verifique que sea la correcta o que esté actualizada.
- 2 Obtenga el eigenvector principal normalizado⁵⁶ de la matriz de comparaciones del paso anterior y almacénelo en el campo VECNORM1_2 de la tabla ASIGNA.
- 3 Seleccione los elementos necesarios del eigenvector del campo VECNORM1_2, de tal manera que la suma de sus prioridades sea mayor o igual a 80% y almacénelos en el campo ELEMPRIO1_2 de la tabla ASIGNA
- 4 Para los elementos que componen el campo ELEMPRIO1_2, forme las matrices de comparaciones en parejas (nivel 3) y calcule sus respectivos eigenvectores

⁵⁵ Este proceso de comparación será muy laborioso la primera vez, ya que requiere que se compare elemento por elemento para las adscripciones, empleados y servicios un gran número de veces, pero una vez capturado la actualización al catálogo deberá disminuir el grado de dificultad.

normalizados, estos se almacenarán en el campo VECNORM2_3 separando cada vector con el carácter "\".

- 5 Para cada uno de los elementos del campo ELEMPRIO#_#⁵⁷, multiplique su valor prioritario a cada uno de los elementos del vector relacionado VECNORM2_3 de la tabla ASIGNA. Para esta primera iteración será ELEMPRIO#_# será ELEMPRIO1_2.
- 6 De los vectores del campo VECNORM2_3, seleccione para cada uno de ellos los elementos que abarquen el 80% o más, para ello se toma el respectivo vector normalizado del campo ELEMPRIO1_2, pero no se trabajará con esos resultados, sino con los valores de los vectores del campo VECNORM2_3.
- 7 Forme un sólo vector columna con todos los elementos seleccionados en el paso 6, almacénelos en el campo ELEMPRIO2_3, en el caso de que se repitan, considere el elemento de mayor valor. Los valores que aparecerán en este nuevo vector, serán los obtenidos en el paso 5 (sin normalizar).
- 8 Normalice el vector ELEMPRIO2_3 y seleccione los elementos que sumen el 80% o más de prioridades
- 9 Regrese al paso 4, pero ahora se compararán los elementos del nivel 4 (empleado) para los elementos seleccionados del nivel 3 (ELEMPRIO2_3 del paso 7). Sólo se regresará al paso 4 una vez (suponiendo el *criterio general*)
- 10 Seleccione el elemento con la mayor prioridad para cada uno de los $n-1$ vectores que se obtenga de la jerarquía (ELEMPRIO1_2, ELEMPRIO2_3 y ELEMPRIO3_4), siempre y cuando haya una relación entre niveles adyacentes⁵⁸, almacene los elementos que conformen este vector en el campo POLITICA. Esta será la política de asignación deseada
- 11 Elimine los elementos que pertenezcan a la política de decisión de la estructura jerárquica, formando así, una nueva estructura jerárquica. Elimine de los eigenvectores correspondientes ELEMPRIO#_# y de VECNORM#_# los que se han seleccionado, para ello sólo deje un espacio en blanco.
- 12 Para esta nueva estructura jerárquica, repita todo el procedimiento siempre y cuando haya al menos una solicitud pendiente o un empleado (o más) en horario disponible para realizar una tarea más.

⁵⁷ Explicado ampliamente en el capítulo anterior

⁵⁸ La representación #_# indica un eigenvector para relacionar los niveles 1_2, 2_3 o 3_4, según sea el caso.

⁵⁹ Por ejemplo, si la solución es elegir en el nivel 3 el servicio Electricidad, y en el nivel 2 la prioridad mayor resulta para un órgano que no tiene una solicitud pendiente para ese servicio, entonces se deberá seleccionar el servicio con la segunda prioridad mayor, siempre y cuando cumpla la condición anterior

3.4.2 Métrica de Software y Toma de Decisiones

Mejorar un producto de software en calidad y rendimiento llega a ser una prioridad primaria para una organización que utilice computadoras, que en la actualidad se lleva a cabo hasta en las empresas más pequeñas. A medida que existe un avance tecnológico, se desea cada vez un crecimiento en las computadoras más poderoso, los usuarios demanda más poder y software sofisticado. El proceso para desarrollar nuevo software y mantenimiento de sistemas afecta a las compañías y organizaciones gubernamentales. En este sentido, llevar un proyecto en la E.N.E.P. Acatlán, involucra un análisis de los beneficios que se obtienen con el sistema.

En ocasiones, el problema de software es un problema de dirección más que un problema técnico. En la actualidad, la Ciencia de la Computación o Ingeniería de Software son disciplinas que tratan técnicas de programación, muchas de las prácticas de dirección y calidad que son usadas en disciplinas de producción e ingeniería son también aplicables al desarrollo de software. La aplicación de métodos cuantitativos o *métricas* que se han desarrollado para mejorar la calidad y productividad de software. La base para esta técnica es la observación que no se puede manejar fácilmente como una medida. La aplicación de *métricas de software* es una herramienta para manejar efectivamente el desarrollo del software y mantenimiento de procesos.

En este orden de ideas, el sistema SSerGen, contemplará los procesos cuantitativos planteados en el Proceso Analítico de Jerarquías del capítulo 2, como parte integral en la toma de decisiones y tendrá consistencia con la codificación del sistema, es decir, los cálculos serán tratados no sólo para la dirección o manejo de un proceso (en este caso la asignación de servicios al personal) sino deberán programarse para que el sistema coadyuve a quien toma las decisiones relacionadas con el proceso de estudio.

SSerGen es un sistema que adapta a los estándares del Centro de Cómputo de la E.N.E.P. Acatlán, por ello se plantea que sea desarrollado en el lenguaje de programación Visual Basic 4.0 versión empresarial, que actualmente se encuentra disponible en el Centro de Cómputo. Además, desarrollada a 16 bits buscando con ello la compatibilidad con cualquier equipo de cómputo disponible en la Escuela.

Se selecciona Visual Basis 4.0, por ser un lenguaje de gran versatilidad y la forma en que maneja la información almacenada (inclusive en sistemas compartidos o redes). Por otro lado, los campos clave almacenados en las diferentes tablas de datos de la tabla SSerGen son también coexistentes con los ya definidos en otros sistemas de cómputo ya implementados en el sistema, por ejemplo en SISPA (Sistema para el Personal Académico) se utiliza un campo para identificar alguna adscripción de la Escuela, supóngase AAAAAA referente al órgano administrativo Dirección.

Planteado en estos términos, el sistema será de gran ayuda para quien tiene a bien, asignar las tareas a los empleados adscritos al D.S.G M. La solución propuesta, deberá considerarse sólo como eso, una propuesta o alternativa en el proceso de Toma de Decisiones, sin olvidar que la computadora es una herramienta que jamás podrá reemplazar el pensamiento humano. En este sentido, una respuesta originada por el sistema de cómputo, podrá ser rechazada con los cambios pertinentes en SSerGen (baja de la solicitud, material, personal ocupado, etc.) y utilizar cualquiera que se considere, a buen juicio, factible para que la Escuela se mantenga en condiciones adecuadas para seguir con los objetivos planteados.

C O N C L U S I O N E S

"Experiencia es el nombre que
cada uno da a sus errores"

Oscar Wilde

CONCLUSIONES

El proceso de toma de decisiones es una etapa fundamental en una institución de enseñanza superior, y en general de cualquier escuela pública o privada, la diferencia básica entre éstas radica en las condiciones que originan los procesos de decisión. La ENEP campus Acatlán, Institución pública de Educación Superior, es de gran interés para quien desee estudiar sus procesos de toma de decisión, es por ello que se decidió aplicar los conocimientos universitarios a ésta y estudiar la atención de solicitudes de mantenimiento como tema de investigación profesional.

El Proceso Analítico de Jerarquías, Analytic Hierarchy Process AHP, es una propuesta metodológica adecuada a cualquier persona que participe directamente en el proceso de toma de decisiones. No obstante a sus fundamentos matemáticos tan formales, el usuario de esta metodología no requiere dominarlos al 100%, basta comprender la esencia de sus abstracciones lógicas y conceptuales. Como ejemplo considere la forma en que se estructuró la jerarquía para el Depto. de Servicios Generales de Mantenimiento (D.S.G M.), la obtención del vector principal a través de un número lambda principal (λ) que ayudó en la ponderación de prioridades de las actividades, los valores almacenados en una matriz de comparaciones emitidos a partir del criterio subjetivo del tomador de decisión o, incluso, el proceso iterativo en que se realizó la asignación del personal.

El proceso analítico de jerarquías, originalmente diseñando para tomar la decisión que favorezca a la empresa de un conjunto de alternativas; con un análisis apropiado es extrapolado a diversas áreas de estudio técnico y profesional. En esta tesis se llevó a cabo en la rama de Investigación de Operaciones, particularmente, en los procesos de asignación de recursos, incluyendo los humanos, materiales y lógicos.

El principio del Análisis Jerárquico radica en conjuntar los *criterios subjetivos* del tomador de decisión (o grupo de decisores), criterios que emanan fundamentalmente de su experiencia profesional en el área de trabajo. En la investigación se observó que los valores numéricos que se obtienen en las matrices de comparaciones son proporcionados por el Jefe del D.S G.M. con base en su experiencia, al considerar las habilidades para cada empleado y la forma de atención de las solicitudes de trabajo, según sus preferencias. Esta forma de almacenar objetivamente las opiniones del decisor, conlleva a considerar que el modelo se ajusta más a la realidad porque no está orientado a la cuantificación sino al ordenamiento de las acciones. En otras palabras, el análisis jerárquico no es una cuantificación de variables cualitativas ya que no origina números para obtener medidas como medias, desviaciones, etc., simplemente ordena las prioridades del tomador de la decisión según la experiencia reflejada en sus preferencias o políticas de decisión

El proceso analítico de jerarquías adecua los principios del *álgebra lineal*, a través de la teoría de matrices, originando una investigación aplicada de dicha teoría. Con ello se identifica una motivación para los investigadores científicos que han participado o participan en el desarrollo de las teorías matemáticas como el álgebra lineal. Este punto se hace más evidente cuando se obtuvo el máximo valor característico para determinar la consistencia en cada matriz de la estructura jerárquica, garantizando con los fundamentos matemáticos que es el mayor valor que se puede obtener

La *teoría de sistemas*, puede ser aplicada a cualquier proceso de producción de una organización. La computadora, es un reflejo fiel de la representación de los sistemas de información, motivando un avance tecnológico para las personas que utilicen el sistema de cómputo. En la investigación se presenta el análisis y diseño para desarrollar un sistema que almacene la información originada a partir del proceso de asignación de actividades en el D.S.G.M.

Con el apropiado análisis y diseño del sistema de cómputo, se aplicó un *modelo matemático*, como lo es el proceso analítico de jerarquías a la asignación de recursos, en armonía con los sistemas computarizados. Esto propicia una toma de decisiones razonada objetivamente, aunque sus valores originales sean subjetivos y se representen

a través de la tecnología de la información. Este tipo de proyectos, requieren de una gran concentración por parte del analista, sin embargo, los beneficios para el área de estudio son significativos. En el caso que se analizó, presenta la posibilidad para que el tomador de decisiones encuentre nuevas metas para su desarrollo profesional, dejando de lado la monotonía que se pudiera presentar al asignar actividades.

El proceso analítico de jerarquías, puede ser programado en un lenguaje de computación de alto nivel, como Visual Basic 4.0, de tal manera que se ajuste a las necesidades particulares de la empresa, como el caso del D.S.G.M. Además, la programación contemplará las condiciones de consistencia, prioridad, eigenvector o alteración a la estructura jerárquica, propias de la metodología AHP.

El proceso analítico de jerarquías, es una opción razonable para aplicar los conocimientos básicos matemáticos y de sistemas, adquiridos en el estudio de la Licenciatura en Matemáticas Aplicadas y Computación. A pesar de que no se encuentre incluido en los programas o planes de estudios de la Licenciatura, se manejan los conceptos conocidos por un egresado, tales como: análisis de decisiones, matrices, asignación, probabilidad y sistemas. Esto origina que se comprenda una metodología como la AHP, en primera instancia, de manera implícita, sin la necesidad de haberla estudiado obligatoriamente en la preparación profesional.

A pesar de que algunas veces se hacen modificaciones a la idea original de un trabajo de investigación o se encuentran dificultades en el desarrollo del mismo; es una experiencia de gran importancia, en la vida de un profesionista, la elaboración de una tesis de investigación y cumplir con el objetivo propuesto al inicio de esta práctica profesional. Finalmente, espero que el lector haya encontrado en esta investigación un interés acerca del área profesional en la cual el sustentante pretende obtener el título de Licenciado en Matemáticas Aplicadas y Computación.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Acatlán
MANUAL DE ORGANIZACIÓN
Ediciones E.N.E.P. Acatlán, U.N.A.M., 1995.
- 2) Anton, Howard
INTRODUCCION AL ALGEBRA LINEAL
Edit. Limusa, México, 1982
- 3) Brezinski, Claude
EL OFICIO DEL INVESTIGADOR
Editores Siglo XXI, España, 1993.
- 4) Canavos, George C.
PROBABILIDAD Y ESTADISTICA
Edit. McGraw Hill, México, 1988.
- 5) Cárdenas, Miguel A
LA INGENIERIA DE SISTEMAS
Edit. Limusa, México, 1985
- 6) Díez Medrano, Juan
MÉTODOS DE ANÁLISIS CAUSAL
Edit. Centro de Investigaciones Sociológicas, España, 1992
- 7) Gerez, Víctor y Manuel Grijalva
EL ENFOQUE DE SISTEMAS
Edit. Limusa, México, 1980
- 8) Graham, Alexander
NONNEGATIVE MATRICES AND APPLICABLE TOPICS IN LINEAR ALGEBRA
Edit. Ellis Horwood Limited, Gran Bretaña, 1987.
- 9) Grossman, Stanley I
ALGEBRA LINEAL CON APLICACIONES
Edit. McGraw Hill, México, 1992.

- 10) *Hernández Sampieri, Roberto y otros*
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION
Edit. McGraw Hill, México, 1991.
- 11) *Hiller, Frederick S y Gerald J. Liberman*
INTRODUCCION A LA INVESTIGACION DE OPERACIONES
Edit. McGraw Hill, México, 1982.
- 12) *Keeney, Ralph L y Howard Raiffa*
DECISIONS WITH MULTIPLE OBJETIVES : PREFERENCES AND VALUE TRADE
Edit Wiley, U S A , 1976
- 13) *Kendall, Kenneth E y Julie E Kendall*
ANALISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS
Edit Prentice Hall, México, 1990
- 14) *Moller, K H and D J Paulish*
SOFTWARE METRICS
Edit Chapman & Hall Computing, Gran Bretaña, 1993.
- 15) *Morris, William T.*
CIENCIA DE LA ADMINISTRACION
Argentina, 1974.
- 16) *Pattee, Howard Hunt*
HIERARCHY THEORY : THE CHALLENGE OF COMPLEX SYSTEMS
Edit George Braziller, U.S.A , 1973.
- 17) *Prawda Witenberg, Juan*
MÉTODOS Y MODELOS DE INVESTIGACION DE OPERACIONES
Edit Limusa, México 1989.
- 18) *Russell, Bertrand*
LA PERSPECTIVA CIENTIFICA
Edit, Sarpe, S.A , España, 1983.
- 19) *Saaty, Thomas L.*
THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS
Edit Expert Choice, U.S.A , 1990.

- 20) Saaty, Thomas L.
THINKING WITH MODELS
 Edit. Pergamon Press, Gran Bretaña, 1981.
- 21) Shamblin, James E. y G. T. Stevens, Jr.
INVESTIGACION DE OPERACIONES
 Edit. McGraw Hill, México, 1975.
- 22) Strang, Gilbert
LINEAR ALGEBRA AND ITS APPLICATIONS
 U S A., 1976.
- 23) Taha, Hamdy A
INVESTIGACION DE OPERACIONES
 Edit. Alfaomega, México, 1991.
- 24) Visual Basic 4.0
 Ayuda en línea.
- 25) Walpole, Ronald E y Raymond H Myers
PROBABILIDAD Y ESTADISTICA
 Edit. McGraw Hill, México 1992
- 26) Whyte, Lancelot Law y otros
LAS ESTRUCTURAS JERARQUICAS
 Edit. Alianza Editorial, España, 1973.
- 27) Wilkinson, J. H
THE ALGEBRAIC PROBLEM
 Ed. Clarendon Press, Inglaterra, 1965.
- 28) Web World Wide
Expert Choice Metodologies
<http://www.nauticom.net/www/peace/methodology/method.htm>
 17 Oct 1998
Expert Choice Pro
<http://ionhrtpub.com/orms/orms-8-96/software.html>
 1 Jun 1998