

39  
25'



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

"LA EVALUACION DE LA TECNOLOGIA  
EN LA EMPRESA: ESTUDIO DE CASO".

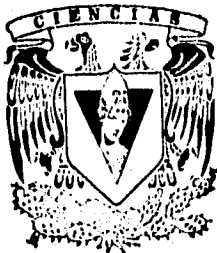
**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**A C T U A R I O**

P R E S E N T A

**GUTIERREZ AGUILAR GERARDO**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

DIVISION DE ESTUDIOS  
BIBLIOTECAS Y SERVICIOS  
INFORMALES

FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION ESCOLAR  
1996



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule  
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Ciencias  
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:  
"La evaluación de la Tecnología en la empresa: estudio de caso".

realizado por Sr. Gerardo Gutiérrez Aguilar  
con número de cuenta 9251949-5 , pasante de la carrera de Actuaría  
Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis  
Propietario  
Propietario  
Propietario  
Suplente  
Suplente

Ing. Victor Morales Lechuga

M en D Ma. Teresa Velázquez Uribe

M en C Armando García Martínez

M en C Virginia Abrín Batule

Act. David López Servín

*[Handwritten signatures and stamps]*

Consejo Departamental de Matemáticas

ESTADÍSTICA Y FINANZAS

M en C Alejandro Bravo Mójica

A mis padres

A mis hermanos

A mis compañeros de carrera

A Tamara, gracias por soportarme

A Laura, gracias por esas tardes de asueto

A Carlo Magno, gracias por esos momentos tan agradables

A Larisa y Ernesto, gracias por su apoyo

A Margarita, por ese breve espacio... que compartimos...

A Hilda Martha, gracias, sin ti no estaría aquí.

## **Agradecimientos**

Ing. Victor M. Morales Lechuga, por su apoyo, orientación y amistad.

Dr. Rodrigo A. Cárdenas, por sus valiosos comentarios.

Dr. Ernesto Trens, por su apoyo y acceso al material que hizo posible el inicio de esta tesis.

Sra. Guadalupe I. Nova, por su confianza y apoyo durante mi estancia en el Centro Para la Innovación Tecnológica.

A los sinodales:

Ing. Victor M. Morales Lechuga

M. en D. Ma. Teresa Velázquez Uribe

M. en C. Armando García Martínez

M. en C. Virginia Abrín Batule

Act. David López Servín

A los miembros del Centro Para la Innovación Tecnológica.

A todas aquellas personas que de alguna u otra forma ayudaron a la realización del presente trabajo.

# Índice General

<b>INTRODUCCION</b>	<b>vii</b>
<b>1 PRELIMINARES</b>	<b>1</b>
1.1 ¿CIENCIA O TECNOLOGIA? . . . . .	1
1.1.1 CIENCIA VS. TECNOLOGIA: CONSIDERACIONES GENERALES . . . . .	2
1.2 COMPONENTES DE LA TECNOLOGÍA . . . . .	3
1.3 PROCESO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA . . . . .	7
1.3.1 NATURALEZA DEL PROCESO DE INNO- VACIÓN TECNOLÓGICA . . . . .	9
<b>2 PROCESO DE JERARQUIZACIÓN ANALÍTICA</b>	<b>15</b>
2.1 INTRODUCCIÓN . . . . .	15
2.1.1 QUÉ ES Y CÓMO USARLO . . . . .	15
2.2 Axiomas del PJA . . . . .	22
2.2.1 ESTRUCTURA DEL PROBLEMA . . . . .	23
2.3 ASPECTOS ESPECÍFICOS DEL MÉTODO . . . . .	29
2.3.1 Algoritmo de Saaty. . . . .	29
2.4 PROCESAMIENTO DE COMPARACIONES EN GRUPO . . . . .	34
2.4.1 CASOS . . . . .	34
2.4.2 REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE EVALUACIONES POR EL MÉTODO DE AGRUPAMIENTO (Saaty) . . . . .	36
2.5 ASPECTOS FORMALES DEL PJA . . . . .	40
2.6 SISTEMAS EN REDES DE TRABAJO . . . . .	49
2.7 SOLUCIÓN DEL EINGENVECTOR, PESOS Y CONSIS- TENCIA . . . . .	51
2.8 ALGORITMOS PARA ENCONTRAR EL VALOR Y VEC- TOR CARACTERÍSTICO MÁXIMO DE UNA MATRIZ . . . . .	54
2.9 MATRICES POSITIVAS . . . . .	57

2.10	TEORÍA DE GRÁFICAS . . . . .	58
2.11	INTERPRETACIÓN DE LAS PRIORIDADES POR TEORÍA DE GRÁFICAS . . . . .	62
<b>3</b>	<b>ESTUDIO DE CASO</b>	<b>65</b>
3.1	ANTECEDENTES Y DATOS GENERALES . . . . .	65
3.2	APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO DE DIAGNÓSTICO . . . . .	66
3.2.1	HIPÓTESIS METODOLÓGICAS . . . . .	68
3.3	ANÁLISIS Y RESULTADOS . . . . .	68
3.4	ESTUDIO DE SENSIBILIDAD . . . . .	81
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>93</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>97</b>
	APÉNDICE A "PROGRAMA COMPUTACIONAL"	99
	APÉNDICE B "CUESTIONARIO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE PAQUETES TECNOLÓGICOS DE PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS"	111

## **Software**

Scientific Workplace V. 2.0 y 1.1  
 Lenguaje "C"  
 Microsoft Office V. 5.0  
 Power Point V. 4.0

# Índice de Figuras

1.1	La telaraña tecnológica. . . . .	4
1.2	Corredor tecnológico. . . . .	9
1.3	El proceso innovador. . . . .	10
1.4	Ciclo de vida de la tecnología. . . . .	11
1.5	Gráfica del Paquete Tecnológico y sus componentes . . . . .	12
2.1	Gráfica jerárquica completa . . . . .	16
2.2	Diagrama de Selección del Paquete Tecnológico (PT) . . . . .	17
2.3	Formación de una Jerarquía, niveles, alternativas y los diferentes objetivos por alcanzar . . . . .	24
2.4	Partición del problema de decisiones en pequeños subproblemas de fácil solución. . . . .	24
2.5	Formación de matrices que contiene como vector columna a la importancia relativa de los elementos de ese estrato, respecto a los objetivos del estrato inmediato superior. . . . .	26
2.6	Diagrama de Selección del Paquete Tecnológico (PT). . . . .	27
2.7	Modelo jerárquico con tres objetivos y cuatro alternativas . . . . .	27
2.8	Partición del problema de decisiones en pequeños subproblemas de fácil solución . . . . .	29
2.9	Prioridades relativas y globales . . . . .	33
2.10	Diagrama de agrupamiento. . . . .	38
2.11	Ilustración gráfica de una jerarquía de ac@hac@ estratos. . . . .	41
2.12	Definición 15 . . . . .	45
2.13	Axioma 3 . . . . .	47
2.14	Sistema en Redes de Trabajo. . . . .	50
2.15	Gráfica. . . . .	59
2.16	Gráfica dirigida. . . . .	59
2.17	Gráfica bipartita. . . . .	62
2.18	Gráfica bipartita para la matriz de intensidad-adyacencia. . . . .	63



3.1	Contribución Local en el PT: Características vs. Tecnologías.....	75
3.2	Contribución Total, Adquisición de Tecnología dominada y alternativa.....	77
3.3	Contribución Total, Tecnologías.....	78
3.4	Contribución Total, Características.....	79
3.5	Contribución Total, Opciones.....	80
3.6	Contribución Local en el PT: Características vs. Tecnologías.....	82
3.7	Contribución Total, Tecnologías.....	83
3.8	Contribución Total, Características.....	84
3.9	Contribución Total, Opciones.....	85
3.10	Contribución Total, Adquisición de Tecnología dominada y alternativa.....	88
3.11	Contribución Total, Tecnologías.....	89
3.12	Contribución Total, Características.....	90
3.13	Contribución Total, Opciones.....	91

## **Tablas**

Tabla 1:	Paquete Tecnológico y sus componentes..	5
Tabla 2:	Escala Fundamental.....	19
Tabla 3:	Criterios de valuación.....	69
Tabla 4:	Impacto global por características....	74
Tabla 5:	Impacto global normalizado por características.....	76
Tabla 6:	Impacto global por características....	81
Tabla 7:	Impacto global normalizado por características.....	81
Tabla 8:	Impacto global por características....	86
Tabla 9:	Impacto global normalizado por características.....	86
Tabla 10:	Composición tecnológica típica para diversos sectores.....	93

# INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolló con el fin de ayudar al empresario a comprender la componente tecnológica dentro del proceso de planeación estratégica; sin embargo, la propia variable tecnológica contribuye a forjar lo que se llamará un Paquete Tecnológico (PT). El cual engloba un paquete sistemático de conocimientos organizados de distintas clases (científico, técnico, empírico, etc.), proveniente de distintas fuentes (descubrimientos científicos, otras tecnologías, libros, manuales, patentes, etc.), a través de métodos diferentes (investigación, desarrollo, adaptación, copia, espionaje, expertos, etc.).

Ésta es la primera fase dentro del soporte de gestión, ya que permitirá esclarecer conceptos generales para el diagnóstico del entorno actual, describiendo así cada uno de los componentes del PT y su interrelación e impactos tanto a nivel local y global para la empresa.

Toda la información que se ha ido obteniendo durante este proceso, ha sido considerada bajo ciertos criterios tecnológicos los cuales se encuentran expresamente claros desde el inicio de las actividades del diagnóstico para poder garantizar el seguimiento y consistencia del mismo. Éstas tendrán que ser de tipo: económico, técnico, estratégico, etc., con respecto a las necesidades tecnológicas de la empresa. Lo que permitirá examinar las características más importantes y así poder demostrar las semejanzas y diferencias entre un paquete tecnológico y otro, incluso en el mismo sector como un objetivo terminal.

El siguiente paso será la incorporación de la tecnología, según los resultados del diagnóstico, en cada una de las áreas del proyecto en las que existe interés, tomando las acciones adecuadas para cada uno de éstas asociando así los criterios, contribuciones e impactos en función de la teoría y metas como capacidades a alcanzar sí y solo sí se cumplen las necesidades tecnológicas.

Por último se tratará de ilustrar por medio de un ejemplo la aplicación de los conceptos aquí expresados en un caso práctico del sector harinero.

Se propone una forma de apreciar la variable tecnológica en su conformación como PT, sabiendo de antemano que éste tiene sus limitantes tanto corporativas como tecnológicas para el desarrollo del mismo. Por otro lado, este documento no es más que una aproximación a la realidad percibida, la cual se irá retroalimentando con el paso de los años.

# JUSTIFICACIÓN

La falta de instrumentos de autodiagnóstico en el sector productivo, ha reflejado que la conformación de paquetes tecnológicos no se lleven a cabo por falta de algún ingrediente de la complicada red de factores involucrados y entre ellos la vinculación Universidad - Industria.

Lo anterior hace pensar sobre la formulación de algún instrumento que ayude al empresario a analizar su tecnología. Partiendo de lo que ha hecho para actualizarse en el mercado y mantenerse competitivamente, surge la idea de que puede tener huecos por llenar y este instrumento le ayudará a observar los elementos esenciales para la formulación de su paquete tecnológico y por lo tanto de una decisión mejor sustentada.

Ahora surge la pregunta, ¿cuál va a ser la mejor forma de analizar y razonar la propuesta tecnológica?

Se piensa que el instrumento realizado lleva a homogenizar decisiones encontradas, muchas veces guiadas por la intuición, y dentro de esta homogenización formular un modelo de toma de decisiones más digerible para el empresario por su propia naturaleza. La utilización del mismo lo llevará de la mano a comprender conceptos como es: la Innovación Tecnológica, los Tipos de Tecnología, su estructuración como Paquete Tecnológico por medio de los elementos antes referidos y por último el Análisis Tecnológico de su propia industria.

Por otro lado, se persigue una mejor comprensión de la variable tecnológica y así poder asimilar el porqué de la desigualdad entre empresas del mismo sector.

La construcción de escenarios puede ser una herramienta útil para atacar el punto anterior y dar así una solución a este hecho.

# Capítulo 1

## PRELIMINARES

### 1.1 ¿CIENCIA O TECNOLOGIA?

Uno de los problemas a los que se enfrenta hoy día, es al bombardeo de información e incluso este bombardeo llega a poner las palabras en boca de uno, al grado de hacerlas propias. Sin embargo, ¿Cuántas veces se habla de tecnología sin tener el concepto claro? Dada esta circunstancia es preciso definir claramente sus diferencias:

La ciencia y la tecnología tienen algo en común: son formas organizadas del conocimiento. Sin embargo, son conocimientos organizados para fines distintos: en el caso de la ciencia, para saber por qué. En la otra mano la tecnología, si bien el por qué es útil y muchas veces es imprescindible para continuar evolucionando, su característica conceptual consiste en saber cómo.

El cuerpo de ideas llamado ciencia consiste en un conocimiento racional, sistemático, exacto y verificable. El conocimiento tecnológico no requiere, necesariamente, de estos atributos en tanto permita producir bienes y servicios en forma confiable y cumpliendo con determinados prerequisites sociales y económicos.

La ciencia derrama conocimientos sobre la tecnología y puede concebirse como un gran recipiente de conocimientos que se alimenta por el flujo continuo del conducto de la investigación básica. Por su parte, la tecnología derrama sobre la ciencia nuevos desafíos, nuevas preguntas, nuevos métodos e instrumentos.

En suma, no existe linealidad en la actividad de investigación y desarrollo. **Hacer Innovación Tecnológica (IT) implica entre otras cosas la estructuración de un Paquete Tecnológico (PT)**, que es el conjunto

de conocimientos empíricos o científicos, nuevos o copiados de acceso, libre o restringido, jurídicos, comerciales o técnicos, necesarios para producir un bien o servicio. Como puede verse, el Paquete Tecnológico incorpora conocimientos empíricos, que son aquéllos que se derivan exclusivamente de la práctica y la experiencia, y no tienen necesariamente una base científica. Por lo tanto la tecnología no es más que un insumo, que debe ser sabiamente combinado con la disponibilidad de capital, trabajo y recursos naturales, para lograr el efecto deseado.

### 1.1.1 CIENCIA VS. TECNOLOGIA: CONSIDERACIONES GENERALES

-Tienen algo en común, son formas organizadas de conocimientos, pero para fines distintos.

-La actividad científica esta orientada a la satisfacción de la necesidad de conocimiento sobre las leyes de la naturaleza (saber Porqué)

-La Actividad Tecnológica esta orientada a encontrar la forma óptima de producir bienes y servicios de utilidad económica y social (saber Cómo)

-No existe relación simple entre capacidad científica de un país y su liderazgo tecnológico e industrial, ambas son indispensables para el desarrollo integral de la sociedad pero por distintas razones.

-La ciencia sirve para lograr una conciencia crítica de la sociedad, y sienta las bases para un desarrollo tecnológico propio.

-La tecnología sirve para incrementar la eficiencia y crecimiento del aparato productivo, a la vez retroalimenta la curiosidad y productividad científica.

Una vez hechas estas observaciones se procederá a dar una definición formal de la misma.

**"Definición de Tecnología.-** Conjunto de conocimiento, técnicas y habilidades que se aplican para realizar actividades productivas, usando máquinas, aparatos y herramientas para transformar materias primas a productos terminados<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>G.CADENA, et.al., Administración de proyectos de Innovación Tecnológica, UNAM, pp 22-50, 1986.

## 1.2 COMPONENTES DE LA TECNOLOGÍA

A la vez la tecnología tiene una serie de elementos como son: la Tecnología de Producto, Tecnología de Equipo, Tecnología de Proceso y Tecnología de Operación, las cuales ayudarán a identificar una serie de elementos estratégicos permitiendo hacer un análisis de la situación actual de la empresa a estudiar.

**Definición de Tecnología de Producto.-** Se entiende la parte del PT relacionado con las normas, las especificaciones y los requisitos generales de calidad y presentación que debe cumplir un bien o servicio. Por lo tanto, la incorporación de esta tecnología en la empresa será por medio de manuales, planos, patentes, lista de especificaciones de materiales, diseños, productos, etc.

**Definición de Tecnología de Equipo.-** Se refiere a la parte del PT relacionado con las características que debe poseer los bienes de capital necesarios para producir un bien o servicio; su incorporación hacia la empresa se logra por medio de la especificación de las capacidades y equipos, así como de las obras de ingeniería básica y de detalle de los equipos, máquinas, aparatos y accesorios actuales y futuros.

**Definición de Tecnología de Proceso.-** Es la parte del PT relacionado con las condiciones, procedimientos y formas de organización necesarios para combinar insumos, recursos humanos y bienes de capital de la manera adecuada para producir un bien o servicio, es decir, el establecimiento de los elementos indispensables de operación, fabricación y flujo de materiales óptimos para el buen funcionamiento de la empresa.

**Definición de Tecnología de Operación.-** Es aquella que se refiere a las normas y procedimientos aplicables a las tecnologías de producto de equipo y proceso, y que son necesarias para asegurar la calidad, la confiabilidad, la seguridad física y la durabilidad de la planta productiva y de sus productos. Principalmente se referirán a las normas nacionales e internacionales que rijan las actividades realizadas en el sector industrial" [1].

Dentro de esta tecnología también se encuentra lo que se llamará **Tecnología de Servicio**, y para su estudio se separará para observar su impacto a nivel global dentro del paquete tecnológico para el empresario.

Definiremos Tecnología de Servicio como el seguimiento que tiene el producto terminado desde el punto de vista comercial, teniendo especial importancia la solución de problemas del cliente y que tenga medios para expresarlos, autonomía de los empleados para resolver situaciones problemáticas, etc

En consecuencia, es muy importante reiterar que cualquier PT tiene

elementos de los cuatro tipos de tecnología antes referidos (Tabla 1. Tipos de Tecnologías en una Empresa).

El valor de uso de una tecnología producida para realizar un propósito está determinado por la adecuación de que esa tecnología cumpla con dicha tarea. El valor de cambio de esa misma tecnología se mide por la proporción en que su valor de uso se cambia por el valor de uso de otra mercancía, ya sea directamente o ya sea por medio de dinero. (Figura 1-1 La Telaraña Tecnológica).

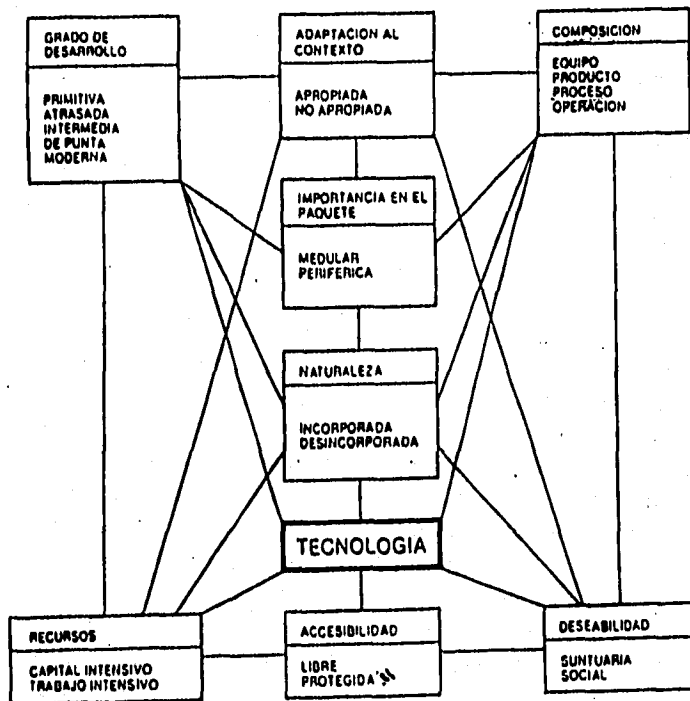


Figura 1.1: La telaraña tecnológica.



**TIPO DE TECNOLOGÍA EN UNA EMPRESA**

*tabla 1*

TIPO DE TECNOLOGÍA	ELEMENTOS QUE LA CONFORMAN	CONSEJOS ECONÓMICOS
Tecnología de Producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Descripción del Producto (incluye dibujos, normas y especificaciones)</li> <li>-Descripción del uso del producto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Manuales, planos, patentes, normas de calidad de instructivos de uso y manuales de fabricación</li> <li>-Listas de especificaciones de materias primas y materiales de fabricación, incluye los diseños.</li> <li>-Manuales de uso de los productos.</li> </ul>
Tecnología de Equipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Especificación de máquinas, aparatos y equipos.</li> <li>-Especificación de capacidades.</li> <li>-Mantenimiento de los equipos, máquinas y accesorios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ingeniería básica y de detalle de los equipos.</li> <li>-Equipos, máquinas, aparatos y accesorios requeridos tanto actuales como futuros.</li> </ul>
Tecnología de Proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Descripción del proceso paso a paso.</li> <li>-Balance de materiales.</li> <li>-Control de calidad en las etapas del proceso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Ingeniería básica y de detalle de los procesos.</li> <li>-Manuales de proceso y condiciones de operación.</li> <li>-Manuales de fabricación de los productos.</li> <li>-Diagramas de flujo de materiales.</li> </ul>
Tecnología de Operación	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Operación de la planta.</li> <li>-Procedimientos y programas de producción</li> <li>-Servicios de planta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Distribución del área productiva.</li> <li>-Manuales de organización y métodos.</li> <li>-Sistemas de calidad.</li> </ul>

Mientras que el valor de uso depende de la utilización práctica del conocimiento contenido en el PT, el valor de cambio es el resultado de la apropiación del PT por alguien y de esa manera conlleva a un cierto grado de poder de mercado y de capacidad para generar utilidades al potencial del paquete.

Sin embargo, la falta de recursos económicos frecuentemente ha sido un obstáculo para la integración de los paquetes, por lo que la participación de las organizaciones financieras, que figuran entre los más importantes instrumentos de promoción del cambio tecnológico, puede ser crucial para cubrir esta carencia. Otra de las causas por lo se puede ver frustrada la adquisición del paquete, es la falta de información del mismo, ya que hay una tendencia a vender "cajas negras" debido a que el proceso intermedio entre la administración de insumos y salida de productos ha sido más especializada cada vez y por lo tanto las medidas o indicadores de productividad se ven afectadas por este cambio, hecho que trata de evitar la instancia tecnológica.

Es por eso que se da el fenómeno de la **instancia tecnológica** ubicada dentro de una industria, entidad o fábrica, cuyo objetivo es copiar, asimilar, adaptar o generar tecnología para solucionar problemas o introducir mejoras dentro de la línea de producción de la industria.

La **empresa tecnológica** es la entidad cuyo objetivo específico consiste en formular el PT mediante cualquier método para ser utilizados por el sector productivo. Pero esta empresa puede tener una serie de productos y seguramente se preguntará, la fábrica tendrá varias tecnologías o una sola?

Lo más adecuado es pensar que la tecnología es un **paquete** que integra tanto los conocimientos técnicos relacionados con los productos, como aquéllos sobre los equipos, procesos y operaciones.

El dominio que tenga la empresa sobre la tecnología marcará las diferencias más notables entre empresas del mismo ramo, de aquí se deriva que su complejidad de cada una de las partes que conforman el PT y la forma de integrarlo.

### **Definición de PT**

- La tecnología engloba un paquete sistemático de conocimientos organizados de distintas clases (científico, técnico, empírico, etc.), proveniente de diversas fuentes (descubrimientos científicos, otras tecnologías, libros manuales, patentes, etc.), a través de métodos diferentes (investigación, desarrollo, adaptación, copia, espionaje, expertos, etc.).
- El PT así visto pretende mostrar un significado de cambio

técnico en todas sus facetas y elementos que intervienen en el mismo.

El PT fundamentalmente engloba cuatro tipos de tecnologías anteriormente descritas.

Hasta el momento se ha hablado de como se conforma el Paquete Tecnológico y cuáles son sus elementos; sin embargo la integración del mismo no es inmediata, sino que conlleva todo un proceso que se tratará a continuación.

### 1.3 PROCESO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Los conocimientos técnicos deberán estar siempre coordinados con el factor humano dentro de la organización, y de la forma como se armonicen los aspectos técnicos y los administrativos, dependerá el éxito o el fracaso de la empresa. Se hace hincapié que al proceso de conjugar oportunidades técnicas con las necesidades, integrando un PT que tiene por objetivo introducir o modificar productos o procesos en el sector productivo, con su consecuente comercialización, esto es lo que se llamará **Innovación Tecnológica**.

Algunos autores la han definido de la siguiente forma:

- Schmoocler dice que "cuando una empresa produce un bien o un servicio, o usa un método o insumo que es nuevo para ella hace un cambio técnico... Su acción es un Innovación".
- Drucker sostiene que las IT propician un cambio tecnológico en el sector industrial que resulta ser una de las principales motivaciones por la necesidad de competitividad de las organizaciones productivas.
- Hacer IT implica, entre otras, cosas estructuración de un PT, necesario para producir un bien o servicio.

Por otro lado, la introducción de la tecnología en la empresa se hace cada vez que se incorpora una nueva técnica al interior de ésta, se dice que hay un cambio, motivado principalmente por una necesidad que hay que resolver; mientras que el proceso de invención culmina con la concepción de una idea, el proceso de innovación implica necesariamente la aplicación de esta concepción a un sistema productivo y al mercado.

Sin sentirlo, la empresa está constantemente en contacto con fuentes de tecnología, recibe información, tiene contacto con clientes, proveedores y

con otras personas y empresas. Por ello la empresa es su propia fuente de tecnología, mediante su propio personal y sus relaciones con el entorno.

En cualquier caso las empresas giran en torno a:

- Buscar la sobrevivencia de sus productos y de la organización.
- Buscar un incremento a la productividad y a las ganancias.
- Producir un efecto disuasivo para la competencia, aumentando las barreras de entrada al mercado.
- Crecer y diversificarse.
- Obtener utilidades con la venta de tecnología generadas .
- Reservarse mercados mediante establecimientos de nuevas normas, estándares industriales y marcas registradas.
- Retroalimentación.
- Remediar la escasez de recursos y tener interacción con el gobierno.

La decisión de involucrarse en IT, lo que de hecho significa también realizar cambios organizacionales con todo el riesgo que esto implica se toma con base en razones políticas, de mercado y tecnológicas, y se enmarca en estrategias específicas diseñadas por la dirección de cada una de estas organizaciones.

En estos casos de IT por compra ó licenciamiento además de aportar una contribución específica, al involucrarse en el proceso innovador se esta aprendiendo a conocer la competencia, integrar paquetes tecnológicos, asimilar conocimientos y habilidades, ejecutar actividades de I-D para adaptación de tecnologías y vincular estas con el mercado y nuestra realidad, enmarcada a la vez por la Naturaleza Institucional: Intraorganizacionales y interorganizacionales.

Otra faceta de la IT se encuentra dada por su magnitud y efecto, son:

Las innovaciones graduales son aquellas que no cambian sustancialmente los productos, procesos, materias primas, equipos u operaciones existentes y por lo general no requieren de inversiones significativas.

Las innovaciones radicales o de salto son aquellas basadas en la generación de tecnología endógena mediante la ejecución de proyectos de I-D-I, o mediante la compra de tecnología exógena. (figura 1-2 Corredor Tecnológico).

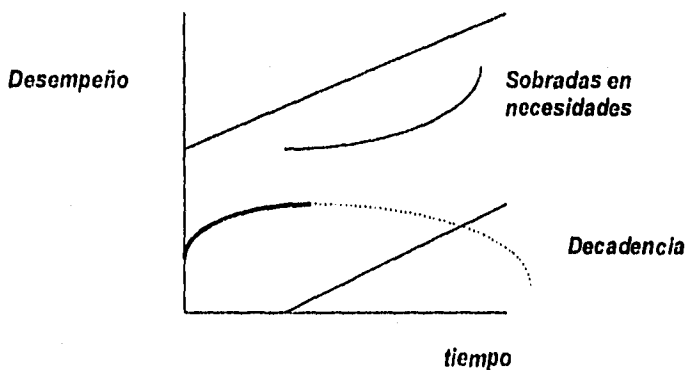


Figura 1.2: Corredor tecnológico.

### 1.3.1 NATURALEZA DEL PROCESO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

- a) Reconocimiento de la oportunidad de realizar innovación, factibilidad técnica de ejecutarla y de su demanda en el mercado o por sector productivo.
- b) Fusionar la facilidad técnica reconocida con la demanda detectada, lo que resulta en un concepto de diseño.
- c) Solución del problema (cuerpo de conocimiento).
- d) Desarrollo involucra el escalonamiento a nivel de la producción y la verificación detallada de la demanda del mercado.

- e) Utilización y difusión de la solución, cuando está se aplica a la producción y posteriormente diseminada a otras empresas bajo diversas condiciones contractuales.

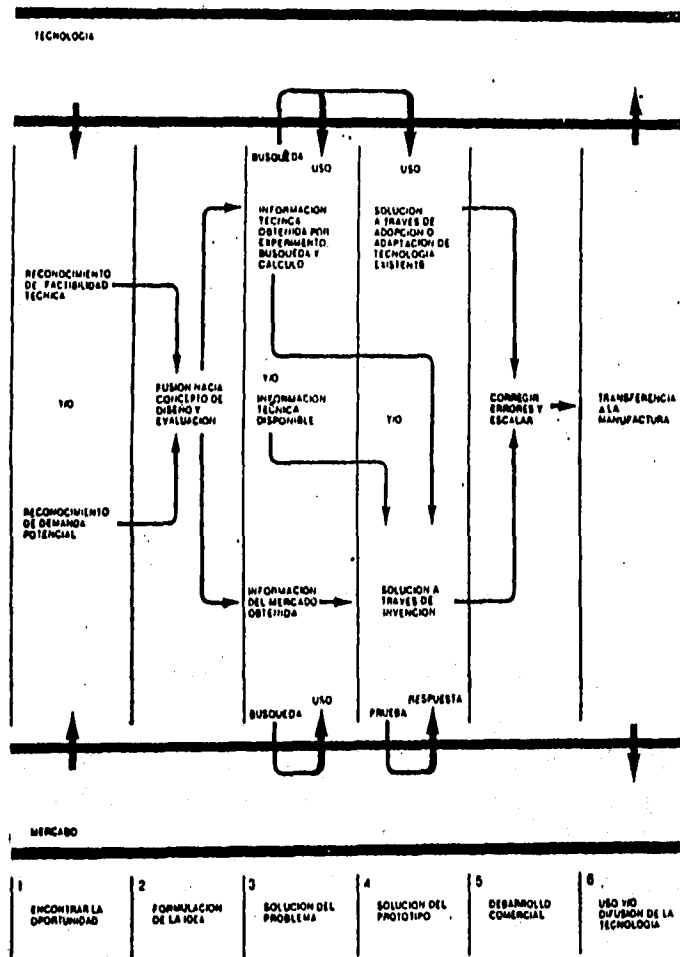


Figura 1.3: El proceso innovador.

Los productos tienen un ciclo de vida que puede observarse a través de su volumen de ventas y capital de trabajo. Esta relación se observa en las distintas fases por las que pasa una empresa, ya que cuando inicia funciones la inversión es muy fuerte para poder desarrollar un producto, con el cual persiguen conquistar un mercado hasta que logran posicionarse, una vez posicionados la empresa tratará de bajar costos pero ahora a nivel de producción, ya que en las áreas de equipo e instalación el gasto se ha visto reducido. Mientras tanto, las ventas han evolucionado favorablemente hasta pasar a las siguientes etapas que son la estabilización de su producto y por último declinamiento o desaparición del mercado. (figura 1-4)

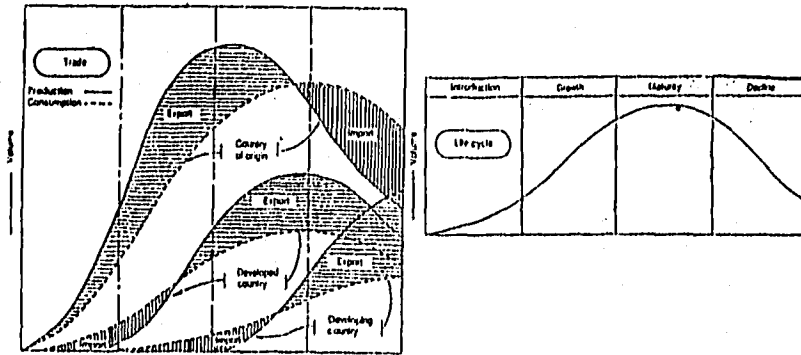


Figura 1.4: Ciclo de vida de la tecnología.

Las etapas a las que hemos hecho mención en forma parafraseada se categorizan en embrionaria, crecimiento, madurez y finalmente de decaimiento, cuando estos comienzan a ser reemplazados por otros. Es interesante apuntar los esfuerzos innovadores se orientan inicialmente hacia la tecnología de producto, y a medida que avanza su ciclo de vida el mercado se estabiliza, los esfuerzos se concentran en hacer más eficiente el proceso de manufactura, automatizándola, integrándola y especializando sus distintas fases que inicialmente tuvieron un grado mayor de flexibilidad.

La innovación parte entonces de la adecuada identificación de las necesidades del sector productivo encontrándose cuatro razones por las cuales

se busca esta innovación: **preservar y promover el negocio actual, diversificarse, cumplir con presiones sociales y gubernamentales, remediar la escasez de recursos o insumos.**

En nuestra realidad, existen pocas empresas con una clara percepción de la importancia del manejo de la variable tecnológica para su supervivencia y competitividad.

Por lo que se hace indispensable hacer un estudio de sus componentes y su interrelación para la caracterización del paquete tecnológico por sectores industriales y así poder estandarizar o ejemplificar decisiones tomadas por otras empresas y adecuarlas en la suya en caso de que ésta hubiera sido exitosa, permitiendo así una primer aproximación de lo que podría llegar a ser un modelo de soporte para la toma de decisiones.

Se observó que los componentes característicos para el estudio de esta variable son: Composición de la Tecnología, Forma de Adquisición, Tipo de Tecnología, Características Estratégicas esenciales y Alternativas de cambio; que a la vez se subdividieron por niveles como se muestra en la figura 1-5.

Conformación del Paquete Tecnológico cuyos elementos son:

Tecnologías dominadas y alternativas y éstas a la vez se subdividen en integrales y parciales; luego entonces, se sugiere dividir las en: Tecnología de Producto, Tecnología de Equipo, Tecnología de Proceso, Tecnología de Operación y Tecnología de Servicio.

Hasta esta etapa se tiene la identificación de nuestra tecnología y su conformación.

El segundo bloque se refiere a los elementos estratégicos para la selección de las alternativas de acuerdo a su calidad, atractividad, dinamismo, soporte técnico, protección tecnológica, y grupo de investigación entre otras.

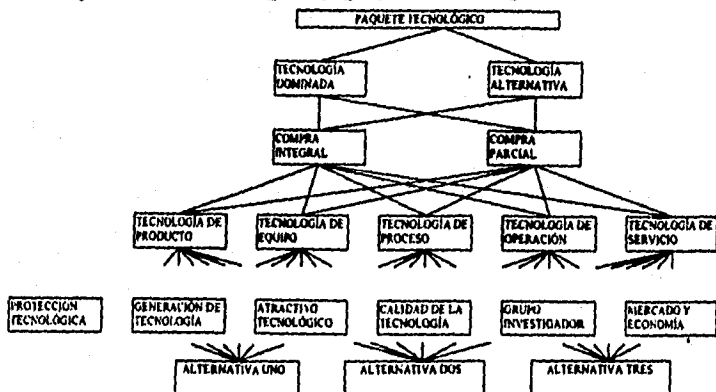


Figura 1.5: Gráfica del Paquete Tecnológico y sus componentes



Una vez engranadas las oportunidades técnicas con las necesidades y habiendo previsto los eventuales mecanismos de explicitación de la demanda si es que esta es latente, se puede comenzar a afianzar esta idea, examinarla con los usuarios de la tecnología para validar la demanda, y buscar información técnica adicional sobre el proceso o producto en cuestión. Llega entonces el momento de comenzar a seleccionar opciones técnicas que den la solución que es una de las tareas más importantes dentro del proceso innovador.

Para la ejecución de un proyecto se necesitan equipos interdisciplinarios que exigen una mezcla de creatividad y control, lo que demanda la aplicación de estilos de liderazgo variables por parte del líder del grupo. De ahí que se vaya a usar el Proceso de Jerarquización Analítica (PJA) ya que puede resumir los criterios y sacar las ponderaciones para cada uno de los elementos de nuestra jerarquía.

Por otro lado, se tiene la parte legal conocida como la Propiedad Industrial (PIIn) que se deriva del régimen de Propiedad Intelectual (PI), la cual busca proteger toda actividad original del intelecto que sea nueva, producto de una actividad inventiva y susceptible de aplicación industrial, en cuanto a las invenciones se refiere. Asimismo también la PIIn otorga derechos de uso exclusivo y protección a los signos distintivos de denominaciones comerciales (marcas), avisos y las denominaciones de origen. Un aspecto adicional es la protección de los llamados "Secretos Industriales" para la preservación de toda información o conocimientos que se considere que confiere una ventaja competitiva a la organización que la posee.

En el mismo sentido, la PI cubre los aspectos derivados de los derechos de autor, considerados principalmente por obras estéticas, artísticas, literarias o musicales, entre otras, así como los programas de computación.

Específicamente, **la patente** es un derecho o privilegio legal que concede el estado de una persona física o moral, durante un plazo fijo, para producir, utilizar y comercializar en forma exclusiva ó a través de un tercero bajo su licencia, un producto o procedimiento que haya resultado de la actividad inventiva. La transmisión de licencias de patentes y de otros títulos de propiedad industrial así como los conocimientos incorporados en el llamado "Know-How" pueden estar amparadas bajo figuras contractuales.

Los **contratos de transferencia tecnológica** pueden referirse a: contratos de asistencia técnica ó de servicios tecnológicos de licenciamiento ó venta de patentes ó marcas, de venta ó licenciamiento de conocimientos técnicos y revelación de secretos industriales (know-how), servicios de ingeniería y de desarrollo tecnológico, entre otros.

Por último, los documentos anteriormente descritos llevan a expresar en forma clara lo que se entiende por:

### **Definición de Techo Tecnológico**

Límite superior en el ámbito de interés, que puede ser regional o nacional, al cual ha llegado el estado de arte de una dimensión tecnológica.

### **Definición de Dimensión Tecnológica**

Son las medidas desempeño, las cuales deben de ser cuantificables, dinámicas y de valor universal.

## Capítulo 2

# PROCESO DE JERARQUIZACIÓN ANALÍTICA

## 2.1 INTRODUCCIÓN

### 2.1.1 QUÉ ES Y CÓMO USARLO

El Proceso de Jerarquización Analítica (PJA) es una teoría general de la medida. Este es usado para encontrar el grado de preferencia por medio de proporciones o razones (ratio scales) a través de comparaciones discretas o continuas. Estas comparaciones pueden ser tomadas de distintas formas, ya sea, por medio de los datos actuales o de una escala fundamental en las que se vean reflejadas las preferencias y sentimientos hacia el objeto deseado; haciendo referencia en esta forma a la teoría de la utilidad en la que se expresa el nivel de satisfacción del decisor que al igual que en este caso se expresa ésta satisfacción por medio del PJA. El PJA ha vuelto sus ojos al proceso de decisional a nivel de la consistencia del tomador de decisiones, sus medidas y su dependencia entre los distintos elementos de cada uno de los grupos y su estructura. Ha encontrado un sin fin de aplicaciones en la teoría de decisiones con multicriterios, planeación, distribución de recursos y resolución de conflictos.

El uso de PJA en la modelación de un problema es necesario crear la estructura jerárquica o de interconexión para dar la representación adecuada a éste y a la vez establecer una relación entre cada uno de los elementos por medio de comparaciones sucesivas. En el caso discreto las comparaciones

llevan a matrices dominantes y en el caso continuo nos lleva a los kernels de Fredholm, cuya razón de proporcionalidad está dado por su eigenvector principal o eigenfunciones como un posible caso. Estas matrices son positivas y recíprocas, ie,  $a_{ij} = 1/a_{ji}$  y  $a_{ii} = 1$ .

En general un modelo jerárquico en el área social puede ser de la siguiente forma: partir de un objetivo general, pasando a un criterio, subcriterio y así sucesivamente, los cuales son subdivisiones del criterio y finalmente a las alternativas sobre las cuáles se hará la elección.

Hay una gran cantidad de trabajos de cómo estructurar una gráfica jerárquica para problemas prácticos. En general son dos, aquellos que no tienen retroalimentación y a los que sí se les permite esta modalidad. Los elementos de la gráfica están agrupados por criterios y subcriterios en distintos niveles dependiendo la característica de cada nivel. Los elementos de cada nivel deberán ser considerados como restricciones, refinamientos o descomposición de los elementos superiores de los niveles precedentes.

Una **gráfica jerárquica completa** es aquella en la cual todos los elementos se encuentran relacionados entre sí por medio de un criterio homogéneo entre ellos y que permitirá el proceso de comparaciones, el cual es fundamental en el uso del PJA, cuyo objetivo es establecer las prioridades con respecto al criterio principal y su relativa importancia, generando así la matriz de comparaciones. Los juicios son emitidos numéricamente y con respecto a una escala prestablecida usada para hacer las comparaciones. El número de juicios necesarios para una matriz particular de orden  $n$ , consiste de  $n(n - 1)/2$  elementos por ser una matriz recíproca y en su diagonal elementos iguales a uno. (Figura 2-1).

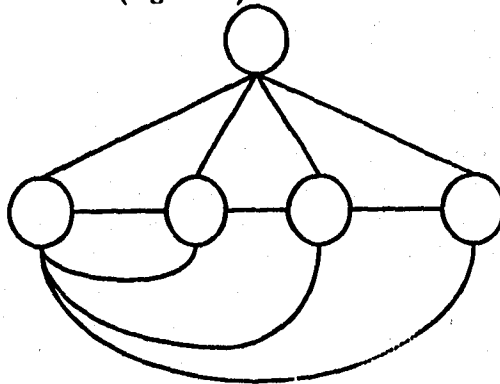


Figura 2.1: Gráfica jerárquica completa

Supóngase ahora que se tiene un empresario, el cual se encuentra indeciso

sobre qué Paquete Tecnológico debe escoger, tiene buenas alternativas y un buen catálogo de información. Utilizará el PJA para seleccionar su Paquete Tecnológico de la mejor manera posible. Se han aceptado cinco alternativas de compra:  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  y  $A_5$ . Debido a que el costo de ellas es "similar", no se incluye dentro de los criterios de la jerárquica (figura 2-2)

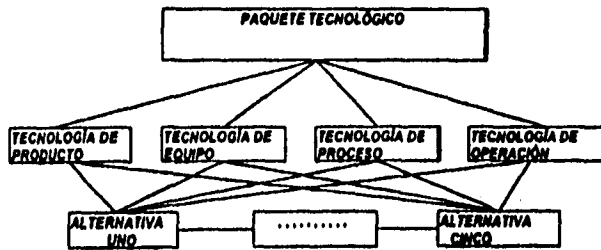


Figura 2.2: Diagrama de Selección del Paquete Tecnológico (PT)

Resumiendo, los criterios queda como sigue:

**Definición de Tecnología de Producto** .- Se entiende la parte del PT relacionado con las normas, las especificaciones y los requisitos generales de calidad y presentación que debe cumplir un bien o servicio.

**Definición de Tecnología de Equipo** .- Se refiere a la parte del PT relacionado con las características que debe poseer los bienes de capital necesarios para producir un bien o servicio.

**Definición de Tecnología de Proceso**.- Es la parte del PT relacionado con las condiciones, procedimientos y formas de organización necesarios para combinar insumos, recursos humanos y bienes de capital de la manera adecuada para producir un bien o servicio.

**Definición de Tecnología de Operación**.- Es aquella que se refiere a las normas y procedimientos aplicables a las tecnologías de producto de equipo y proceso, y que son necesarias para asegurar la calidad, la confiabilidad, la seguridad física y la durabilidad de la planta productiva y de sus productos.

**¿Qué tipo de preguntas se deberían hacer?**

Si uno examina las matrices que se encuentran a continuación, se observa que la pareja de elementos  $(i, j)$  en un nivel de la estructura jerárquica, es comparada con respecto a un elemento del nivel inmediato anterior bajo una propiedad o criterio para juzgar cuál es mejor y qué tanto.

Una forma típica de parafrasear la pregunta para alguna entrada de la matriz de comparaciones es: cuando se considera todos elementos,  $i$  en el lado izquierdo de la matriz y  $j$  hasta arriba, cual tiene una propiedad más, o cuando una satisface algún otro criterio, es decir cuando uno es considerado más importante bajo algún criterio y cuanto más (usando la escala fundamental de la tabla 2). Esto proporciona los elementos  $a_{ij}$  o  $a_{ji}$ . El valor recíproco es automáticamente definido y es colocado posteriormente abajo de la diagonal.

La pregunta realizada para hacer la comparación puede influenciar juicios y prioridades. Esta debe ser hecha claramente desde el principio y enfocada hacia el objetivo global y como los elementos de el segundo nivel pueden ayudar a desarrollar este objetivo y su consecuencias, prosiguiendo así para cada par de elementos en orden descendente.

La siguiente matriz es la matriz de comparaciones con respecto al objetivo global (Paquete Tecnológico).

Objetivo General	I	II	III	IV
T. Producto (I)	1	1/7	1/5	1/5
T. Equipo (II)	7	1	2	3
T. Proceso (III)	5	1/2	1	1
T. Operación (IV)	5	1/3	1	1

En esta matriz la primera comparación no trivial es (T. Producto, T. Equipo). La pregunta es "¿Qué tanto es la Tecnología de Producto preferida sobre la Tecnología de Equipo? La Tecnología de Equipo es actualmente preferida fuertemente (7 veces) sobre la Tecnología de Producto, así que el recíproco  $1/7$  es colocado en la posición  $(1, 2)$ , el valor 7 es automáticamente colocado en la posición transpuesta  $(2, 1)$  para (T. Equipo, T. Producto). Como otro ejemplo, Tecnología de Equipo obtuvo una calificación igual o más importante que Tecnología de Proceso por lo que obtiene como valor 2 (dos veces) el cual se introduce en la casilla  $(2, 3)$  con el recíproco  $(1/2)$  automáticamente en la casilla  $(3, 2)$  y así sucesivamente.

De igual forma se hace para cada uno de los criterios, la siguiente matriz es para el criterio de Tecnología de Producto.

**ESCALA FUNDAMENTAL**  
*tabla 2*

<b>INTENSIDAD DE IMPORTANCIA</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>
1	Igual de Importancia.	De igual contribución para el objetivo.
3	Ligera importancia de una sobre la otra.	Evidencia a favor de uno, pero no es concluyente
5	Esencial o fuerte importancia.	Existe una buena evidencia y un criterio lógico para mostrar que una es más importante sobre la otra.
7	Importancia demostrada	Existe evidencia concluyente para mostrar la importancia de una actividad sobre la otra.
9	Importancia absoluta	La evidencia a favor de una actividad sobre la otra es del orden de afirmación más alto posible.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos calificaciones adyacentes, se usa cuando hay duda en la asignación de un valor para alguna característica.	Existe compromiso entre dos valores.
Recíprocos de los valores anteriores diferentes de cero	Si la actividad i tiene alguno de los valores no nulos asignado a ella cuando es comparada con la actividad j, entonces j tiene el valor recíproco cuando es comparada con i.	

T. Producto	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>
A <sub>1</sub>	1	1/4	1/3	1/3	7
A <sub>2</sub>	4	1	2	3	7
A <sub>3</sub>	3	1/2	1	3	6
A <sub>4</sub>	3	1/3	1/3	1	4
A <sub>5</sub>	1/7	1/7	1/6	1/4	1

Continuando con el análisis, se dice que una matriz es consistente si  $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}, \forall i, j, k$ . Cabe hacer notar que la matriz anterior con respecto al Objetivo General es inconsistente. Por ejemplo,  $(T.Equipo, T.Proceso) = 2$ , mientras  $(T.Proceso, T.Operación) = 1$ , entonces para ser consistente  $(T.Equipo, T.Operación) = (T.Equipo, T.Proceso) \times (T.Proceso, T.Operación) = (2) \times (1) = 2$ . Pero el valor es 3. Entonces el valor de la celda (2, 4) es mayor del que debería tener para ser consistente, pero como metimos el recíproco 1/3 en la posición (4, 2) notamos que  $1/3 < 1/2$ . La relevancia de esta observación es que mientras un valor excede al correspondiente valor, el recíproco es menor que el valor recíproco correspondiente y de aquí la tendencia a compensar. Cuando un recíproco positivo de una matriz de orden  $n$  es consistente, el principal eigenvalor tiene que ser  $n$ . Cuando se tiene una inconsistencia, el eigenvalor principal excede a  $n$  ( $\lambda_{máx} \geq n$ ) y su separación con respecto a  $n$  sirve como medida de inconsistencia formada por la razón (llamado razón de consistencia, C.R.) de la diferencia del promedio de los diferentes valores correspondientes de  $n$  y sus principales eigenvalores de un gran número de matrices generadas en forma aleatoria.

El siguiente paso es obtener una escala de prioridades (ó ponderaciones). Se ha mostrado que esta escala se obtiene de resolver el principal eigenvalor de la matriz y normalizando este resultado. Esta es conocida como prioridad local antes de hacer la comparación con el criterio correspondiente (el cual para el segundo nivel los elementos siempre son igual a la unidad, el peso con respecto al objetivo global). Después de ponderar, se obtiene una relevancia global. Se ha probado que el principal eigenvector es la única forma de obtener escalas de relevancia que nos permite hacer uso de toda la información contenida en la matriz.

Así se obtiene el primer vector de pesos relativos respecto a las tecnologías:

$$(T. Producto \ T. Equipo \ T. Proceso \ T. Operación)^t = (0.0530.4910.2380.213)^t$$



con un índice de consistencia de 0.02 (véase la sección 2.4.1 para más detalles).

Se prosigue así hasta obtener la serie de matrices de comparaciones para los siguientes cuatro criterios de comparación con respecto al criterio del nivel dos. Hay cuatro de este tipo de matrices. En el ejemplo ilustrativo, se da una matriz que compara las alternativas  $A_1, A_2, A_3, A_4$  y  $A_5$  con respecto a la deseabilidad percibida de acuerdo a la Tecnología de Producto:

$$\begin{pmatrix} \text{T. Producto} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & A_5 & \text{Peso} \\ A_1 & 1 & 1/4 & 1/3 & 1/3 & 7 & 0.115 \\ A_2 & 4 & 1 & 2 & 3 & 7 & 0.402 \\ A_3 & 3 & 1/2 & 1 & 3 & 6 & 0.283 \\ A_4 & 3 & 1/3 & 1/3 & 1 & 4 & 0.163 \\ A_5 & 1/7 & 1/7 & 1/6 & 1/4 & 1 & 0.037 \\ \text{C.R.} & & & 0.092 & & & \end{pmatrix}$$

Otra vez es presentada para las alternativas, para el criterio (I) Tecnología de Producto, después de resolver su eigenvalor principal, y a la vez se enlistan las cinco columnas de ponderaciones:

$$(I) \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & A_5 \end{pmatrix}^t = \begin{pmatrix} 0.115 & 0.402 & 0.283 & 0.163 & 0.037 \end{pmatrix}^t$$

Ahora damos la respectiva escala para los otros criterios y su respectivo vector de ponderaciones.

$$(II) \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & A_5 \end{pmatrix}^t = \begin{pmatrix} 0.034 & 0.539 & 0.250 & 0.121 & 0.056 \end{pmatrix}^t$$

$$(III) \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & A_5 \end{pmatrix}^t = \begin{pmatrix} 0.521 & 0.235 & 0.147 & 0.038 & 0.059 \end{pmatrix}^t$$

$$(IV) \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & A_5 \end{pmatrix}^t = \begin{pmatrix} 0.564 & 0.209 & 0.132 & 0.040 & 0.055 \end{pmatrix}^t$$

Esto da como resultado la siguiente matriz de pesos, que indicará la relevancia global de cada uno de los criterios con respecto al objetivo global.

$$\begin{pmatrix} 0.115 & 0.034 & 0.521 & 0.564 \\ 0.402 & 0.539 & 0.235 & 0.209 \\ 0.284 & 0.250 & 0.147 & 0.132 \\ 0.163 & 0.121 & 0.038 & 0.040 \\ 0.037 & 0.056 & 0.059 & 0.055 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.053 \\ 0.491 \\ 0.238 \\ 0.218 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.270 \\ 0.387 \\ 0.201 \\ 0.086 \\ 0.055 \end{pmatrix}$$

Con un paquete de matemáticas se puede calcular este producto de matrices dándonos que la prioridad final para la II es de 0.387, lo cual la hace la alternativa más preferida y posteriormente le sigue la I con 0.270. La consistencia total de estos juicios se obtiene como la suma de las razones de los índices de consistencia para los pesos que corresponde a la suma de los pesos aleatorios (Ver sección 2.7).

## 2.2 Axiomas del PJA

Tres son los principios que guían la solución de un problema a resolver usando PJA: descomposición, juicios comparativos y síntesis de prioridades como se vio en el ejemplo anterior.

El **principio de descomposición** es aplicado para la estructuración del problema con sus elementos independientes del siguiente nivel y de los subsecuentes, trabajando en cascada para cubrir el objetivo general, bajo los criterios establecidos en cada uno de los niveles, que a la vez son subcriterios de los siguientes.

El **principio de juicios comparativos**, el cual es usado para la construcción de las importancias relativas entre los elementos de algún nivel con respecto a algún criterio compartido del nivel inmediato anterior, dándonos como resultado una matriz como la anterior y su correspondiente eigenvalor principal.

El **tercer principio es la sintetización de prioridades**, en el PJA las prioridades son sintetizadas del segundo nivel para abajo por medio de la multiplicación de las prioridades locales con respecto a algún criterio y posteriormente adicionándolas, para cada uno de los elementos del nivel de acuerdo con el criterio que los afecta. Los elementos del segundo nivel son multiplicados por la unidad, el peso del objetivo global total. Esto nos da la composición o prioridades globales de ese elemento, en cuyo caso el peso de la prioridad local del elemento en el nivel de comparación inferior para cada uno de los criterios y así sucesivamente.

Estos tres axiomas son los que gobiernan el PJA y utilizan la noción comparación por parejas como punto de partida.

Como se observó, este capítulo trata de una de las técnicas más potentes, actuales y pragmáticas de la teoría de decisiones. En la actualidad, la cantidad de artículos, extensión y variedad de aplicaciones aumenta enormemente. Esta es una técnica que está dentro de la clase de escalas de razón o proporción, pues siempre estima el valor del estímulo, alternativa u objetivo, en razón o comparación con otros. De esta manera, el decisor

siempre se apoya en un estímulo y lo compara con los demás. Este tipo de estimación personal es más exacta que si directamente se trata de dar la relevancia de un conjunto de estímulos respecto de un objetivo. La sencillez de su aplicación es tal que los resultados pueden obtenerse con una simple calculadora de bolsillo. La escala que utiliza para medir las relevancias puede ser comprendida con facilidad aún por quienes sólo tienen un nivel básico de primaria.

La estructura de los problemas que se resuelven con esta técnica es muy amplia, pues resuelve problemas de tipo jerárquico. Basta decir que toda una estructura de planeación tiene forma jerárquica y que la gran mayoría de los problemas de decisión puede representarse de esta manera y resolverse con la técnica que se describirá en este capítulo.

El método necesita de la comparación por pares entre cada una de las alternativas, y el decisor no sólo debe decir cuál de ellas prefiere, sino además evaluar en qué magnitud es preferida, de acuerdo con una escala previamente especificada.

En cuanto al problema, se asume que las alternativas y objetivos forman un conjunto que puede dividirse en subconjuntos separados entre sí, (diferentes), y que existe un orden o prioridad entre éstos, de tal manera que los elementos de un conjunto tienen mayor o menor prioridad que los de otro; esto se conoce como jerarquía. Una definición más formal de una jerarquía se desarrollará posteriormente.

## 2.2.1 ESTRUCTURA DEL PROBLEMA

El problema de decisión consiste en conocer cuál es la prioridad de cada uno de los elementos de cada estrato. Esto significa conocer la escala de valores asociada a cada una de las alternativas, con objeto de saber, por ejemplo, cuál es la mejor o peor consideradas como aquellas que alcanzan en mayor o menor grado, respectivamente, cada uno de los objetivos que constituyen los estratos superiores (del estrato 1 al  $h - 1$ ). Se presume que antes de tratar de resolver el problema con esta técnica se obtuvo una división de los objetivos por niveles, como se muestra en la figura 2-3. En éste caso se hizo una investigación exhaustiva sobre las posibles variables u aspectos que nos pueden ser los más representativos. Se utilizó la teoría de sistemas para formular las siguientes preguntas: ¿Qué tan importante es la alternativas  $A_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) para alcanzar cada uno de los objetivos  $O_{nk}^k$  en cada uno de los estratos? Tal pregunta es muy difícil o imposible de responder directamente, debido a los múltiples objetivos de diferente importancia que se pretenden alcanzar.

La técnica de jerarquización emplea la teoría de sistemas para descomponer la pregunta anterior en muchas de fácil contestación, para posteriormente integrar toda esta información por medio de un teorema que proporciona la respuesta deseada; es decir que en este método primero se compara la importancia de cada una de las alternativas entre sí, respecto a uno solo de los objetivos del nivel inmediato superior. Esta comparación es mucho más fácil de evaluar que la pregunta original del problema de decisiones. El directivo o grupo de asesores proporcionan entonces su elección entre ambas alternativas, teniendo en mente un solo objetivo y las únicas dos alternativas que se compararán en ese momento (figura 2-4a).

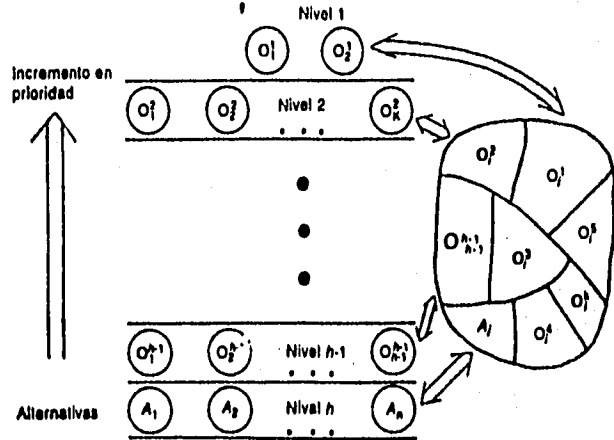


Figura 2.3: Formación de una Jerarquía, niveles, alternativas y los diferentes objetivos por alcanzar

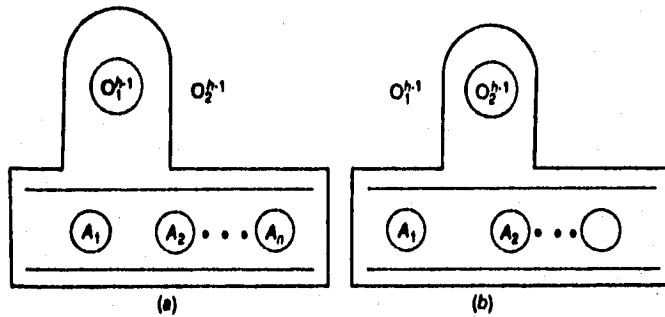


Figura 2.4: Partición del problema de decisiones en pequeños subproblemas de fácil solución.

Una vez que se compararon todas las alternativas entre sí, respecto al primer objetivo del siguiente nivel superior ( $O_1^{h-1}$ ), se realiza el mismo proceso de comparación entre alternativas, pero ahora respecto al segundo objetivo que forma el estrato inmediato superior, o sea  $O_2^{h-1}$ , como se ilustra en la figura 2-4b). De esta forma se comparan cada uno de los elementos entre sí, en cada uno de los estratos, respecto a cada uno de los elementos del estrato inmediato superior, considerados como objetivos únicos por alcanzar, hasta completar o cubrir todos los elementos de la jerarquía. No se niega que la información usada tenga cierto sesgo debido a la subjetividad que cada persona proporciona en sus evaluaciones, pero al subdividirse el problema original en muchos pequeños subproblemas, el error que se comete al efectuar cada comparación entre alternativas es pequeño y, en cierta forma, todas las técnicas minimizan dicho error. El método obtiene la importancia relativa de cada elemento en cada uno de los estratos. En particular, la escala de valores asociada a los elementos del último estrato es la que corresponde a las alternativas o estrategias del problema de decisiones y, por tanto, la solución del problema original. Conviene aclarar que cada vez que se comparan entre sí los elementos de un estrato, respecto a un objetivo del estrato inmediato superior, se origina una matriz cuyo vector característico asociado al máximo valor característico, una vez normalizado, contiene la importancia de dichos elementos respecto al objetivo considerado. Cada uno de estos vectores se usa para formar una matriz asociada a los elementos que funcionaron como alternativas. Al final del proceso cada estrato tendrá asociada una matriz formada por vectores característicos que señalan la importancia de los componentes de dicho estrato, respecto a cada uno de los objetivos. Estas matrices se usan en el teorema 1 para obtener la importancia relativa de cada elemento, en cada estrato, pero ahora respecto a todos los objetivos que se encuentran en niveles superiores a éste. Por ejemplo, en la figura 2-5, la matriz  $A_k$  (estrato  $k = 4$ ) contiene  $n_{k-1} = 3$  vectores característicos  $v_i^k$ ,  $i = 1, 2, 3$ , cada uno de ellos asociado a los  $n_{k-1} = 3$  elementos que tiene el  $(k - 1)$  estrato.

El elemento  $v_2^k$  contiene el orden de importancia que guarda cada uno de los elementos del  $(k - 1)$  estrato respecto al objetivo  $O_2^{k-1}$  del  $(k - 1)$  estrato, y el vector  $v_1^{k-1}$  contiene las prioridades de los elementos del  $(k - 2)$  estrato, respecto al objetivo  $O_1^{(k-2)}$  del  $(k - 2)$  estrato, y así sucesivamente. Ninguno de estos vectores da la importancia de los elementos del estrato respecto a todos los objetivos contenidos en niveles superiores, esta información es la que se obtiene mediante el uso del teorema 1, relevancia que se obtiene fácilmente formando el producto matricial.

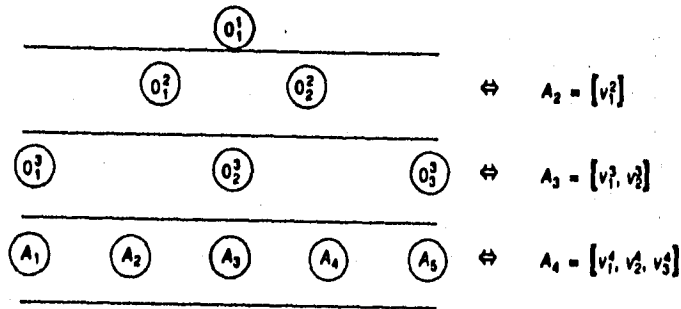


Figura 2.5: Formación de matrices que contiene como vector columna a la importancia relativa de los elementos de ese estrato, respecto a los objetivos del estrato inmediato superior.

$$W = \text{Relevancia total} = [v_1^k, \dots, v_{n_{k-1}}^k] \dots [v_1^3, \dots, v_{k_2}^3] [v_1^2] = \prod_{i=1}^{k-1} A_{i+1}$$

donde

$$A_i = [v_1^i, v_2^i, \dots, v_{n_{i-1}}^i]$$

Supóngase, a manera de ejemplo, que se tiene el problema mencionado en este capítulo, en el cual se poseen cinco alternativas de compra para escoger el PT. Las alternativas  $A_i$ , con  $i = 1, \dots, 5$ , las cuales constituyen el estrato inferior y cuatro atributos (T. Producto, T. Equipo, T. Proceso y T. Operación) que constituyen el estrato adyacente superior (véase la figura 2-6). Para este ejemplo se tendrían cuatro matrices de comparaciones, correspondientes a la comparación de cada elemento del estrato inferior, respecto a cada uno de los elementos del segundo estrato, y una más que da la comparación de cada uno de los elementos del segundo estrato respecto a un único en el tercero (Escoger el mejor Paquete Tecnológico).

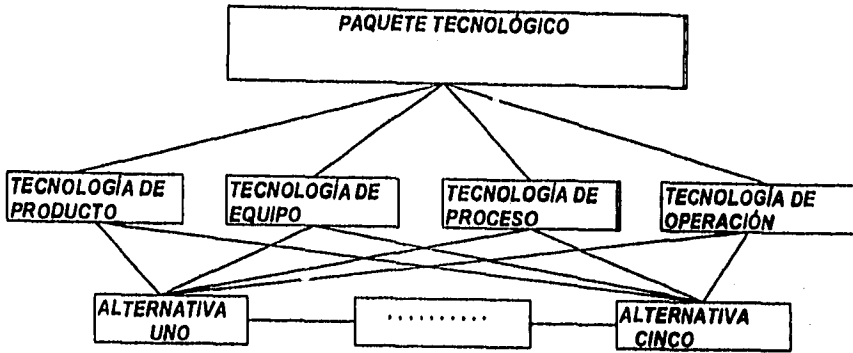


Figura 2.6: Diagrama de Selección del Paquete Tecnológico (PT).

Clarificando, el experto o grupo de expertos pondría su atención en el primer objetivo del segundo estrato (T. Producto) y se compararían cada una de las alternativas del tercer estrato entre sí, mediante el uso de una escala como la mostrada en la tabla 2. Ésta es resultado de la evaluación comparativa de más de 20 escalas con diferentes intervalos. La correspondiente a sólo nueve puntos resulta bastante adecuada, principalmente porque la mente humana sólo puede manejar 7 + 2 estímulos en forma simultánea, los cuales corresponden a las calificaciones 1, 2, . . . , 9 de la tabla mencionada. También se ha comprobado que a medida que los puntos de referencia se separan mucho entre sí, como podría ser el caso de una escala de calificación entre 1 y 1000, por ejemplo, la persona pierde el sentido de medida al comparar los estímulos.

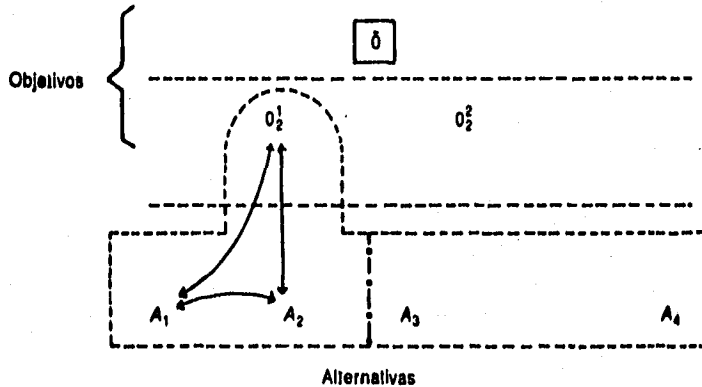


Figura 2.7: Modelo jerárquico con tres objetivos y cuatro alternativas

Así, en el caso ilustrativo de la figura 2-7, se comparan I contra II teniendo como objetivo la T. Producto. Los decisores deberán contestar cuál de ellas es la mejor alternativa para alcanzar el fin señalado y en qué intensidad

es mejor. Esto se hace escogiendo un valor de la tabla 2. Por ejemplo, en este caso se prefirió la alternativa II con una intensidad de 1/4, que es el término que aparece en el segunda renglón, primer columna de  $A_1$ . Siempre se comienza pivoteando del lado izquierdo. Esto es, al comparar los elementos del tercer nivel entre sí primero se pivotea en I y se compara contra II, luego contra III, etc. Ya que se terminó toda esta serie de comparaciones, generando el primer renglón de  $A_1$ , entonces se pivotea en II y se compara solamente contra los que están a su derecha, o sea contra III y así sucesivamente. Una vez obtenidas las matrices  $A_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ), el método evalúa los vectores y valores característicos asociados a cada sistema ( $w_i, \lambda_{máx}$ ), respectivamente. La relevancia final respecto a todos los atributos se obtiene formando la matriz  $A = (w_1, w_2, w_3, w_4)$ , multiplicándola por el vector característico  $w_5$  y normalizando como se mencionándola antes.

$$\text{Jerarquía final} = Aw_5 = w,$$

o sea

$$w = \begin{pmatrix} 0.115 & 0.034 & 0.521 & 0.564 \\ 0.402 & 0.539 & 0.235 & 0.209 \\ 0.284 & 0.250 & 0.147 & 0.132 \\ 0.163 & 0.121 & 0.038 & 0.040 \\ 0.037 & 0.056 & 0.059 & 0.055 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.053 \\ 0.491 \\ 0.238 \\ 0.218 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.270 \\ 0.387 \\ 0.201 \\ 0.086 \\ 0.055 \end{pmatrix}$$

La interpretación que tienen los vectores característicos es la siguiente: el vector  $w_1$  significa que en opinión del decisor (ficticio), la alternativa II tiene el papel más importante con respecto al criterio de Tecnología de Producto, ya que es percibida como la mejor, y en orden descendente están III, IV, I, y la V. Si se considera ahora el objetivo de Tecnología de Equipo (segundo nivel, vector  $w_2$ ), entonces el orden de importancia es: II, III, IV, V y I. Viendo el vector  $w_5$  el decisor piensa que si se considera el objetivo: Escoger el mejor Paquete Tecnológico, entonces ambiente de acuerdo con como se sienta el empresario lo más importante; en un orden descendente está T. Equipo, T. Proceso, T. Operación y T.Producto al último. Finalmente, si se observa al vector  $w$ , éste refleja la jerarquía de cada una de las alternativas (II, I, III, IV y V) respecto a todos los criterios (T. Producto, T. Equipo, T. Proceso y T Operación). Esto es, en opinión del decisor, se generará un orden de prioridades para cada uno de los criterios respectivos.





3. De manera similar se compara el segundo elemento (nuevo pivote)  $A_2$  contra todos los que están a su derecha, o sea,

Calificación	Alternativas
$A_2$ contra $A_3$	5
$A_2$ contra $A_4$	1/3

Similarmente se tiene:

Calificación	Alternativas
$A_3$ contra $A_4$	1/7

4. Se forma la matriz de comparaciones  $B_1$  dada por:

$$B_1 = \begin{pmatrix} & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ A_1 & 1 & 9 & 7 & 1/5 \\ A_2 & 1/9 & 1 & 5 & 1/3 \\ A_3 & 1/7 & 1/5 & 1 & 1/7 \\ A_4 & 5 & 3 & 7 & 1 \end{pmatrix}$$

Cabe observar tres cosas fundamentales

a) Los datos obtenidos se colocan por renglón (horizontalmente) a partir de la diagonal principal (1's encerrados en línea punteada) hacia la derecha. Por ejemplo, la comparación  $A_2$  contra  $A_3$  igual a 5 va en el segundo renglón, tercera columna. La  $A_3$  contra  $A_4$  que es igual a  $1/7$  va en el tercer renglón, cuarta columna, etcétera.

b) Obsérvese que todos los elementos en la diagonal principal es igual a 1. Representa la comparación de un elemento contra mismo, que de acuerdo con la escala de la tabla 2 es igual 1 (son igualmente importantes).

c) Los elementos abajo de la diagonal principal son los recíprocos de sus simétricos. Por ejemplo, el elemento  $a_{21}$  (segundo renglón primera columna) es igual al recíproco de  $a_{12}$  (elementos que está en el primer renglón segunda columna), o sea:

$$a_{21} = 1/a_{12}$$

$$= 1/9,$$

$$a_{31} = 1/a_{13}$$

$$= 1/7,$$

$$a_{41} = 1/a_{14}$$

$$= 1/(1/5),$$

$$a_{32} = 1/a_{23}$$

$$= 1/5,$$

etcétera.

Dicha matriz  $B_1$  contiene la información necesaria para conocer las relevancias de las alternativas respecto al objetivo  $O_2^1$  (primero objetivo del segundo estrato). No contiene la correspondiente información para conocer las importancias de las alternativas respecto de todos los objetivos ( $\tilde{O}, O_{jk}^k$ )  $k = 1, \dots, h, j_k = 1, \dots, n_k$ ; esta se obtendrá posteriormente.

5. Para conocer las relevancias deseadas con el uso de una calculadora de bolsillo se siguen los siguientes pasos:

a) Multiplíquense entre sí los elementos de la matriz  $B_1$  por renglones, o sea:

$$B_1' = \begin{pmatrix} A_1 & A_1 & A_2 & A_3 & A_4 \\ A_1 & 1 & 9 & 7 & 1/5 \\ A_2 & 1/9 & 1 & 5 & 1/3 \\ A_3 & 1/7 & 1/5 & 1 & 1/7 \\ A_4 & 5 & 3 & 7 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12.60 \\ 0.19 \\ 0.0040 \\ 4.2 \end{pmatrix}$$

b) Obténgase raíz cuarta (porque la dimensión de la matriz  $B_1$  es cuatro, es decir, tiene cuatro renglones y cuatro columnas) a cada componente de  $B_1$ .

$$B_1' = \begin{pmatrix} \sqrt[4]{12.60} \\ \sqrt[4]{0.19} \\ \sqrt[4]{0.0040} \\ \sqrt[4]{4.2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.88 \\ 0.66 \\ 0.25 \\ 1.43 \end{pmatrix}$$

Sí el número de alternativas fuera "n", entonces se sacaría la raíz n-ésima.

c) Súmense todas las componentes del vector  $B_1'$  y divídase cada elemento de  $B_1'$  por la suma, multiplicando por 100 (para tenerla relevancia en %).

$$C = 1.88 + 0.66 + 0.25 + 1.43 = 4.22$$

$$\text{Relevancias} = b = \begin{pmatrix} (1.88 \times 100)/4.22 \\ (0.66 \times 100)/4.22 \\ (0.25 \times 100)/4.22 \\ (1.43 \times 100)/4.22 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 44.55\% \\ 15.64\% \\ 5.92\% \\ 33.89\% \end{pmatrix}$$

Obsérvese que la suma de las relevancias debe de ser 100%, aproximadamente.

Este resultado expresa que, de acuerdo con las calificaciones dadas, la alternativa  $A_1$  tiene un 44.55% respecto al objetivo  $O_1^1$  y es, por tanto, la más importante; la  $A_4$  le sigue con un 33.89%,  $A_2$  y  $A_3$  con 15.64% y 5.92%, respectivamente. Estos valores proporcionan mucha más información a quien toma las decisiones que la sola enumeración de las alternativas. Cuando la dimensión de la matriz de comparaciones es mayor, la técnica numérica para evaluar las relevancias pierde precisión. En estos casos conviene usar el programa computacional escrito en "C" que se encuentra en el apéndice A.

6. De manera similar a los pasos 2 a 5, se genera el vector de relevancias  $b_2$ , cuyas componentes dan la importancia de las cuatro alternativas  $A_j$ , pero ahora respecto del objetivo  $O_2^2$ . Este vector podría ser, por ejemplo:

$$b_2 = \begin{pmatrix} 24.6\% \\ 30.4\% \\ 15.5\% \\ 29.5\% \end{pmatrix}$$

7. Ahora se comparan los dos objetivos entre sí como si fueran alternativas, usando la misma escala de la tabla 2, pero respecto a objetivo global  $\bar{O}$ . Supóngase por ejemplo, que al comparar  $O_2^2$  respecto de  $\bar{O}$  se tiene un valor de 7 en favor de  $O_2^2$ . Esto genera la matriz

$$\begin{pmatrix} \bar{O} & O_1^1 & O_2^2 \\ O_1^1 & 1 & 7 \\ O_2^2 & 1/7 & 1 \end{pmatrix}$$

Las relevancias de los objetivos se obtienen de manera similar a  $b_2$ , dando

$$\bar{O} = \begin{pmatrix} 88\% \\ 12\% \end{pmatrix}$$

Esto es, respecto del objetivo global  $\bar{O}$  el subobjetivo  $O_1^1$  más importante con una relevancia del 88%.

8. Finalmente, la relevancia global de las alternativas  $A_j$ , respecto de todos los objetivos, se obtiene siguiendo los siguientes pasos: a) Constrúyase la matriz B con los vectores de relevancias de las alternativas;

$$B = (b_1, b_2) = \begin{pmatrix} 44.55 & 24.6 \\ 15.54 & 30.4 \\ 5.92 & 15.5 \\ 33.89 & 29.5 \end{pmatrix}$$

b) Constrúyase el producto de la matriz de relevancias (paso a) por el vector de relevancias de los objetivos.

$$R' = B\tilde{O} = \begin{pmatrix} 44.55 & 24.6 \\ 15.54 & 30.4 \\ 5.92 & 15.5 \\ 33.89 & 29.5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 88\% \\ 12\% \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4215.6 \\ 1741.12 \\ 706.96 \\ 3336.32 \end{pmatrix}$$

c) Normalícese el vector  $R'$  respecto a la suma de todos sus componentes multiplicados por 100 (%).

$$C = 4215.6 + 1741.12 + 706.96 + 3336.32 = 10,000.$$

Éstas son las relevancias globales de las alternativas. La  $A_1$  tiene una importancia del 42%, la  $A_4$  le sigue en segundo lugar con un 33%, etcétera. Con las importancias obtenidas, el decisor tiene una panorámica más amplia y podrá, con un criterio más sistémico, tomar la mejor alternativa. La figura 2-6 se convierte ahora en la figura 2-9, con la incorporación de las importancias obtenidas.

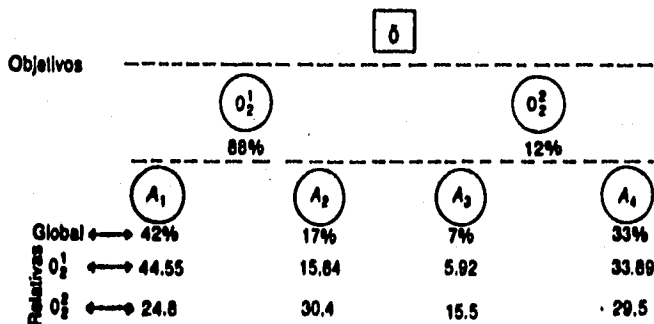


Figura 2.9: Prioridades relativas y globales

Sin embargo, el proceso que se presentó anteriormente se da cuando la decisión es en forma individual, por lo que se harán algunas sugerencias para el tratamiento a nivel de grupo. Esta fase es importante, ya que en el uso del diagnóstico tecnológico se puede presentar una situación de esta índole, cabe hacer notar que el programa desarrollado ya considera esta situación. A continuación se dan más detalles sobre el tema.

## 2.4 PROCESAMIENTO DE COMPARACIONES EN GRUPO

En este momento son oportunos algunos comentarios respecto a los valores de las comparaciones. En general, no es una sola persona la que asesora en las evaluaciones lo normal es que sea un grupo de expertos en el problema en cuestión. Tal es el caso de los círculos de calidad en donde son los integrantes de éste los que dan las evaluaciones. Por lo tanto si existen N personas habrá N valores en cada comparación y será necesario promediarlos. Supóngase que existen seis personas dando las evaluaciones o comparaciones dentro del círculo.

### 2.4.1 CASOS

1. Existe una sola evaluación atípica:

Calificaciones: 5, 7, 9, 7, 1/7, 3

Recomendación: Elimine el valor (1/7) y promedie los restantes como si sólo existieran cinco personas.

Promedio  $\bar{x} = (5 + 7 + 9 + 7 + 3)/5 = 6.2$ .

Este será el valor que se usará en la matriz de comparaciones.

2. Todos los datos son fracciones:

Calificaciones: 1/7, 1/5, 1/3, 1/4, 1/2, 1/7.

Promediación. Úsese la media aritmética; sume todas las evaluaciones y divida entre el número de ellas.

$\bar{x} = (1/7 + 1/5 + 1/3 + 1/4 + 1/2 + 1/7)/6 = 0.26$

3. Existen sólo fracciones y 1's:

Calificaciones:  $1/3, 1/5, 1, 1/3, 1/2, 1$ .

Promediación: Úsese la media aritmética:

$$\bar{x} = (1/3 + 1/5 + 1 + 1/3 + 1/2 + 1)/6 = 0.56$$

4. Existen enteros y fracciones:

Tal caso representa la situación en la que un grupo apoya una alternativa, problema u objetivo dependiendo de lo que se esté evaluando y otro la complementaria. En este caso es preferible pedir a un representante de cada grupo que exprese las razones por las cuales está haciendo tal preferencia y después se vuelva a votar con objeto de homogeneizar las calificaciones: todas enteras o todas fracciones. Si esto no es posible entonces úsese la media geométrica.

Calificaciones:  $1/3, 1/5, 1/7, 1/3, 3, 5$

$$\text{Promedio: } \bar{x} = \sqrt[6]{(1/3)(1/5)(1/7)(1/3)(3)(5)} = 0.6.$$

Esto se logra fácilmente con una calculadora que tenga la función  $y^x$ . Primero se hacen todas las multiplicaciones dentro del radicando; luego se obtiene el recíproco de 6 o sea  $1/6$  (para sacar raíz sexta) y finalmente se oprime la tecla que hace la función  $y$ .

La raíz geométrica de  $n$  datos  $X_j$  está dada por:

$$\bar{X} = \sqrt[n]{(X_1)(X_2)(X_3)\dots(X_n)}$$

Obsérvese que la media geométrica ciertamente equilibra calificaciones opuestas. Por ejemplo, si se tienen las calificaciones:  $1/7$  y  $7$  su raíz geométrica es

$$\bar{X} = \sqrt{(7)(1/7)} = 1$$

que es el origen de la escala (tabla 2) y representa igual importancia para ambos estímulos en comparación. Los valores promedio son los que finalmente se usan para formar las matrices de comparación.

Si el número de estratos es mayor que el ilustrado en este ejemplo el tratamiento es similar y sólo es necesario hacerlo con cuidado y en forma ordenada.

Al final del capítulo se proporciona un programa computacional para obtener las relevancias a partir del conocimiento de la dimensión del problema (número de alternativas) y del número de asesores que proporcionaron la información. Éste está en lenguaje C. El programa evalúa también el índice de consistencia de los datos para tener una idea de su calidad, se define por:

$$C.I. = \frac{\lambda_{m \times x} - n}{n - 1}$$

en donde  $\lambda_{m \times x}$  es el valor característico máximo de la matriz de comparaciones y  $n$  es la dimensión del problema. A medida que el índice se acerca a cero representa una mayor calidad o consistencia de los datos. En el caso ideal este índice tendrá un valor de cero; a medida  $\lambda_{m \times x}$  que se aleja del valor de  $n$  la calidad de la información se empeora.

#### 2.4.2 REDUCCIÓN DEL NÚMERO DE EVALUACIONES POR EL MÉTODO DE AGRUPAMIENTO (Saaty)

Es posible encontrar un problema que plantee un número tal de alternativas que, en primera instancia, sea imposible de resolver por el método de jerarquización analítica debido al gran número de comparaciones necesarias:  $n(n - 1)/2$ . Dada esta situación hay que replantear el problema de tal forma que facilite el diseño del instrumento o cuestionario con el cual facilitará la adquisición de la información para conocer la conformación del Paquete Tecnológico.

Durante el diseño del presente instrumento se uso este procedimiento para hacer más accesible el cuestionario y por lo tanto no llegara a ser tedioso por su tamaño y duración. A continuación se enuncia un método eficiente que reduce considerablemente el número de evaluaciones a obtener por parte de los expertos.

**Paso 1.** Divídase el número total de elementos  $n$  en siete grupos de igual tamaño, excepto quizás uno de ellos, de manera tal que:

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_7$$

De ser posible, trátase que cada grupo contenga elementos de alguna manera similar bajo una posible característica; esto facilitará el siguiente paso.

**Paso 2.** Compárese, o mejor dicho, sométanse los grupos formados a que se comparen entre sí por el grupo de expertos que asesoran el proyecto, considerando como si cada grupo fuera un elemento o actividad unitaria. De esta forma se tiene a lo más:  $7(7 - 1)/2 = 21$  comparaciones en esta primera etapa. Sea  $w(i)$  la importancia relativa encontrada para el "grupo  $i$ " que contiene  $n_i$  elementos, hallada resolviendo el problema de valores característicos como actualmente se ha hecho.



**Paso 3.** Disgréguese cada grupo formado en siete subgrupos como se realizó en el paso 1, de manera tal que:

$n_i = n_{j1} + n_{j2} + \dots + n_{j7}; i = 1, \dots, 7;$  en donde  $n_{ij}$  es el número de elementos que tiene el subgrupo  $j$  del grupo  $i$ -ésimo.

Tómese en cuenta la misma consideración de homogeneidad entre elementos de cada subgrupo como se hizo en el paso 1.

**Paso 4.** Sométase al grupo asesor los elementos de cada subgrupo para que se comparen entre sí respecto a la síntesis o nombre que se le ha dado al grupo que pertenecen. El número de comparaciones requeridas en esta etapa es de:  $7 \times 21 = 147$ , ya que se tienen otra vez siete subgrupos y en cada uno de éstos, siete actividades también, las cuales requieren 21 comparaciones.

**Paso 5.** Denótese por  $w(i, j)$  el valor o importancia que tiene el subgrupo  $j$  del grupo  $i$ , con elementos  $n_{ij}$ , encontrado por el método de jerarquización analítica.

**Paso 6.** El proceso se continua de la misma manera, subdividiendo cada subgrupo en otros más pequeños, de manera que en cada submodelo se tengan únicamente siete clases a comparar, excepto quizás en el último subgrupo formado con este proceso. Sea  $w(i_1, \dots, i_k)$ , la importancia relativa que posee el "elemento  $i_k$ ", generado en orden ascendente del grupo inicial  $i_1$ .

**Paso 7.** La importancia  $w_k$  que tienen cada uno de los elementos iniciales  $A_k$ , considerados al comenzar a formar las clases o subgrupos, está finalmente dada por el producto de las importancias que tienen cada uno de los subgrupos que lo contienen. Esto es, la importancia de la actividad  $A_k$ , cuando se han formado dos subclases que la contienen:  $i_1, i_2$ , antes de llegar a evaluar las actividades  $A_j$  propiamente está dada por:  
 $w_k = w(i_1)w(i_1, i_2)w(i_1, i_2, k)$ .

Ejemplo. Supóngase que se tienen 100 actividades  $A_i$ , de las cuales se desea conocer su importancia relativa  $w_i$  respecto a un objetivo particular "O", se forma entonces el siguiente diagrama de agrupamiento (figura 2.10).

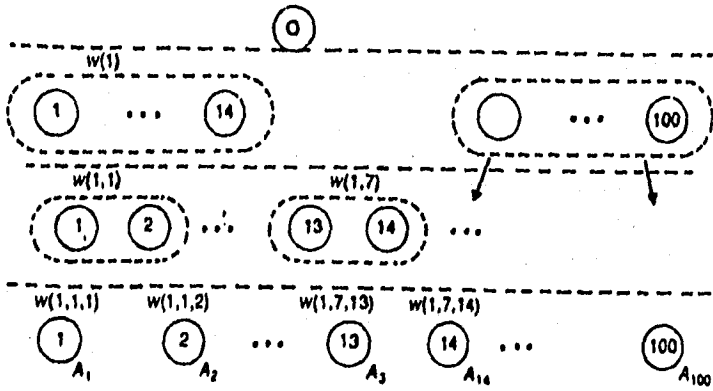


Figura 2.10: Diagrama de agrupamiento.

Así, la importancia que tienen las actividades  $A_1, A_2, A_{13}, A_{14}$ , por ejemplo, están dadas por:

$$\begin{aligned}
 w_1 &= (1)(1,1)(1,1,1) \\
 w_7 &= (1)(1,1)(1,1,2) \\
 w_{13} &= (1)(1,7)(1,7,13) \\
 w_{14} &= (1)(1,7)(1,7,14)
 \end{aligned}$$

en donde  $w(1)$  es la importancia del "grupo de actividades de la 1 a la 14", en el primer nivel respecto al objetivo "O", y  $w(7)$  es la importancia del "grupo de actividades de la 84 a la 100", respecto al mismo objetivo. Esto es, se evalúan o comparan grupos de actividades entre sí para conocer los valores de  $w(i)$ ,  $i = 1, \dots, 7$ . Posteriormente, cada grupo de 14 elementos se divide a su vez en siete subgrupos de dos alternativas cada uno, y se comparan entre sí, respecto a su relevancia como parte del grupo. Esto genera los valores de  $w(1,1)w(1,2)\dots w(1,7)$ . Finalmente, cada subgrupo de dos elementos se separa en sus dos actividades que lo integran para compararse cada par entre sí, respecto a su relevancia dentro del grupo, formando así una matriz de comparación de dos por dos para cada grupo, y generando las importancias:  $w(1,1,1)w(1,1,2); w(1,2,3), w(1,2,4), \dots$

$w(1, 7, 13)$ ,  $w(1, 7, 14)$ , para los elementos del primer grupo inicial.

Obsérvese que si se hubieran comparado cada una de las actividades entre sí desde el inicio, se hubiera requerido de:  $100(100 - 1)/2 = 4950$  evaluaciones. Sin embargo, por el método de agrupamiento, únicamente se requieren:

Segundo estrato -  $7(7 - 1)/2 = 21$  evaluaciones

Tercer estrato -  $7(7(7 - 1)/2) = 147$  evaluaciones

Cuarto estrato -  $2(50) = 100$  evaluaciones

Total = 268 evaluaciones.

La reducción total considerada por el agrupamiento es muy importante; no obstante, aún así, en casos prácticos es preferible agregar cualitativamente de manera tal que el número de actividades sea pequeño (10 ó 15, tal vez), aunque se formen varios estratos para modelar el problema. Es importante entender las interrelaciones entre las prioridades de cada elemento en cada estrato, así como entre los diversos estratos, por lo que éstas se enuncian a continuación.

a) Ya que cualquier estrato puede ser dividido en subconjuntos, no necesariamente separados, cada uno consistente de todos los elementos dominados por un elemento del estrato adyacente superior, se tiene que en cada uno de estos subconjuntos se genera un orden total; esto es, con relación al elemento dominante del estrato adyacente superior, el orden es reflexivo y antisimétrico, pero no necesariamente transitivo.

b) El orden de prioridad de un elemento en un estrato es la suma de sus prioridades en cada uno de los subconjuntos de la jerarquía a los cuales pertenece, cada uno pesado por la fracción de elementos del estrato que pertenece a ese conjunto.

c) La prioridad de un subconjunto en un estrato es igual a la suma de las prioridades de los elementos dominantes en el siguiente estrato.

Cuando el decisor no es uno solo, sino un grupo, entonces el método se extiende fácilmente de las siguientes maneras:

a) Promediando cada evaluación o entidad de la matriz de comparaciones. Esto se hace cuando el grupo es más o menos homogéneo tanto en sus conocimientos como en sus desconocimientos del tema en cuestión, como se mostró anteriormente.

b) Puede usarse un promedio pesado si se desea dar mayor importancia a la opinión de ciertas personas en la fase de evaluación de los componentes una de la matriz de comparación.

c) Promediar los vectores característicos resultantes de las matrices de comparación para cada decisor; esta forma es más conveniente cuando se

quiere preservar, en lo posible, las opiniones de un decisor(es) consistente(es) ( $(\lambda_{máx} - n)/(n - 1)$  es pequeño).

d) Finalmente, se puede efectuar un proceso interactivo en el cual se reúne a los expertos, y usando una técnica de la dinámica de grupos (como la TKJ o Delfos) se trata de obtener un consenso en la comparación de cada par de alternativas a través de un debate racional.

## 2.5 ASPECTOS FORMALES DEL PJA

Más específicamente, el objetivo del método es encontrar una escala de valores:  $w_1^i, \dots, w_n^i$ , para cada uno de los  $h$  estratos (que satisfaga las características de una jerarquía) y en base en el procesamiento de estos niveles, llegar a la punta de la pirámide u objetivo global (figura 2.11). El método se basa en comparaciones entre pares de alternativas ( $a_{ij}$ ) del mismo estrato, respecto a cada elemento del estrato adyacente superior, proporcionadas por el experto, las cuales resultan ser aproximaciones a la escala de valores  $w_i/w_j$ . Tiene como características principales: a) Ser estable, pequeñas alteraciones en las evaluaciones originan pequeños cambios en la escala de valores  $w_i$ , y grandes perturbaciones originan grandes cambios en  $w_i$ ; b) las preferencias no necesitan ser transitivas  $C_1$  preferido a  $C_2$  y  $C_2$  preferido a  $C_3$  no implica  $C_1$  es preferido a  $C_3$ , lo cual es una característica usual en algunos problemas de decisiones. c) Admitir hasta un 20% de inconsistencias sin cambiar el orden prioritario de las alternativas. Si las evaluaciones personales  $a_{ij}$  son exactas, en la práctica nunca lo son, entonces se tienen las siguientes propiedades o relaciones:

$$a_{ij} = w_i/w_j. \quad (1)$$

Cuando se alcanza esta propiedad se tiene lo que se conoce como consistencia de la matriz de comparaciones, sus componentes deben satisfacer:

$$a_{ij}a_{jk} = a_{ik} \quad (2)$$

Las ecuaciones anteriores implican entonces que  $a_{ji} = w_i/w_i = 1$  y  $a_{ij}a_{ji} = a_{ii} = 1$ , o sea que:

$$a_{ji} = 1/a_{ij} \quad (3)$$

Cuando se tiene consistencia en la matriz de comparaciones  $A$ , entonces su rango es unitario, ya que cada elemento  $a_{ij}$  puede determinarse por medio de los elementos del primer renglón

$$a_{ij} = a_{1j}/a_{1i}, \quad i, j = 1, \dots, (4)$$

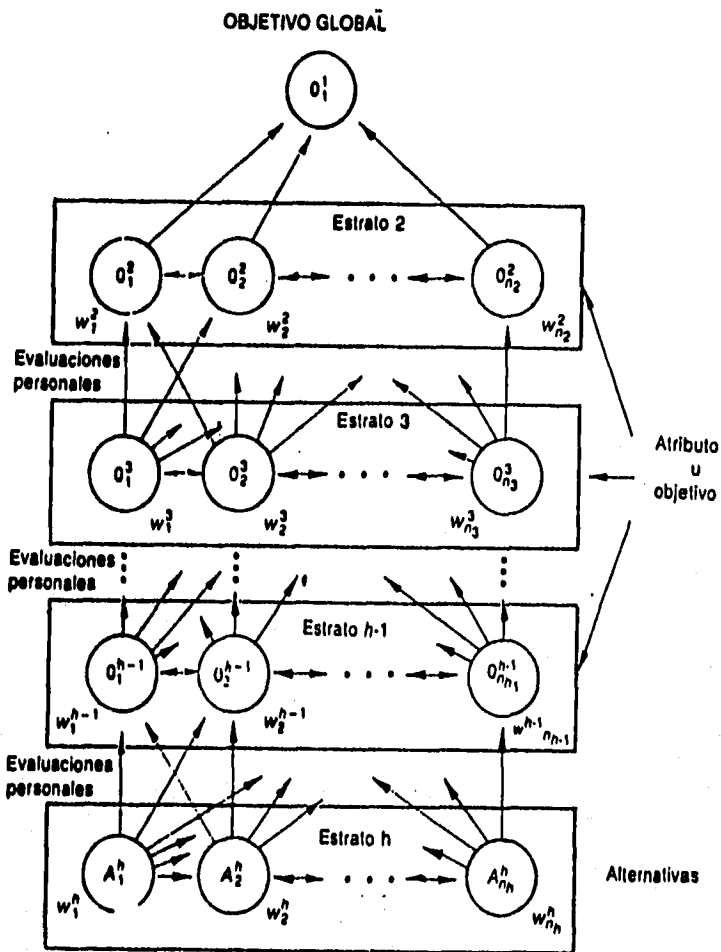


Figura 2.11: Ilustración gráfica de una jerarquía de "h" estratos.

En este caso, el único vector característico asociado al único valor característico diferente de cero de la matriz  $A$  es cualesquier columna de  $A$ .

Desde el punto de vista de recopilación de información significaría que el experto sólo tendría que comparar la primera actividad con el resto (primer renglón de  $A$ ) y el total de la matriz se llenaría usando la fórmula (4).

¿Cómo es que llega a generar un problema de valores característicos? Obsérvese que al multiplicar  $a_{ij}$  por  $w_j$  se tiene:  $a_{ij}w_j = (w_i/w_j)w_j = w_i$ . Por lo tanto, el producto del  $i$ -ésimo renglón de la matriz  $A$  por el vector  $w = (w_1, \dots, w_n)$  da  $\sum_{j=1}^n a_{ij}w_j = nw_i$ , lo que implica que  $Aw = nw$ . El problema de obtener los valores  $w_i$ , se convierte, entonces, en uno de encontrar el vector característico  $w$  de la ecuación anterior. Sin embargo, esto supondría que existe transitividad y que las evaluaciones son exactas, lo cual no conforma al pensamiento humano. No se insiste entonces en la transitivi-

dad y, por lo tanto, el experto deberá proporcionar todas las comparaciones correspondientes a los elementos de la matriz triangular superior (o inferior),  $n(n-1)/2$  comparaciones para cada objetivo, y el resto de la matriz se llena usando con los recíprocos de los vectores simétricos para mejorar la consistencia de los datos. Si se relaja la condición de transitividad, entonces,  $a_{ij}$  no será exactamente igual a  $w_i/w_j$ , pero si a un valor aproximado. Por la misma razón, la ecuación:  $Aw = nw$ , se reemplazará por

$$Aw = \lambda_{máx} w. \quad (5)$$

De esta forma, para encontrar  $w$  será necesario resolver la ecuación anterior, dada la matriz de evaluaciones  $A$ . De la teoría de matrices se sabe que, para el caso en el cual se tiene consistencia, el valor característico más grande (y el único diferente de cero) es igual a la traza de la matriz  $A$ , o sea, a la suma de los elementos a lo largo de su diagonal principal (que son 1, ya que  $a_{jj} = 1$ ); por tanto,  $\lambda_{máx} = n$ , y el resto es igual a cero, ya que el rango de  $A$  es unitario. Si se usa ahora la propiedad de estabilidad del modelo, se puede decir que cuando no se tiene consistencia a lo largo de toda la submatriz (triangular superior o inferior) y que las valoraciones no son exactas (no se satisface la ecuación 4 el valor de  $\lambda_{máx}$  no será exactamente igual a  $n$ ), pero si un valor cercano debido a que en este tipo de matrices (antisimétricas) los valores característicos son una función continua de los elementos de la matriz, como lo fue la igualdad entre  $\lambda_{máx}$  y la traza de  $A$ .

De la teoría de Frobenius se establece que existe un único vector  $w > 0$  y un único  $\lambda_{máx} > 0$ , si  $A$  es no negativa ( $x'Ax > 0$ , para todo vector  $x \neq 0$ ), y además es irreducible (tiene rango  $n$ ). La escala de valores buscada se obtiene al dividir cada uno de los elementos del vector  $w$  (solución a la ecuación 5) por  $\sum_{i=1}^n w_i$ .

Ahora se desarrollará la fundamentación teórica ya una vez vistos los principios de descomposición, juicios comparativos y sintetización de prioridades.

Sea  $\Omega$  un conjunto finito de  $n$  elementos llamados alternativas. Sea  $\Phi$  el conjunto de prioridades o atributos con respecto a los elementos que son comparados en  $\Omega$ . Nos vamos a referir a los elementos de  $\Phi$  como criterio. El criterio es la base para estructurar los niveles.

Se desarrolla una comparación binaria de elementos en  $\Omega$  de acuerdo al criterio en  $\Phi$ . Sea  $>_c$  la relación binaria en  $\Omega$  representando "más preferida que" con respecto al criterio  $C$  en  $\Phi$ . Sea  $\sim_c$  la relación binaria de "indiferencia a" con respecto al criterio  $C$  en  $\Phi$ . Entonces, dados dos elementos  $A_i, A_j \in A$ , también conocido como  $A_i >_c A_j$  o  $A_j >_c A_i$  o

$A_j \sim_c A_i, \forall C \in \Phi$ . Se usa  $A_i >_{\sim c} A_j$  para indicar que es preferida o indiferente. Dada una familia de relaciones binarias con respecto a el criterio  $C$  en  $\Phi$  es el primitivo o básico.

En otras palabras un conjunto ordenado  $S$  con una relación binaria  $>_c$  satisface las propiedades:

- Reflexiva: Para toda  $x, x \leq x$
- Antisimétrica: Si  $x \leq y$  y  $y \leq x$  entonces  $x = y$ .
- Transitiva: Si  $x \leq y$  y  $y \leq z$  entonces  $x \leq z$ .

Sea  $\beta$  un conjunto que mapea de  $\Omega \times \Omega$  a  $R^+$  ( el conjunto de los reales positivos ). Sea  $f : C \rightarrow \beta$ . Sea  $P_c \in f(\Phi)$  para  $C \in \Phi$ .  $P_c$  asigna un número real positivo a cada pareja  $(A_i, A_j) \in \Omega \times \Omega$ . Sea  $P_c(A_i, A_j) \equiv a_{ij} \in R^+, A_i, A_j \in \Omega$ . Para cada  $C \in \Phi$ , la terna  $(\Omega \times \Omega, R^+, P_c)$  es una escala fundamental primitiva. Una escala fundamental es aquella que mapea los objetos a un sistema numérico.

**Definición.-** Para  $A_i, A_j \in \Omega$  y  $C \in \Phi$ , sucede lo siguiente:

$$A_i >_c A_j \text{ si } P_c(A_i, A_j) > 1$$

$$A_i \sim_c A_j \text{ si } P_c(A_i, A_j) = 1$$

Si  $A_i >_c A_j$ , se dice que  $A_i$  domina a  $A_j$  con respecto a  $C \in \Phi$ . Entonces,  $P_c$  representa la intensidad o la fuerza de preferencia de una alternativa sobre la otra.

**Axioma 1.-** (El axioma del recíproco)

Para toda  $A_i, A_j \in \Omega$  y  $C \in \Phi$ ,

$$P_c(A_i, A_j) = 1/P_c(A_j, A_i).$$

Este axioma dice que la comparación de matrices construidas son formadas por parejas de comparación recíprocas, por ejemplo, si una piedra se dice que es cinco veces mas pesada que otra, entonces la otra se dirá que es una quinta parte de pesada que la primera. Es así de sencillo y poderosa las bases del PJA.

Sea  $A = (a_{ij}) \equiv (P_c(A_i, A_j))$  el conjunto de parejas ordenadas de las alternativas con respecto a un criterio  $C \in \Phi$ . Por definición de  $P_c$  y el Axioma 1,  $A$  es una matriz positiva recíproca. El objeto es obtener una escala relativa de dominancia (jerarquización) de las alternativas del conjunto de comparaciones dadas en  $A$ .

Ahora se mostrará como obtener una jerarquización relativa del conjunto de alternativas de la matriz de comparaciones  $\Lambda$ . Sea  $R_{M(n)}$  el conjunto de las matrices de recíprocos positivos de orden  $A = (a_{ij})_{n \times n} \equiv (P_c(A_i, A_j))_{n \times n}, \forall C \in \Phi$ . Sea  $[0, 1]^n$  el  $n$ -ésimo producto cartesiano de  $[0, 1]$  y sea  $W : R_{M(n)} \rightarrow [0, 1]^n$ . La terna  $(R_{M(n)}, [0, 1]^n, W)$  es la escala buscada. Una escala derivada es cuando se mapea entre dos sistemas numéricos relacionados.

Un aspecto importante es el de la consistencia en el PJA. Si se tiene una escala para una determinada propiedad intrínseca en los objetos y medidas, entonces sus pesos relativos se respetaran con respecto a esta propiedad compuesta. En este caso no hay inconsistencia en el juicio (incluso si uno tiene una escala psicológica y se aplica a objetos aparejados y después se derivan el orden de prioridad en la escala de la matriz de comparaciones, es igualmente posible que ahora aparezcan inconsistencias en este acto al aplicar dicha escala y después podría haber inconsistencias). Pero cuando se comparan con respecto a una propiedad la cual no esta establecida la escala o medición, se tratará de obtener a partir de comparaciones por parejas en un solo momento. Dado que los objetos pueden estar involucrados en más de una comparación se puede dar el caso que la escala deja de ser adecuada para la asignación de los pesos relativos por lo que podrán ocurrir inconsistencias. En el PJA la consistencia se define de la siguiente forma y se puede dar una medida de inconsistencia (sección 2.7).

**Definición.-** El mapeo de  $P_c$  se dice que es consistente si

$$P_c(A_i, A_j)P_c(A_j, A_k) = P_c(A_i, A_k) \forall i, j, k.$$

Similarmente, la matriz  $A$  es consistente si  $a_{ij}a_{jk} = a_{ik} \forall i, j, k$ .

Ahora se prosigue con la estructura jerárquica en los Axiomas 2-4 y a las definiciones relacionadas a estas.

**Definición.-** En un conjunto parcialmente ordenado, se define  $x < y$  dando a entender que  $x < y$  y  $x \neq y$ ;  $y$  se dice que es cubierta (dominada) por  $x$  si  $x < y$ ,  $x < t < y$  no es posible para ninguna  $t$ . Usaremos la notación  $x^- = \{y | y \text{ domina a } x\} = \{y | y < x\}$  y  $x^+ = \{y | y \text{ domina a } x\} = \{y | x < y\}$ , para cualquier elemento  $x$  en el conjunto ordenado.

Un conjunto ordenado con un número finito de elementos puede ser representada convenientemente por una gráfica dirigida. Cada elemento del sistema puede ser representado por un vértice, por lo tanto un arco es dirigido de  $x$  a  $y$  si  $y < x$ .

**Definición.-** Un subconjunto  $E$  de un conjunto  $S$  se dice que esta acotado por arriba por un elemento  $s \in S$  tal que  $x \leq s \forall x \in E$ . El elemento



$s$  es llamado cota superior de  $E$ . Entonces  $E$  tiene una cota superior y si el conjunto de cotas superiores  $U$  tiene un elemento  $u_1$  tal que  $u_1 \leq u \forall u \in U$ . El elemento  $u_1$  es único y es llamado supremo de  $E$  en  $S$ .

**Definición.-** Sea  $H$  un conjunto finito parcialmente ordenado. Luego, entonces  $H$  es una jerarquía si ella satisface las siguientes condiciones:

(a) Existe una partición de  $H$  en conjuntos  $L_k, k = 1, \dots, h$ , para alguna  $h$  donde  $L_1 = \{b\}$ ,  $b$  es un solo elemento.

(b)  $x \in L_k$  implica  $x^- \in L_{k+1}, k = 1, \dots, h-1$ ;

(c)  $x \in L_k$  implica  $x^+ \in L_{k-1}, k = 2, \dots, h$ .

La noción de escalas fundamentales y derivadas puede ser extendida a  $x \in L_k$  y  $x^- \in L_{k+1}$ , reemplazando Criterios y Alternativas, respectivamente. La escala derivada resultante de las comparaciones de los elementos en  $x^-$  con respecto a  $x$  se conoce como escala derivada local o prioridad local para los elementos en  $x^-$ . (Figura 2-12).

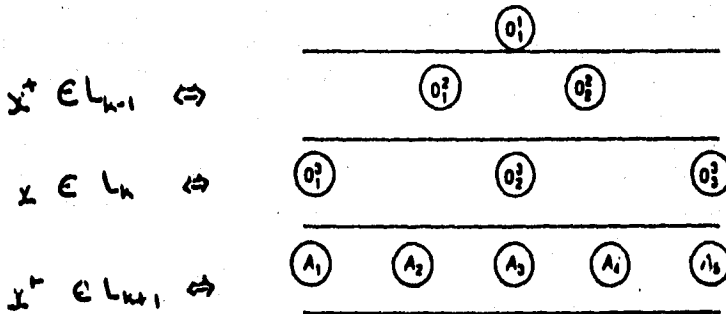


Figura 2.12: Definición 15

Una jerarquía es un conjunto  $H$  con una partición de  $L_k$  en conjuntos separados, llamados los estratos de la jerarquía, tal que:

1.  $H$  es un conjunto totalmente ordenado; es una cadena, es decir, un conjunto cuyos elementos están completamente ordenados respecto a un orden simple en sus estratos, de tal manera que nos podemos referir al estrato superior e inferior en este orden.

2. Cada elemento de un estrato superior domina al menos un elemento del estrato inmediato inferior.

El problema de valores característicos usado en este inciso para jerarquizar un conjunto de alternativas es una manera de producir el orden total de la definición de una jerarquía

**Definición.-** Dado un numero real positivo  $\rho \geq 1$ , y un conjunto no vacío  $x^- \subseteq L_{k+1}$  se dice que es  $\rho$ -homogeneo con respecto a  $x \in L_k$  si para todo par de elementos  $y_1, y_2 \in x^-$ ,  $1/\rho \leq P_c(y_1, y_2) \leq \rho$ . En particular el recíproco del axioma implica que  $P_c(y_i, y_i) = 1$ .

**Axioma 2.-** (la homogeneidad del axioma)

Dada una jerarquía  $H$ ,  $x \in H$  y  $x \in L_k$ ,  $x^- \subseteq L_{k+1}$ ,  $\rho$ -homogeneo para  $k = 1, \dots, h-1$ .

Homogeneidad es esencial para comparaciones significativas, como la mente no puede comparar una gran cantidad de elementos. Por ejemplo, no se puede comparar un grano de arena con una naranja de acuerdo con su tamaño. Cuando la disparidad es tan grande, los elementos deben ser puestos en clases separadas en las cuales puedan ser comparables en su tamaño o en diferentes niveles todos juntos.

Dados  $L_k, L_{k+1} \subseteq H$ , se denotará la prioridad local para  $y \in x^-$  y  $x \in L_k$  por  $\Psi_{k+1}(y/x)$ ,  $k = 2, \dots, h-1$ . Sin perdida de generalidad se asume que  $\Psi_{k+1}(y/x) = 1$ . Considere la matriz  $\Psi_{k+1}(L_k/L_{k-1})$  cuyas columnas son las prioridades locales de los elementos en  $L_k$  con respecto a los elementos en  $L_{k-1}$ .

**Definición.-** Un conjunto  $A$  se dice que es dependiente externo en un conjunto  $C$  si una escala fundamental puede ser definida en  $A$  con respecto a cada  $C \in \Phi$ .

El proceso de relacionar elementos (ie, alternativas) en un nivel de la jerarquía de acuerdo con los elementos del siguiente nivel (ie, criterios) expresa la dependencia (la cual es llamada dependencia externa) de los elementos inmediatos del nivel superior con los niveles consecutivos así que la comparación puede ser hecha entre ellos. Los siguientes pasos son repetidos hacia arriba de la jerarquía a través de cada uno de los niveles adyacentes hasta llegar al elementos superior, objetivo general o focal.

**Definición.-** Sea  $\Omega$  externo dependiente en  $\Phi$ . Los elementos en  $\Omega$  se dicen que son interdependientes con respecto a  $C \in \Phi$  para alguna  $A \in \Omega$ ,  $\Omega$  es externo dependiente en  $A$ .

**Axioma 3.-** Sea  $H$  una estructura jerárquica con niveles  $L_1, L_2, \dots, L_h$ . Para cada  $k = 1, 2, \dots, h-1$  (figura 2-13):

(1)  $L_{k+1}$  es externo dependiente de  $L_k$ ;

- (2)  $L_{k+1}$  no es interdependiente con respecto a todas  $x \in L_k$ ;
- (3)  $L_k$  no es externo dependiente en  $L_{k+1}$ ;

**Axioma 4.-** (El axioma de las expectativas)

$$C \subset H - L_h, A = L_h$$

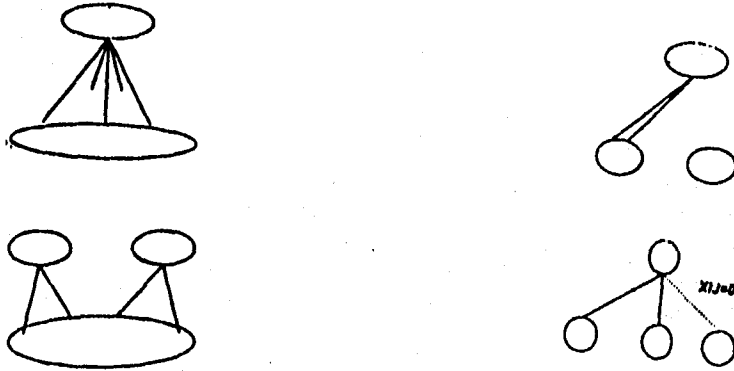


Figura 2.13: Axioma 3

Este axioma es meramente el antecedente de que los individuos que tienen sus razones y creencias se aseguraran de que sus ideas queden realmente expresadas en el modelo. Todas las alternativas, criterios y expectativas (implícitas y explícitas) pueden y deben ser representadas en la estructura jerárquica. **Este axioma no asume racionalidad.** La gente sabe que a veces tiende a expectativas irracionales y estas pueden ser acomodadas. Basados en los conceptos del axioma 3 podemos ahora definir una función de peso. para cada  $x \in H$ , se puede usar una función de peso (que naturalmente depende de el fenómeno de la jerarquización estructurada):

$$W_x : x^- \rightarrow [0, 1] \text{ tal que } \sum_{y \in x^-} W_x(y) = 1.$$

Note que cuando  $h = 1$  es el último nivel para el cual  $x^-$  no es vacío.

Los conjuntos  $L_i$  son los niveles de la jerarquía, y la función  $W_x$  es la función de prioridad de los elementos de un nivel con respecto al objetivo  $x$ . Se observa que si  $x^- \neq L_k$  (para algún nivel  $L_k$ ),  $W_x$  puede ser definida para todos los niveles  $L_k$  dando el valor de cero a todos los elementos en  $L_k$  que no están en  $x$ . La función de pesos es una de las contribuciones más significativas sobre la aplicación de la teoría de la jerarquización.

La pregunta central sería:

**Problema Básico.** Dado cualquier elemento  $x \in L_\alpha$ , y un subconjunto  $S \subset L_\gamma$ , ( $\alpha < \gamma$ ), como definiremos a la función  $W_{x,S} : S \rightarrow [0, 1]$  la cual refleja las propiedades de la función de prioridades en los niveles  $L_k$ ,  $k = \alpha, \dots, \gamma - 1$ . Específicamente, cual es la función  $W_{b,L_h} : L_h \rightarrow [0, 1]$ ?

En términos menos técnicos, esto puede ser parafraseado de la siguiente manera:

Dado un sistema social (o económico) con un objetivo principal  $b$ , y un conjunto  $L_h$  de actividades básicas, tal que el sistema se puede modelar como una jerarquía con el elemento más lejano  $b$  y cuyo último nivel  $L_h$ . Cuales son las prioridades de los elementos en cualquier nivel y en particular aquellos en  $L_h$  con respecto a  $b$ ?

Visto desde el punto de vista de optimización, la localización de los recursos hacia para una industria prioritaria puede depender del flujo de material de otra industria no tan prioritaria. En una red óptima, la prioridad de los elementos permite a uno construir la función para maximizar, en otras estructuras jerárquicas el soporte de información nos da las restricciones, ie, las relaciones de entradas y salidas.

Ahora se presenta un método para resolver el problema básico. Se asume que  $Y = \{y_1, \dots, y_{m_k}\} \subset L_k$  y  $X = \{x_1, \dots, x_{m_{k+1}}\} \subset L_{k+1}$ . Sin perdida de generalidad asumimos que  $X = L_{k+1}$ , y que hay un elemento  $z \in L_k$  tal que  $y_i \in z^-$ . Luego considerando la función de prioridad  $W_z : Y \rightarrow [0, 1]$  y  $W_{y_j} : X \rightarrow [0, 1]$  para  $j = 1, \dots, m_k$ .

Construyendo la función de prioridad de los elementos de  $X$  con respecto a  $z$ , denotamos  $w$ ,

$w : X \rightarrow [0, 1]$ , por

$$w(x_i) = \sum_{j=1}^{m_k} w_{y_j}(x_i)w_z(y_j), \text{ para } j = 1, \dots, m_{k+1}$$

Es obvio que este proceso no es mas que observar el peso de influencia del elemento  $y_j$  en la prioridad de  $x_i$  y luego este con respecto a  $z$ .

El algoritmo involucrado será simplificado si uno combina el  $w_{y_j}(x_i)$  en la matriz  $B$  poniendo como elementos  $b_{ij} = w_{y_j}(x_i)$ . Si ahora tomamos cualquier otro conjunto  $w_i = w(x_i)$  y  $w'_j = w_z(y_j)$ , entonces la formula anterior se convierte

$$w_i = \sum_{j=1}^{m_k} b_{ij}w'_j \text{ para } j = 1, \dots, m_{k+1}$$

Entonces, uno puede hablar del vector de prioridades  $w$  y además de la matriz de prioridades  $B$  del  $(k + 1)$  -ésimo nivel, la cual da la siguiente formulación.

$$w = Bw'$$

**Teorema 1.-** Sea  $H$  una jerarquía completa como elemento más lejano a  $b$  y  $h$  niveles. Sea  $B_k$  la matriz de priorización del nivel  $k$ -ésimo,  $k = 1, \dots, h$ . Si  $w'$  es el vector de prioridades del  $p$  -ésimo nivel con respecto a algún elemento  $z$  en el  $(p - 1)$  -ésimo nivel, entonces el vector de prioridades  $q$  del  $q$  -ésimo nivel ( $p < q$ ) con respecto a  $z$  esta dado por

$$w = B_q B_{q-1} \dots B_p w'$$

Entonces, el vector de prioridades para el nivel más bajo con respecto al elemento  $b$  esta dado por:

$$w = B_h B_{h-1} \dots B_2 b_1$$

si  $L_1$  tiene un solo elemento,  $b_1 = 1$ . De otra forma  $b_1$  es el vector descrito. Nosotros notamos que el proceso de comparación por parejas puede tomar formas no lineales. Éstas son tomadas en cuenta por el proceso de jerarquización o pesos.

## 2.6 SISTEMAS EN REDES DE TRABAJO

A veces las alternativas dependen de los criterios y los criterios de las alternativas y podrá haber **ciclos conexos**, los dos que son más estudiados son los de la retroalimentación. El PJA ha sido generalizado para lidiar con la retroalimentación aunque aquí no se abordará el tema; sin embargo, la gente generalmente prefiere simplificar y arreglar su pensamiento en términos de estructuras jerárquicas lineales y más si sus respuestas son solamente aproximaciones.

Una red de trabajo es un conjunto de nodos (cada uno consiste de un conjunto de elementos) y un conjunto de arcos o aristas que indican el orden de interacción entre los componentes. Las prioridades de los elementos en cada nodo son componentes del eigenvector principal de la matriz de comparaciones del impacto relativo de estos elementos con respecto a los

elementos o nodos con el cual interactúan. La interacción es indicada por un arco en la red. Todos estos eigenvectores definen lo que es conocido como la supermatriz de prioridades e impactos. Dado el peso del eigenvector correspondiente a cada elemento por la prioridad del componente en el sistema, la supermatriz es transformada en una matriz estocástica. El impacto límite que se puede obtener es calculándose matrices de orden superior.

Desde un punto de vista formal se tiene lo siguiente:

**Definición.-** Un conjunto parcialmente ordenado  $S$  es un sistema en red si

- (a) Hay una partición de  $S$  en conjuntos  $C_k, k = 1, \dots, s,$
- (b) Hay un orden en  $C_k, k = 1, \dots, s,$  tal que  $x \subseteq C_k$  implica que  $x^-$  o  $x^+$  esta en  $C_{k_j}^k$  para alguna  $k_j$ , o también  $x^- \subseteq C_{k_j}, x^+ \subseteq C_k,$  para una o varias  $k_j.$
- (c) Para cada  $x \in S,$  hay una función de pesos

$$w_x : x^- \rightarrow [0, 1]$$

tal que

$$\sum_{y \in x^-} w_x(y) = 1$$

y para  $C_k \subseteq S, k = 1, \dots, s,$  hay una función

$$w_{(k)} : C_k^- \rightarrow [0, 1]$$

donde  $C_k^- = \{C_h | C_h \text{ domina a } C_k\}$  (figura 2.14)..

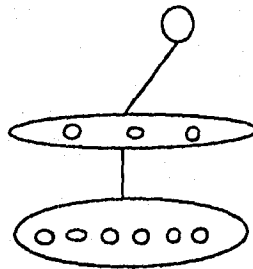


Figura 2.14: Sistema en Redes de Trabajo.

Ahora se procederá a mostrar la forma de hacer los cálculos para los pesos y el índice de inconsistencia.

## 2.7 SOLUCIÓN DEL EINGENVECTOR, PESOS Y CONSISTENCIA

Hay una gran cantidad de maneras de las cuales se puede conseguir el vector de prioridades de la matriz  $(a_{ij})$ . Pero se quiere hacer énfasis en la consistencia que nos da el método de eigenvalores.

Si  $a_{ij}$  representa la importancia de la alternativa  $i$  sobre la  $j$  y  $a_{jk}$  representa la importancia de la alternativa  $j$  sobre la  $k$  entonces  $a_{ik}$ , la importancia de la alternativa  $i$  sobre la alternativa  $k$ , deberá ser igual a  $a_{ij}a_{jk}$  para que los juicios sean consistentes. Si no se tiene una escala, o no se tiene convenientemente, como en el caso de algunas medidas ya estandarizadas, no se puede precisar los valores de  $w_i/w_j$  y solamente se podrán aproximar. El problema surge de  $A'w' = \lambda_{\max}w'$ , donde  $\lambda_{\max}$  es el mayor o el valor principal del eigenvalor de  $A' = (a'_{ij})$  que es el valor perturbado de  $A = (a_{ij})$  con  $a'_{ij} = 1/a_{ji}$  forzado. El proceso se detiene cuando la diferencia entre las componentes del vector de prioridades obtenido en el nivel  $k - \text{ésimo}$  y  $(k + 1)$  nivel es tan pequeña como un valor predeterminado.

En una forma sencilla para obtener la aproximación de las prioridades es normalizando por medias geométricas sobre las filas este resultado coincide con el eigenvector para  $n \leq 3$ . Una segunda forma de obtener una aproximación es normalizando los elementos de cada columna de la matriz de juicios y luego haciendo un promedio sobre cada fila.

Hay que hacer notar la importancia de las aplicaciones cuando solamente se use el eigenvector porque las aproximaciones pueden llevar a rangos inversos en vista de la cercanía del resultado del eigenvector. Hay una forma fácil de probar que para una  $x$  estimada arbitraria del vector de prioridades,

$$\lim_{k \rightarrow \infty} (1/\lambda_{\max}^k) A^k x = cw$$

donde  $c$  es una constante positiva y  $w$  es el principal eigenvalor de  $A$ . Esto puede ser interpretado a grosso modo diciendo que si empezamos estimando y operando sucesivamente  $A/\lambda_{\max}$  para la obtención de nuevas aproximaciones, el resultado converge a una constante la cual es múltiplo del principal eigenvector.

Una forma sencilla de obtener el valor exacto ( o estimado ) de  $\lambda_{\max}$  cuando el valor exacto (o estimado) de  $w$  esta al alcance con tan solo normalizar y agregar a las columnas de  $A$  y multiplicar el vector resultante con el vector  $w$ . El número resultante es  $\lambda_{\max}$  (o estimado). Esto se sigue de:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j = \lambda_{\max} w_i$$

y

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j = \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^n a_{ij} \right) w_j = \sum_{i=1}^n \lambda_{\max} w_i = \lambda_{\max} \sum_{i=1}^n w_i$$

donde

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

El problema ahora, que tan buena es la estimación del vector principal estimado  $w$ ? Note que si se obtiene  $w = (w_1, \dots, w_n)$  resolviendo el problema, la matriz cuyas entradas son  $w_i/w_j$  es una matriz consistente la cual es la estimación de la matriz  $A$ . La matriz original  $A$  por sí sola no necesita ser consistente. De hecho, las entradas de  $A$  no necesitan ser transitivas; ie,  $A_1$ , puede ser preferido sobre  $A_2$  y  $A_2$  sobre  $A_3$  pero  $A_3$  puede ser preferido sobre  $A_1$ . Lo que deseáramos medir es el error dado por la inconsistencia. Puede observarse que  $A$  es consistente si  $\lambda_{\max} = n$  y que normalmente tendremos  $\lambda_{\max} \geq n$  debido a inconsistencias. Esto sugiere usar  $\lambda_{\max} - n$  como un estimador para la inconsistencia.. Pero

$$\lambda_{\max} - n = - \sum_{i=2}^n \lambda_i, \quad \lambda_{\max} = \lambda_1,$$

donde  $\lambda_i, i = 1, \dots, n$  son los eigenvalores de  $A$ . Nosotros adoptamos el valor  $(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$ , el cual es un promedio (negativo) de los  $\lambda_i, i = 2, \dots, n$  (algunos de los cuales son valores complejos).

Es interesante notar que  $2(\lambda_{\max} - n)/(n - 1)$  es la variancia del error en que se incurre al estimar  $a_{ij}$ . Esto se puede mostrar escribiendo

$$\begin{aligned} a_{ij} &= (w_i/w_j) \varepsilon_{ij}, \quad \varepsilon_{ij} > 0 \text{ y} \\ \varepsilon_{ij} &= 1 + \delta_{ij}, \quad \delta_{ij} > -1, \\ \text{Var}(a_{ij}) &= 2(\lambda_{\max} - n)/(n - 1) \end{aligned}$$



y sustituyendo la expresión por  $\lambda_{\max}$ . Lo que nos concierne es  $\delta_{ij}$  que es el error componente y su valor es  $|\delta_{ij}| < 1$  lo que lo hace un estimador insesgado. Normalizando el eigenvector principal nos da un único estimador para las prioridades dadas por los juicios.

El C.I. (Índice de Inconsistencia) de la matriz de comparaciones está dado por

$$C.I. = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

La Razón de Consistencia (C.R.) es obtenido por comparación al C.I. con la apropiada medida obtenida del conjunto de número que aparecen en la tabla siguiente, estos son un promedio de los números aleatorios que se obtuvieron de una muestra de tamaño 500, de una serie de matrices recíprocas de comparaciones usando la escala 1/9, 1/8, ... , 8, 9 observar que es menor o igual 0.10. Si este no es menor a 0.10, hay que volver a estudiar el problema y los juicios:

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
R.I.	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56

Porqué tolerar una inconsistencia del 10%? La prioridad de la consistencia se obtiene de una coherente explicación de un conjunto de hechos que deben diferir en el orden de magnitud de la prioridad de la consistencia la cual es un error en la medida de inconsistencia. Entonces, en una escala de 0-1, la inconsistencia no debe exceder 0.10 por mucho. La razón de que la inconsistencia sea tan importante por sí sola, es que si se agrega más información en la estructura jerárquica puede cambiar el orden de las prioridades. Entonces la consistencia contradice a la experiencia ya que esta necesita de la retroalimentación para mejorar, pero si esta información se mete a la jerarquía se puede alterar la prioridades. Por lo tanto para desarrollar el objetivo de nuestro proyecto debemos permitir cierta inconsistencia.

Este hecho también recae en el número de elementos que tiene que haber en la jerarquía, el cual debe ser chico. Si el número de elementos es largo, sus prioridades relativas serán pequeñas y el error puede distorcionar las prioridades considerablemente. Si el número de elementos es pequeño y las prioridades son comparables a un error pequeño entonces no afecta al orden de magnitud de las respuestas y entonces la prioridades relativas serán aproximadamente las mismas. Para que esto pase, los elementos deben ser menor a 10 para que todos los valores sean mayores al 10% cada uno y entonces se mantenga sin variación el 1% por ejemplo.

El índice de consistencia (C.I.) para toda la jerarquía se define como:

$$C_H = \sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^{n_{i,j+1}} w_{ij} \mu_{i,j+1},$$

donde  $w_{ij} = 1$ , para  $j = 1$ , y  $n_{i,j+1}$  es el número de elementos en el  $(j + 1)$  -ésimo nivel con respecto al  $i$  -ésimo criterio del  $j$  -ésimo nivel

Sea  $|C_k^-|$  el número de elementos de  $C_k^-$ , y sea  $w_{(k)(h)}$  la prioridad de impacto en el  $h$  -ésimo componente en el  $k$  -ésimo componente, ie,  $w_{(k)(h)} = w_{(k)}(C_h)$  ó  $w_{(k)} : C_h \rightarrow w_{(k)(h)}$ .

Si estructuramos los componentes a lo largo del sistema a través de líneas similares a aquéllas que se siguen en la jerarquía, y denotamos por  $w_{ij}$  la prioridad limite en el  $j$  -ésimo elemento y en la  $k$  -ésima componente, entonces tenemos:

$$C_s = \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^{n_k} w_{ij} \sum_{h=1}^{|C_k^-|} w_{(k)(h)} \mu_k(i, j)$$

donde  $\mu_k(i, j)$  es el C.I. de la matriz de comparaciones de los elementos en el  $k$  -ésimo componente con respecto a la  $j$  -ésimo elemento en el  $h$  -ésimo componente.

## 2.8 ALGORITMOS PARA ENCONTRAR EL VALOR Y VECTOR CARACTERÍSTICO MÁXIMO DE UNA MATRIZ

Esta técnica se basa en el resultado de un teorema del álgebra lineal, que establece:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{A^k y}{\|A^k y\|} = c w_{\max}$$

en donde  $w_{\max}$ , es el vector característico asociado al máximo valor característico  $\lambda_{\max}$  y "y" es un vector arbitrario que en nuestro programa se forma sólo de 1's:  $y = (1, 1, \dots, 1)$ . La norma  $\|Ay\| = (\langle Ay, y \rangle)^{1/2}$  se usa para evitar que la computadora genere números demasiado grandes que sobre pasen su capacidad. La notación:  $\langle \rangle$  significa el producto punto o interior entre

dos vectores, cuyo resultado es un número. El producto interior o punto entre los vectores  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  y  $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  se define por:

$$\langle x_1, y_1 \rangle = X_1 Y_1 + X_2 Y_2 + \dots + X_n Y_n$$

Como se observa, el problema computacional estriba en generar una potencia alta de  $A^k$  para después multiplicarla por el vector "y", y dividirla por su norma  $\|A^k y\|$ . Esto se logra fácilmente observando la siguiente secuencia de matrices  $B_i$ :

$$B_1 = A / \|A\| \text{ por lo tanto } \|A\| = \langle Ay, y \rangle^{1/2}$$

$$B_2 = B_1^2 / \|B_1^2\|$$

⋮

$$B_k = B_{k-1}^2 / \|B_{k-1}^2\| = A^{2^{k-1}} / \|A^{2^{k-1}}\|$$

Así, en cada iteración se toma la potencia de A calculada previamente y se multiplica por sí misma. El algoritmo para cuando la diferencia de normas de  $B_i$ , entre dos etapas consecutivas es menor que una cierta cantidad preespecificada  $\epsilon$ , es decir:

$$\|B_{i+1} y - B_i y\| < \epsilon$$

Para nuestro propósito un valor de  $\epsilon = 0.001$  es suficientemente adecuado. Una vez calculado el valor de  $w_{\max}$ , el valor característico asociado  $\lambda_{\max}$  se evalúa en la forma:

$$Aw_{\max} = \lambda_{\max} w_{\max}, \\ \langle w_{\max}, Aw_{\max} \rangle = \lambda_{\max} \langle w_{\max}, w_{\max} \rangle$$

de donde

$$\lambda_{\max} (\langle w_{\max}, w_{\max} \rangle) / \langle w_{\max}, w_{\max} \rangle$$

Otros métodos menos exactos pero muy simples de evaluar con la ayuda de una calculadora, se presentan a continuación en orden de precisión ascendente.

a) Sumar los elementos en cada renglón de la matriz de comparaciones  $w$ , y normalizarlos respecto de su suma; esto es,

$$w_i = \left( \sum_{j=1}^n a_{ij} / \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n a_{kj} \right), i = 1, \dots, n$$

en donde cada  $w_i$  es el  $i$ -ésimo componente del vector característico correspondiente al máximo valor característico.

b) Sumar los elementos de cada columna y formar los recíprocos de cada una de ellos. Normalizar dicho vector respecto a la suma de sus elementos:

$$w_i = \left( \left( \frac{1}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) / \left( \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n (1/a_{kj}) \right) \right), i = 1, \dots, n$$

c) Dividir cada elemento de cada columna (para cada una de las columnas) por la suma de los elementos en dicha columna "normalización respecto a su suma". Sumar los elementos de cada renglón y dividir cada uno de los elementos del vector resultante por el número de sus componentes (dimensión de la matriz- $n$ ). Esto es

$$(1) z_i = \sum_{k=1}^n a_{ki}, i = 1, \dots, n$$

$$(2) a'_{ij} = a_{ij}/z_i, i, j = 1, \dots, n$$

(3) Finalmente, las componentes del vector característico  $w_i$  están dados por:

$$w_i = \sum_{j=1}^n a'_{ij}/n.$$

d) Multiplicar cada uno de los elementos, en cada uno de los renglones, y extraer la raíz  $n$ -ésima de cada uno de los productos. Normalizar los números resultantes por la suma de sus componentes. Esto es,

$$(1) z_i = a_{i1}a_{i2}\dots a_{in}, i = 1, \dots, n$$

$$(2) z'_i = \sqrt[n]{z_i}$$

$$(3) w_i = z'_i / \sum z'_i.$$

Una vez obtenido el vector característico  $w$ , el valor característico correspondiente  $\lambda_{máx}$  se obtiene de la siguiente manera:

1. Realizar el producto de la matriz  $A$  por el vector  $X$ ; esto es,

$$Y_1 = AX = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)^2.$$

2. Efectuar los productos interiores:

$$C_1 = \langle X, X \rangle = X_1X_1 + X_2X_2 + \dots + X_nX_n.$$

y

$$C_2 = \langle X, AX \rangle = \langle X, Y_1 \rangle = X_1Y_1 + X_2Y_2 + \dots + X_nY_n.$$

3. El valor buscado del valor característico  $\lambda$  puede obtenerse simplemente dividiendo  $C_2$  entre  $C_1$ ; o sea:

$$\lambda_{\max} = C_2/C_1$$

A continuación se da una técnica que emplea un programa computacional en lenguaje "C" y que permite mayor exactitud en matrices de comparación de dimensión mayor a tres (apéndice A).

## 2.9 MATRICES POSITIVAS

La condición de positividad de una matriz (como se verá en la siguiente definición) es muy deseable en muchos problemas específicos; por ejemplo, si la matriz  $A$  es positiva definida, entonces también es invertible ( $A^{-1}$  existe). El caso contrario, sin embargo, no es cierto: si  $A$  tiene inverso esto no implica que sea positiva definida (considérese a la matriz  $-I$  como negativo de la matriz identidad). Desafortunadamente no existen pruebas sencillas para saber si una matriz es positiva definida, y en la práctica, cuando esta condición es requerida, usualmente se procede como si ya se hubiera verificado la positividad. Cuando el proceso falla, debe entonces considerarse a esta falta de positividad como una de las causas. A continuación se da (sin prueba) una serie de condiciones para verificar si una matriz dada es positiva definida (o semidefinida).

**Definición.-**  $A$  es una matriz positiva definida (semidefinida) si para todo  $x \neq 0$ ,  $x'Ax > 0$ .

### Teorema 2

a)  $x'Ax$  (producto punto) es positiva definida si y sólo si cada vector característico de  $A$  es positivo.

- b)  $x'Ax$  es positiva semidefinida si y sólo si todos los valores característicos de  $A$  son mayores que cero.
- c)  $x'Ax$  es indefinida si  $A$  tiene tantos valores característicos positivos como negativos

### Teorema 3

Unas condiciones necesarias para que una matriz simétrica  $A$ , sea positiva definida son:

- a) Los elementos de la diagonal principal sean positivos.
- b)  $a_{ii}a_{jj} > a_{ij}^2$  para toda  $i = j$ .
- c) El elemento de  $A$  más grande en valor absoluto debe estar en la diagonal principal.
- d) Determinante  $(A) > 0$ .

### Teorema 4

Cualquiera del siguiente conjunto de condiciones es necesaria y suficiente para que  $(x'Ax)$  sea positiva definida ( $A$  simétrica).

- a) Reduzca  $A$  a una forma escalonada trabajando sistemáticamente a lo largo de la diagonal principal. Entonces todos los pivotes son positivos.
- b) Los menores principales de los determinantes de las matrices de dimensión  $k$ ,  $k$  en el vértice superior izquierdo de  $A_k$  ( $k = 1, \dots, n$ ) son todos positivos.

$$a_{11} > 0; \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} > 0; \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} > 0; \dots$$

## 2.10 TEORÍA DE GRÁFICAS

Dentro de los componentes teóricos importantes para el desarrollo de este trabajo es la teoría de gráficas ya que permite en forma sencilla ilustrar la interrelaciones entre los distintos elementos y por lo tanto conocer su impacto vía matrices. De esta forma se puede dar una interpretación de las

prioridades como se comentará mas adelante. A continuación se citan una serie de elementos que permite una mejor comprensión del tema.

**Definición.-** Una gráfica es una pareja ordenada  $(X, A)$ . Donde  $X$  es el conjunto finito de elementos llamados vértices o nodos y  $A$  es un subconjunto de forma  $X \times X$  cuyos elementos  $(x, y)$  llamaremos aristas.

En la figura 2-15,  $v_1$  y  $v_2$  son ejemplos de vértices,  $e_1$  es un camino cerrado cuyo vértice final es  $v_5$ ;  $e_2$  es un camino abierto cuyos vértices finales son  $v_2$  y  $v_3$ .

Si los elementos  $(x, y)$  no tienen dirección entonces se llaman aristas y  $G = (X, A)$  será una gráfica no dirigida.

Si por el contrario estas se encuentran dirigidas se llamara gráfica dirigida (figura 2-16).

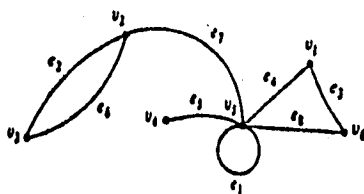


Figura 2.15: Gráfica.

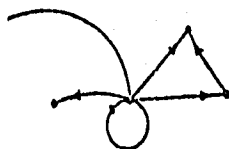


Figura 2.16: Gráfica dirigida.

**Definición.-** Una red es una gráfica con cierta información en los arcos (eventualmente en los vértices)  $R = (X, A, D), d: A \rightarrow R$ .

**Definición.-** Dado un arco  $a = (x, y)$ ,  $x$  se llamara vértice inicial del arco  $a$  y  $y$  vértice final del arco  $a$ ,  $x, y$  son los vértices terminales. Dos aristas

con un vértice en común o dos vértices unidos por una arista se dice que son adyacentes.

**Definición.-** Dado un vértice  $X$  llamaremos **sucesores** de  $x$  al conjunto  $\Gamma^+(x) = \{y/(x,y) \in A\}$  y **predecesores** al conjunto  $\Gamma^-(y) = \{y/(y,x) \in A\}$ .

**Definición.-** Se llamará **vecinos** de  $x$  al conjunto  $\Gamma(x) = \Gamma^+(x) \cup \Gamma^-(x)$ .

**Definición.-** Un **camino** es una sucesión alternada de vértices  $(v_0, v_1, \dots, v_n)$  y arcos  $(a_1, \dots, a_n)$  tales que para cada arco de la sucesión  $a_i$  el vértice que la precede es vértice inicial y el que lo sucede es su vértice final  $(v_{i-1}$  y  $v_i$ , respeta dirección).

**Definición.-** Un **paseo** es un camino en el que no se repiten **aristas**.

**Definición.-** Una **trayectoria** Es un paseo donde no se repiten vértices.

**Definición.-** Un **ciclo** es una cadena cerrada.

**Definición.-** Un **circuito** es un camino cerrado.

**Definición.-** Un **bucle** es un arco cuyos vértices inicial y final son el mismo.

**Definición.-** Una **cadena** es una sucesión alternada de arcos y vértices tales que para cada arco de la sucesión los vértices que la encuadran son vértices terminales (no importa la dirección).

**Definición.-** El **grado exterior** de un vértice  $X$  está dado por  $g^+(x) = |\Gamma^+(x)|$ .

**Definición.-** El **grado interior** de un vértice  $X$  está dado por  $g^-(x) = |\Gamma^-(x)|$

**Definición.-** El **grado** de un vértice  $x$  está dado por  $g(x) = |\Gamma(x)| = |\Gamma^-(x) \cup \Gamma^+(x)| = g^-(x) + g^+(x)$

Para una gráfica  $G = (X, A)$  denotamos el numero de vértices por  $|X|$  y a las aristas por  $|A|$ , respectivamente,  $|X|$  es el grado de la gráfica. En la gráfica 2.16 tiene  $|X| = 5$  y  $|A| = 8$ . Una gráfica es finita si el número de vértices y aristas es finito.

**Definición.-** Una **subgráfica** de  $G = (X, A), G_s = (X_s, A_s)$  donde  $X_s \subset X$  y

$$A_s = \{(x, y) / x, y \in X_s, (x, y) \in A\}.$$

Para hacer una subgráfica tienen que estar algunos de los nodos y todos los arcos que ya estaban y con los que se conectan.

**Definición.-** Un **camino simple** es el que no pasa dos o más veces por el mismo arco.

**Definición.-** Un **camino elemental** es el que no pasa dos o más veces por el mismo vértice.



**Definición.-** Una **gráfica parcial** de  $G = (X, A)$  es  $G_p = (X, A_p)$  donde  $A_p \subset A$  (todos los nodos sin ser todos los arcos).

**Definición.-** Una gráfica  $G = (X, A)$  es **simétrica** si  $(x, y) \in A$  entonces  $(y, x) \in A$ . (si existe el arco debe existir el de regreso).

**Definición.-** Un **nodo aislado**  $X$  es aquel que  $g(x) = 0$ .

**Definición.-** Una gráfica **antisimétrica** si  $(x, y) \in A$  entonces  $(y, x) \in A$ . Si existe el arco, no debe existir el de regreso.

**Definición.-** Una gráfica es **completa** si no existe  $(x, y)$  entonces existe  $(y, x)$

**Definición.-** Una **gráfica conexa** es aquella para la cual existe al menos una cadena que une a todo par de vértices.

**Definición.-** Una gráfica es **fuertemente conexa** si  $\forall x, y \in X$  existe un camino de  $x$  a  $y$ .

**Definición.-** Un **árbol** es una gráfica conexa y sin ciclos. Las siguientes definiciones son equivalentes:

- Gráfica conexa y sin ciclos
- Conexa y con  $(n - 1)$  aristas
- $(n - 1)$  aristas y sin ciclos
- Conexa y al eliminar una arista deja de serlo
- Sin ciclos y al agregar una arista forzosamente se forma uno.

**Definición de Arborescencia.-** Gráfica conexa y sin ciclos tal que  $g^-(x) = 1, \forall x \in X$  excepto para un vértice  $r$  llamado **raíz** para el cual  $g^-(r) = 0$  (árbol con raíz).

**Definición de Raíz.-** Vértice a partir del cual puedo llegar a cualquier otro.

**Definición de Árbol de Expansión.-** Es un árbol que es una gráfica parcial de  $G$ .

**Definición de Bosque -** Es una gráfica tal que cada componente conexa es un árbol.

**Definición Matriz de Incidencia.-** Dada  $G(X, A), |X| = n$  y  $|A| = m$ . La matriz de incidencia  $E = (e_{ij})_{n \times m}$  esta definida por:

$$e_{ij} = \begin{cases} -1 & \text{si el vértice } i \text{ es inicial del arco } a_j \\ 1 & \text{si el vértice } i \text{ es final del arco } a_j \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

**Definición de Matriz de Adyacencia.-** Dada  $G(X, A), |X| = n$ . La matriz de adyacencia  $A_{n \times n} = a_{ij}$  esta dada por :

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si existe arco } (i, j) \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

**Definición de Gráfica Bipartita.-** Si existe una partición  $V(G)$  en dos conjuntos  $V_1$  y  $V_2$  de forma que cada arista de  $G$  tenga un extremo en  $V_1$  y otro en  $V_2$  (figura 2-17).

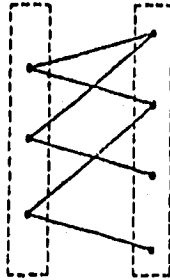


Figura 2.17: Gráfica bipartita.

**Definición de Gráfica Bipartita Completa.-** Si existe una bipartición  $\{V_1, V_2\}$  de  $V(G)$  de tal manera que cada vértice  $V$ , es adyacente a todos los de  $V_2$  estas gráficas se denotan como  $K_{nm}$ , donde  $n = |V_1|$  y  $m = |V_2|$

**Definición de Isomorfismo.-** Dos gráficas  $H$  y  $G$  son isomorfas si y solo si existe una función biyectiva  $f : V(G) \rightarrow V(H)$  que preserve las adyacencias de sus vértices.

## 2.11 INTERPRETACIÓN DE LAS PRIORIDADES POR TEORÍA DE GRÁFICAS

Como se podría asegurar de que la "actividad más favorecida" en la matriz de comparaciones obtendrá el valor máximo? Algebraicamente se puede comprobar pero que pasa si tratamos de darle una interpretación gráfica un poco más intuitiva a través de la teoría de gráficas.

**Definición.-** Sean denotados los nodos de una gráfica dirigida  $G$  por  $1, 2, \dots, n$ . Con cada arco dirigido  $x_{ij}$  del nodo  $i$  al nodo  $j$ , podemos asociar un número no negativo,  $0 < q_{ij} < 1$ , conocido como intensidad del arco. (cuerdas y aristas múltiples son permitidas).

**Definición.-** Un camino en una gráfica dirigida es una secuencia alternada de nodos y arcos tal que cada nodo es el objetivo final de un arco y en secuencia continúan. Ambos puntos extremos de cada arco están en la

secuencia. La longitud en el camino es el número de arcos que existen en la secuencia. Un camino con  $k$  arcos se llamará " $k$ -camino".

**Definición.-** La intensidad de un camino de longitud  $k$  del nodo  $i$  al  $j$  es el producto de sus intensidades sobre sus arcos en el camino.

**Definición.-** La intensidad total para todos los  $k$ -caminos del nodo  $i$  al nodo  $j$  es la suma de las intensidades de los caminos.

**NOTA:** Observe que para la intensidad total de los 1-caminos, uno toma la suma de las intensidades de todos los 1-caminos de  $i$  a  $j$ . Estos son arcos simples conectando a  $i$  y  $j$ . Todas las intensidades a lo largo de  $i, j$  se asume que son iguales. Entonces, la intensidad total de  $i$  a  $j$  esta dada por  $t_{ij} = p_{ij}q_{ij}$  donde  $p_{ij}$  es el numero de arcos de  $i$  a  $j$  y  $q_{ij}$  es la intensidad de cada arco.

**Definición.-** Dada una gráfica dirigida  $D$ , la matriz de intensidad-incidencia  $U = (u_{ij})$  es definida como la matriz cuyas entradas son  $u_{ij} = t_{ij}$  para toda  $i$  y  $j$ .

El siguiente ejemplo es para aclarar más los conceptos aquí expresados (figura 2-18)

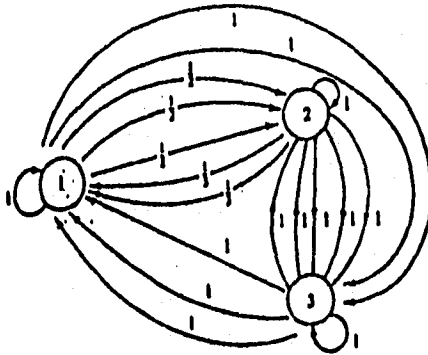


Figura 2.18: Gráfica bipartita para la matriz de intensidad-adyacencia.

La matriz de intensidad-incidencia  $U$  asociada a la gráfica es

$$U = \begin{pmatrix} 1 & 3/2 & 2 \\ 2/3 & 1 & 3 \\ 3 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

La intensidad total de 1-camino de  $i$  a  $j$  esta dada por la entrada  $(i, j)$  de la matriz. La intensidad total de los caminos de longitud 2 del nodo 1 al

3, por ejemplo, es la suma de las siguientes tres cantidades, con el camino asociado a la derecha.

$$3[(1/2x_1) + (1/2x_1) + (1/2x_1)] : 1, x_{12}, 2, x_{23}, 3$$

$$2(1x_1) : 1, x_{11}, 1, x_{13}, 3$$

$$2(1x_1) : 1, x_{13}, 1, x_{33}, 3$$

La suma de estas cantidades es igual a  $17/2$ . Esta es la entrada  $(1, 3)$  en la matriz  $U^2$ . De esta forma se puede mostrar que para todo  $i$  y  $j$ , la intensidad total de 2-caminos del nodo  $i$  al nodo  $j$  es la entrada  $(i, j)$ .

$$U^2 = \begin{pmatrix} 8 & 7 & 17/2 \\ 31/3 & 8 & 22/3 \\ 22/3 & 17/2 & 13 \end{pmatrix}$$

**Teorema 5.-** La entrada  $(i, j)$ ,  $u_{ij}(k)$ , de  $U^k$  es la intensidad total de los  $k$  - caminos del nodo  $i$  al  $j$ .

**Corolario.-** Si  $q_{ij} = 1$  para toda  $i$  y  $j$ , entonces la entrada  $(i, j)$  en  $U^k$  da el número de  $k$ -caminos de  $i$  a  $j$ .

**Teorema 6.-** Sea  $A = (a_{ij})$  una matriz de comparación de  $n \times n$ . La entrada  $(i, j)$ ,  $a_{ij}(k)$ , de la matriz  $A^k$  da la dominancia relativa (o importancia) de la actividad  $i$  sobre la  $j$  en  $k$  - etapas.

**Definición.-** El índice de importancia,  $w_i(k)$ , de la actividad  $i$  sobre todas las actividades en  $k$ -etapas esta definido como

$$w_i(k) = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}(k)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}(k)}$$

Entonces  $w_i(k)$  es suma de la  $i$  - ésima fila de  $A^k$  dividida por la suma de las filas.

**Definición.-** El índice total de importancia, de la actividad  $i$  sobre todas las actividades esta definido por

$$w_i = \lim_{k \rightarrow \infty} w_i(k) = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}(k)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}(k)}$$

**Definición.-** El índice de prioridad esta asociado a la actividad  $i$  y es el índice total de importancia de  $w_i$ .

## Capítulo 3

# ESTUDIO DE CASO

Como se ha hecho referencia en los capítulos anteriores, parte del compromiso como empresarios es mantener una capacidad competitiva adecuada para el sano desarrollo de la actividad empresarial por medio de la observación de la tecnología que se encuentra en el entorno industrial.

El caso tomado como sujeto de estudio comprende una empresa dedicada a la fabricación de harina de trigo, localizada en el Estado de Morelos, comprende las siguientes partes:

1. Antecedentes y Datos Generales
2. Aplicación del Instrumento de Diagnóstico
3. Análisis y Resultados
4. Estudio de Sensibilidad
5. Conclusiones

### 3.1 ANTECEDENTES Y DATOS GENERALES

La participación del Gerente Administrativo de dicha empresa en un taller de desarrollo gerencial denominado: "Taller de Gestión Tecnológica para Pequeñas y Medianas Empresas" organizado por el Centro para la Innovación Tecnológica, como parte de un proyecto piloto orientado a dotar al empresario de capacidades de decisión y herramientas en el manejo estratégico de la tecnología. En este taller se le invitó a realizar una revisión de su tecnología para mejorar sus capacidades competitivas en las diferentes facetas de la tecnología, como producción, operación, proceso o bienes de capital, así mismo

tener los elementos para soportar, en un futuro próximo, alguna decisión que tuviera que tomar en estos ámbitos. A continuación se mencionan algunos aspectos generales de la empresa estudiada.

"La Empresa fue fundada en 1957 en el Estado de Morelos, y durante su historia se pueden identificar tres etapas de evolución:

**Primera Etapa.-** En su inicio se construyó una unidad de molienda de 25 tons/día con turnos de 24 horas de operación y capacidad de almacenaje de 1,000 toneladas.

**Segunda Etapa.-** Se fue ampliando y mejorando la capacidad de almacenaje y recepción hasta 4,500 toneladas.

**Tercera Etapa.-** En 1989 se hicieron mejoras en la maquinaria existente, para incrementar la capacidad de producción a 75 ton /24 horas, sin aumentar el personal una vez concluida dicha ampliación. En 1992 se instaló una unidad de producción nueva con tecnología importada, por lo que actualmente se considera terminadas las ampliaciones en el área de producción. Lo anterior ubicó a la empresa en un muy buen nivel tecnológico, desafortunadamente dichas inversiones han generado problemas por las actuales condiciones del mercado financiero".

En esta forma, el estudio de caso se abocó al análisis del Paquete Tecnológico para esta empresa y a la vez corroborar los elementos que jugaron papel importante en las decisiones tomadas respecto a la adquisición, instalación y operación de los nuevos equipos.

### **3.2 APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO DE DIAGNÓSTICO**

Se aplicó un cuestionario en forma de autodiagnóstico tecnológico, el cual constó de cinco etapas y cuya duración fue de aproximadamente 50 minutos. Éste se aplicó en forma personal, esto es, se le entregaba el cuestionario al empresario y una vez concluido se le recogía, no sin antes aclarar las posibles dudas que hubieran salido durante el mismo.

- La primera etapa del cuestionario hace referencia al dominio de su tecnología y cómo se apoya en las tecnologías alternativas.

En esta etapa la pregunta fundamental fue: ¿Cuál de las opciones tecnológicas prefiere para formar el Paquete Tecnológico (PT)?

- En la segunda etapa se hace mención a los aspectos relacionados con la adquisición de ésta tecnología. Cabe mencionar que la experiencia

ha demostrado que compañías con grandes capacidades de desarrollo tecnológico orientadas a generar sus propias tecnologías, requieren de la aplicación de un significativo esfuerzo tanto económico como técnico. En este sentido, la pregunta para esta etapa fue: ¿Qué tan importante o preferible es hacer una adquisición de tecnología total o parcial para su competitividad y conformación del PT?

- La tercera etapa es de vital importancia, ya que permite identificar claramente el perfil de la empresa y la forma en que se encuentra conformada actualmente. Se hace hincapié en el tipo de tecnología que se destaca para su desenvolvimiento y soporte en producción. Para esta etapa la pregunta se planteó de la siguiente forma: ¿En cada una de las comparaciones siguientes, cuál de las tecnologías considerada contribuye más al desarrollo de su producto o servicio?
- La cuarta etapa reúne una serie de características que se consideran deseables para todo tipo de tecnologías. El significado de cada una de ellas se mencionan como parte integral del cuestionario o instrumento de diagnóstico (Ver Apéndice B). Dichas características son: Generación de Tecnología (GT), Atractivo Tecnológico (AT), Protección Tecnológica (PrT), Grupo de Investigación (GI), Economía y Mercado (ECME) y por último Calidad de la Tecnología (CT). Por otro lado, la GT fue subdividida en: tecnología de punta, en crecimiento, madura y obsoleta, esto se hizo con el fin de identificar la dinámica del cambio tecnológico dentro de su área o campo técnico. La pregunta realizada fue: ¿Qué característica le impacta más sobre la Tecnología de ...? completándola con la palabra Producto, Equipo, Proceso u Operación.

Con respecto a las siglas usadas anteriormente, se conservarán para facilitar la lectura de las gráficas obtenidas.

- La última etapa del diagnóstico se realiza en caso de querer conocer que proceso, equipo e incluso ampliación de capacidades ayudarán a la empresa a mejorar su competitividad. Se trata de dejar claro cuál es la tecnología a reemplazar y sus opciones. Una vez que se han especificado estas opciones, se vacían en el cuadro de comparaciones y se someten a los criterios de Atractivo Tecnológico y Calidad de Tecnología. Los criterios restantes no se consideran significativamente relevantes para calificar las opciones tecnológicas. Cabe hacer notar que las opciones de cambio se deben de poder comparar.

Para la aplicación del instrumento de diagnóstico se introdujo una serie de elementos estadísticos para sustentar la escala fundamental, las interrelaciones y sus elementos a calificar. A continuación se mencionan las hipótesis metodológicas asumidas para el desarrollo del cuestionario.

### **3.2.1 HIPÓTESIS METODOLÓGICAS**

1.- Las metas son claras y totalmente comprendidas. El jefe ó empresario y el staff tienen los mismos objetivos y lo que implica cumplir con estos.

2.- Se presume que el jefe es consistente. No puede preferir otro plan en donde los objetivos tienen menor valor que la alternativa propuesta; utilizaremos el índice de consistencia (C.I.) y la razón de consistencia (C.R.) para identificar el grado de coherencia con respecto a las necesidades o requerimientos y por lo tanto poder deducir donde puede haber conflictos. Las medidas de consistencia deben ser menores al diez por ciento en ambos casos, aunque se puede ser flexible y tener un máximo del veinte por ciento.

3.- Se presume que el staff es dedicado y eficiente. El staff mapea en el espacio de objetivos sus preferencias, generando así una priorización donde maximiza sus niveles de aspiración..

4.- El staff toma en serio los niveles de aspiración y se esfuerza por seguirlos, aquí se tienen diversas opciones:

- a) El jefe está excedido en sus metas por lo tanto el staff es libre de dar sus preferencias.
- b) Niveles insostenibles: El staff los desarrolla lo más cercano posible al ideal del jefe.
- c) El más importante es cuando el nivel de aspiración debe ser el justo, ie, sin excesos. El staff propone un plan acorde con las necesidades del jefe.

### **3.3 ANÁLISIS Y RESULTADOS**

Para el análisis del cuestionario se realizarán los cálculos con el programa de Jerarquización Analítica. Cada uno de estos corresponden a los criterios con sus respectivas características.



Tabla 3, Criterios de Valuación

- $C_1 =$  Paquete Tecnológico
- $C_2 =$  Tecnología Dominada
- $C_3 =$  Tecnología Alternativa
- $C_4 =$  Desarrollo de Producto o Servicio en la Tecnología Dominada
- $C_5 =$  Desarrollo de Producto o Servicio en la Tecnología Alternativa
- $C_6 =$  Tecnología de Servicio
- $C_7 =$  Generación de Tecnología
- $C_8 =$  Tecnología de Producto
- $C_9 =$  Tecnología de Equipo
- $C_{10} =$  Tecnología de Proceso
- $C_{11} =$  Tecnología de Operación
- $C_{12} =$  Atractivo Tecnológico
- $C_{13} =$  Calidad de la Tecnología
- $C_{14} =$  Política empresarial

A cada criterio le corresponde una matriz de comparaciones y un vector de prioridades, a continuación se muestran los cálculos con dos iteraciones para mejorar el índice de consistencia y la razón de consistencia respectivamente.

$$C_1 = \begin{pmatrix} & & \text{Eigenvalores} \\ & & \text{Iteraciones} \\ & & \text{Peso, } w_1, w_2 \\ 1 & 4 & 0.80 \\ 1/4 & 1 & 0.20 \\ \lambda_{\max} = 2 & C.I. = 0 & C.R. = 0 \end{pmatrix}$$

$$C_2 = C_3 = \begin{pmatrix} & & \text{Eigenvalores} \\ & & \text{Iteraciones} \\ & & \text{Peso, } w_1, w_2 \\ 1 & 1/5 & 0.1667 \\ 5 & 1 & 0.8333 \\ \lambda_{\max} = 2 & C.I. = 0 & C.R. = 0 \end{pmatrix}$$



$C_8 =$	<i>Eingenvectores</i>	<i>e</i>	<i>iteraciones</i>
	<i>Peso</i>	$w_1$	$w_2$
	0.2345	0.2509	0.2584
	0.0561	0.0551	0.0521
	0.2350	0.2509	0.2584
	0.0301	0.0296	0.0295
	0.1443	0.1395	0.1384
	0.2998	0.2741	0.2633
	$\lambda_{\max} = 7.241001$	$\lambda_{\max} = 6.025405$	$\lambda_{\max} = 6.010628$
	$C.I. = 0.248200$	$C.I. = 0.005081$	$C.I. = 0.002126$
	$C.R. = 0.176028$	$C.R. = 0.003603$	$C.R. = 0.001508$

$C_9 =$	<i>Eingenvectores</i>	<i>e</i>	<i>iteraciones</i>
	<i>Peso</i>	$w_1$	$w_2$
	0.3055	0.3195	0.3333
	0.0997	0.0879	0.0833
	0.1814	0.1800	0.1667
	0.0695	0.0785	0.0833
	0.1716	0.1670	0.1667
	0.1723	0.1670	0.1667
	$\lambda_{\max} = 6.612819$	$\lambda_{\max} = 6.027608$	$\lambda_{\max} = 6.000000$
	$C.I. = 0.122564$	$C.I. = 0.005522$	$C.I. = 0.000000$
	$C.R. = 0.086925$	$C.R. = 0.003916$	$C.R. = 0.000000$

$C_{10} =$	<i>Eingenvectores</i>	<i>e</i>	<i>iteraciones</i>
	<i>Peso</i>	$w_1$	$w_2$
	0.2743	0.2278	0.2108
	0.0810	0.0817	0.0636
	0.2007	0.2209	0.2627
	0.0438	0.0416	0.0411
	0.1854	0.2073	0.2108
	0.2148	0.2209	0.2108
	$\lambda_{\max} = 6.225361$	$\lambda_{\max} = 6.019785$	$\lambda_{\max} = 6.126230$
	$C.I. = 0.045072$	$C.I. = 0.003957$	$C.I. = 0.002806$
	$C.R. = 0.031966$	$C.R. = 0.002806$	$C.R. = 0.017905$

$$C_{11} = \left( \begin{array}{ccc} \text{Eigenvectores} & e & \text{iteraciones} \\ \text{Peso} & w_1 & w_2 \\ 0.2252 & 0.2168 & 0.2222 \\ 0.1077 & 0.1387 & 0.1571 \\ 0.1863 & 0.1842 & 0.1858 \\ 0.0635 & 0.0593 & 0.0632 \\ 0.1922 & 0.1842 & 0.1858 \\ 0.2252 & 0.2168 & 0.1858 \\ \\ \lambda_{\max} = 6.524456 & \lambda_{\max} = 6.072320 & \lambda_{\max} = 6.061243 \\ C.I. = 0.104891 & C.I. = 0.014464 & C.I. = 0.010258 \\ C.R. = 0.074391 & C.R. = 0.010258 & C.R. = 0.008687 \end{array} \right)$$

$$C_{12} = \left( \begin{array}{c} \text{Eigenvectores} \\ \text{Iteraciones} \\ \text{Peso, } w_1, w_2 \\ 1 \dots 1 \quad 0.25 \\ 1 \dots 1 \quad 0.25 \\ 1 \dots 1 \quad 0.25 \\ 1 \dots 1 \quad 0.25 \\ \lambda_{\max} = \quad C.I. = C.R. = 0 \end{array} \right)$$

$$C_{13} = \left( \begin{array}{cccc} & & & \text{Eigenvectores} \\ & & & \text{Iteraciones} \\ & & & \text{Peso, } w_1, w_2 \\ 1 & 5 & 5 & 5 \quad 0.6250 \\ 1/5 & 1 & 1 & 1 \quad 0.1250 \\ 1/5 & 1 & 1 & 1 \quad 0.1250 \\ 1/5 & 1 & 1 & 1 \quad 0.1250 \\ \\ \lambda_{\max} = 4 & C.I. = 0 & C.R. = 0 \end{array} \right)$$

$$C_{14} = \left( \begin{array}{ccc} & & \text{Eigenvectores} \\ & & \text{Iteraciones} \\ & & \text{Peso, } w_1, w_2 \\ 1 & 1 & 0.5 \\ 1 & 1 & 0.5 \\ \\ \lambda_{\max} = 2 & C.I. = 0 & C.R. = 0 \end{array} \right)$$

Una vez encontrados los vectores prioritarios por criterios se colocan en sus respectivas matrices de cada nivel para conocer su impacto global.

En notación por criterios, las matrices quedarían de la siguiente forma y el resultado de esa matriz le pondremos  $(wg_i)$ ,  $i = 1, \dots, 5$ , que significará vector de peso global del  $i$ -ésimo nivel.

$$(\bar{0} \ C_{12} \ C_{13} \ \bar{0} \ \bar{0} \ \bar{0})(C_8 \ C_9 \ C_{10} \ C_{11})(C_4 \ C_5)(C_2 \ C_3)(C_1) = (wg_5)$$

$$(C_2 \ C_3)(C_1) = \begin{pmatrix} .1667 & .1667 \\ .8333 & .8333 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} .8 \\ .2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} .1667 \\ .8333 \end{pmatrix} = (wg_2)$$

$$(C_4 \ C_5)(wg_2) = \begin{pmatrix} .3222 & 0 \\ .2149 & 0 \\ .235 & 0 \\ .2279 & 0 \end{pmatrix} (wg_2) = \begin{pmatrix} 5.371 \times 10^{-2} \\ 3.582 \times 10^{-2} \\ 3.917 \times 10^{-2} \\ 3.799 \times 10^{-2} \end{pmatrix} = (wg_3)$$

$$(C_8 \ C_9 \ C_{10} \ C_{11})(wg_3) = \begin{pmatrix} .2345 & .3021 & .2743 & .2252 \\ .0561 & .1002 & .081 & .1077 \\ .235 & .1558 & .2007 & .1863 \\ .0301 & .0673 & .0438 & .0635 \\ .1443 & .2042 & .1854 & .1922 \\ .2998 & .1735 & .2148 & .2252 \end{pmatrix} (wg_3) =$$

$$\begin{pmatrix} 4.272 \times 10^{-2} \\ 1.387 \times 10^{-2} \\ 3.314 \times 10^{-2} \\ 8.155 \times 10^{-3} \\ 2.963 \times 10^{-2} \\ 3.929 \times 10^{-2} \end{pmatrix} = (wg_4)$$

$$(\bar{0} \ C_{12} \ C_{13} \ \bar{0} \ \bar{0} \ \bar{0})(wg_4) = \begin{pmatrix} 0 & .25 & .625 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & .25 & .125 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & .25 & .125 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & .25 & .125 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} =$$

$$(wg_4) = \begin{pmatrix} 2.418 \times 10^{-2} \\ 7.61 \times 10^{-3} \\ 7.61 \times 10^{-3} \\ 7.61 \times 10^{-3} \end{pmatrix} = (wg_5)$$

Cada una de las matrices anteriores representan la importancia relativa local que tiene cada una de las opciones con respecto a un criterio, en este caso la matriz que interesa estudiar es la conformada por  $(C_8 C_9 C_{10} C_{11})$ . La información contenida en esta matriz es la importancia local de las Tecnologías vs. Características deseables de éstas. Esta información se concentra en la gráfica 3.1.

Se observa en la gráfica que lo que más impacta a la Tecnología de Producto es: la Generación de Tecnología (CT), Protección Tecnológica (PrT) y la Calidad de la Tecnología (CT); con respecto a las primeras dos características no puede haber cambios bruscos debido al mercado en donde nos desenvolvemos, pero en la tercera característica se irán dando cambios graduales conforme avance el estado del arte.

Se espera, en el caso de la Tecnología de Equipo, tenga una participación alta debido a que es un campo muy dinámico, por lo tanto la GT junto con la Economía y Mercado (ECME) permite seguir la pauta y permanecer eficiente en el ramo industrial.

En la Tecnología de Proceso se vuelven a repetir estas características además de la CT. Basta recordar que lo que se persigue en esta etapa es la reducción de costos, tiempos y movimientos.

Con lo que respecta a la Tecnología de Operación tiene especial importancia la PrT ya que se encuentra vinculada con la Tecnología de Servicio; esta última aporta a la operación de la empresa en un 66.66% de donde podríamos deducir que esta diferenciación es la que permite a la empresa sobresalir con respecto a su competencia, y el 13.34% corresponde a la parte complementaria de la Tecnología de Servicio.

La siguiente etapa del análisis es el impacto global de cada una de las características.

Hechos los cálculos, los impactos al Paquete Tecnológico quedan como sigue:

Tabla 5

Nivel gráfica	1 3.2	2 3.3	3 3.4	4 3.5	5 3.6
Impacto Global por Criterio o Característica	.8	.1667	$5.371 \times 10^{-2}$	$1.387 \times 10^{-2}$	$2.418 \times 10^{-2}$
	.2	.8333	$3.582 \times 10^{-2}$	$3.314 \times 10^{-2}$	$7.61 \times 10^{-3}$
			$3.917 \times 10^{-2}$	$8.155 \times 10^{-3}$	$7.61 \times 10^{-3}$
			$3.799 \times 10^{-2}$	$2.963 \times 10^{-2}$	$7.61 \times 10^{-3}$
				$3.929 \times 10^{-2}$	
Normalizándolos					

# IMPACTO EN EL PT CARACTERISTICAS VS. TECNOLOGÍAS

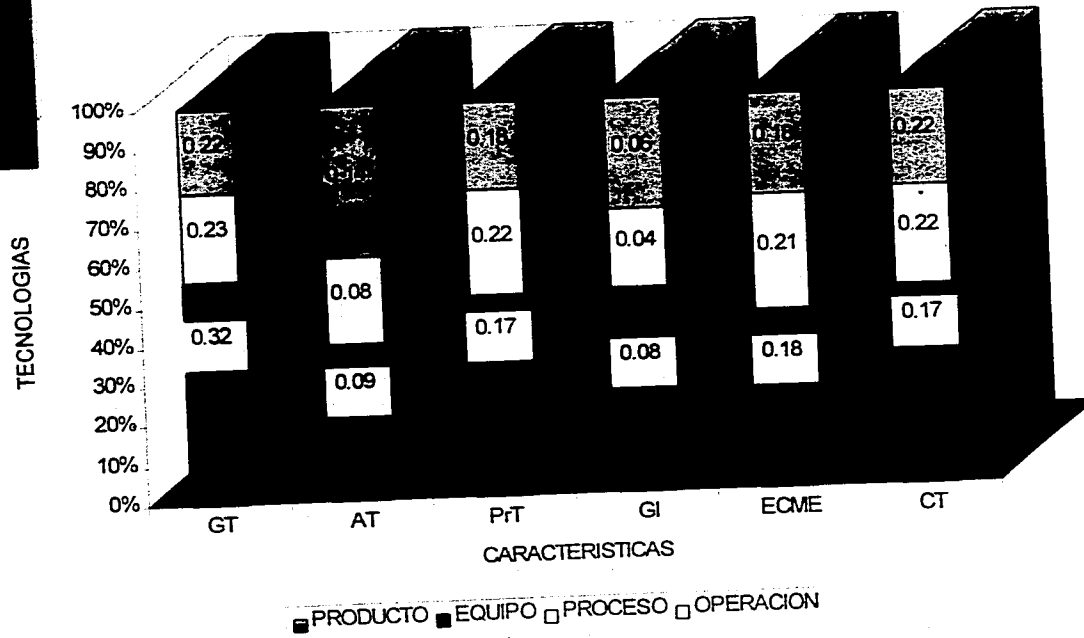


Tabla 6

Nivel gráfica	1	2	3	4	5
	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
Impacto			$TP = .11$	$GT = .31$	$OCRIM = .52$
Global por	$TD = .8$	$AT = .17$	$TE = .73$	$AT = .10$	$BUHLER = .16$
Criterio o	$TA = .2$	$AP = .83$	$TPr = .08$	$PrT = .02$	$GOLRETO = .16$
Característica			$TO = .08$	$GI = .06$	$MORROS = .16$
				$ECME = .22$	$CT = .20$

Se puede observar que la empresa basa principalmente sus actividades en un 80% en la Tecnología Dominada y un 20% en la Tecnología Alternativa, esto se debe principalmente a que se desenvuelve en un mercado maduro en donde el producto principal no tiene cambios drásticos y el proceso no tiene variaciones significativas.

En el aspecto tecnológico, la Tecnología de Equipo le contribuye en un 73% en la conformación del Paquete Tecnológico, siguiéndole la Tecnología de Producto y por último la Tecnología de Proceso y Operación con un 11% y 8% cada uno. Debido a que el producto es muy conocido, la única forma de obtener una ventaja competitiva sobre las otras industrias es eficientando el proceso y equipo y cuyas consecuencias se verán reflejadas en un aumento de producción y disminución de costos.

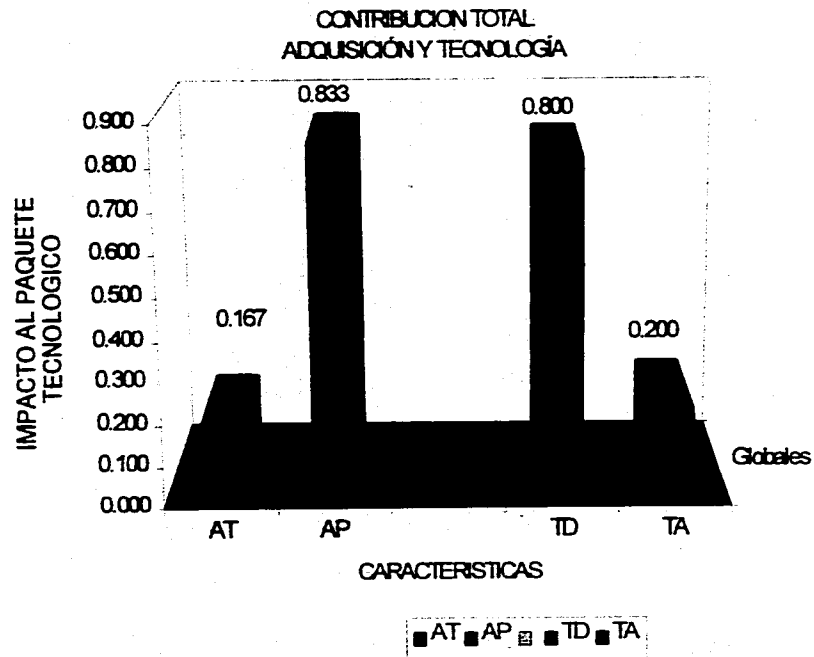
Se puede constatar que tanto la Generación de Tecnología, Calidad de la Tecnología y los aspectos de Economía y Mercado juegan un factor decisivo para la empresa como puede apreciarse en su contribución respectiva 31%, 29%, y 22%. Obsérvese que nuevamente aparece el factor de Mercado y Economía con presencia considerable, esto se debe precisamente a la fuerte intervención e impacto que tiene en el sector harinero las políticas de subsidios, control de precios y concentración de mercados de materias primas, principalmente el trigo.

Otra característica importante que se pudo apreciar fue el manejo de tecnología de punta, permitiendo a la empresa estar actualizada de acuerdo a las necesidades de su mercado que se ve reflejado en el diagnóstico, casi el 80% de su equipo se encuentra contemplado en equipo "nuevo o de crecimiento" y solamente un 4% de este lo considera obsoleto.

Por último, de acuerdo a este diagnóstico a la empresa le conviene comprar o adquirir maquinaria de marca conocida como "OCRIM" ya que es la que satisface más sus necesidades tecnológicas de acuerdo a sus políticas y

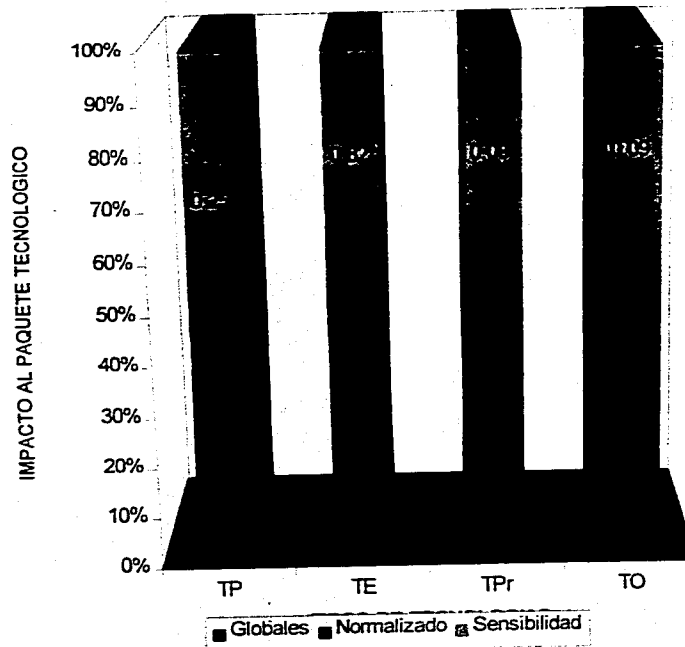


# CONTRIBUCIÓN TOTAL ADQUISICIÓN Y TECNOLOGÍA



77

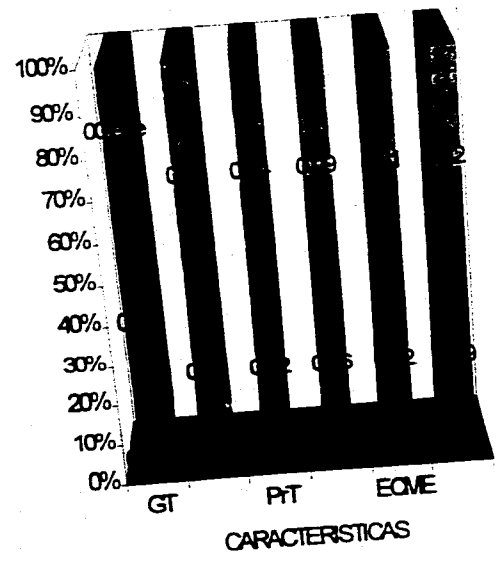
# CONTRIBUCIÓN TOTAL TECNOLOGIAS



ESTA SESIÓN NO PUEDE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

# CONTRIBUCIONES TOTALES

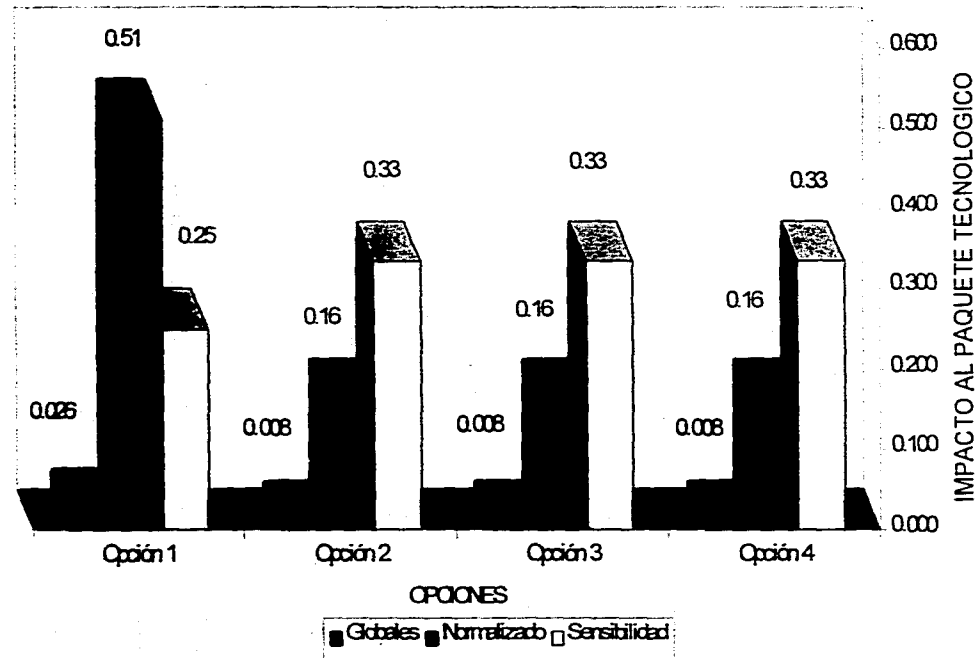
IMPACTOS AL PAQUETE  
TECNOLOGICO



■ Globales ■ Normalizado ■ Sensibilidad

# CONTRIBUCIONES TOTALES

## OPCIONES



estrategias. Los criterios  $C_{12}$  y  $C_{13}$  permiten observar la importancia que tiene para el empresario la Calidad de la Tecnología en donde el equipo "OCRIM" (62.5%) resalta y las demás opciones se mantienen con la misma calificación (12.5%).

El nivel de consistencia de toda la jerarquía es de  $C_{H_1} = 0.02198$  (muy bueno), lo que quiere decir que solamente el dos por ciento de la información que se obtuvo en el diagnóstico puede llegar a tener un sesgo significativo.

$$M_1 = \begin{bmatrix} .248200 & .122564 & .045072 & .104891 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 5.371 \times 10^{-2} \\ 3.582 \times 10^{-2} \\ 3.917 \times 10^{-2} \\ 3.799 \times 10^{-2} \end{pmatrix} = 2.347 \times 10^{-2}$$

$$\bar{M}_1 = \begin{bmatrix} 1.24 & 1.24 & 1.24 & 1.24 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 5.371 \times 10^{-2} \\ 3.582 \times 10^{-2} \\ 3.917 \times 10^{-2} \\ 3.799 \times 10^{-2} \end{pmatrix} = 1.068$$

$$C_H = M_1 / \bar{M}_1 = 2.347 \times 10^{-2} / 1.068 = 2.198 \times 10^{-2}$$

### 3.4 ESTUDIO DE SENSIBILIDAD

Se procede en forma similar pero ahora tomando la primera iteración ( $w_1$ ) dando como resultado las siguientes gráficas y tablas.

Gráfica 3.7, Tecnologías vs. Características.

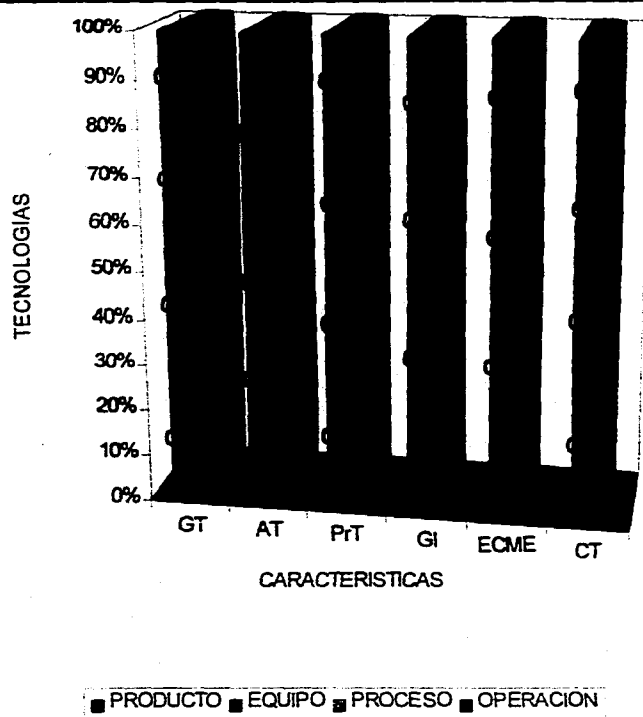
Tabla 7

Nivel gráfica	3 3.8	4 3.9	5 3.10
Impacto	$4.966 \times 10^{-2}$	$4.188 \times 10^{-2}$	.0256
Global por	$3.494 \times 10^{-2}$	$1.508 \times 10^{-2}$	$8.136 \times 10^{-3}$
Criterio o	$4.106 \times 10^{-2}$	$3.493 \times 10^{-2}$	$8.136 \times 10^{-3}$
Característica	$4.106 \times 10^{-2}$	$8.54 \times 10^{-3}$	$8.136 \times 10^{-3}$
		$2.929 \times 10^{-2}$	$3.742 \times 10^{-2}$

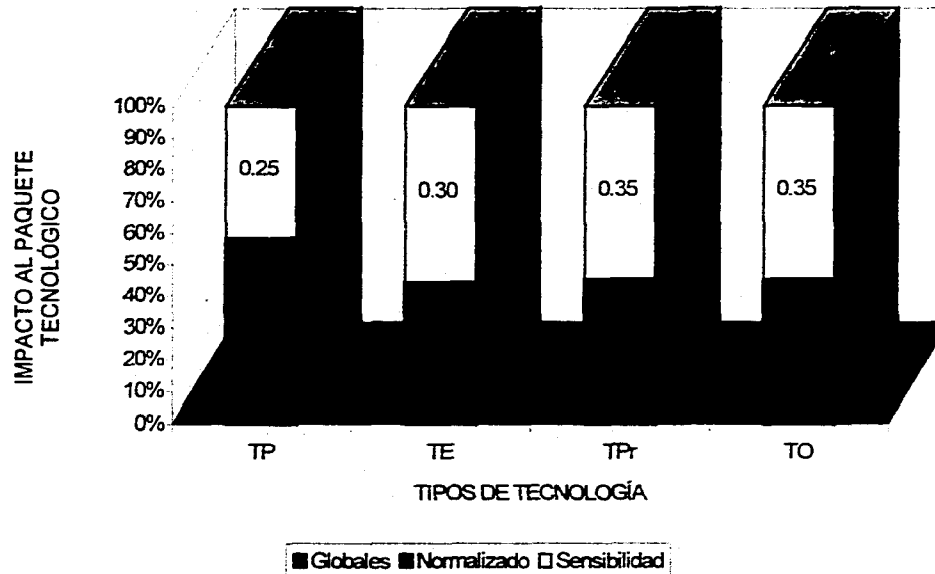
Normalizándolos

## IMPACTO LOCAL AL PAQUETE TECNOLÓGICO CARACTERÍSTICAS VS. TECNOLOGÍAS

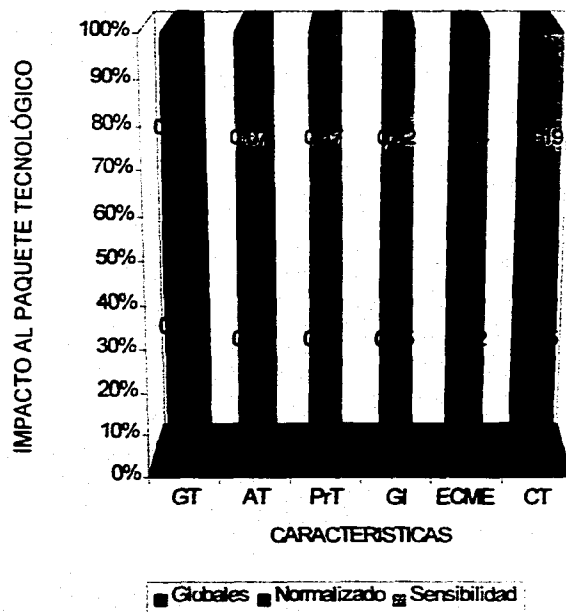
82



# CONTRIBUCIÓN TOTAL TECNOLOGÍAS



# CONTRIBUCIÓN TOTAL CARACTERISTICAS





## CONTRIBUCIONES TOTALES POR OPCIÓN

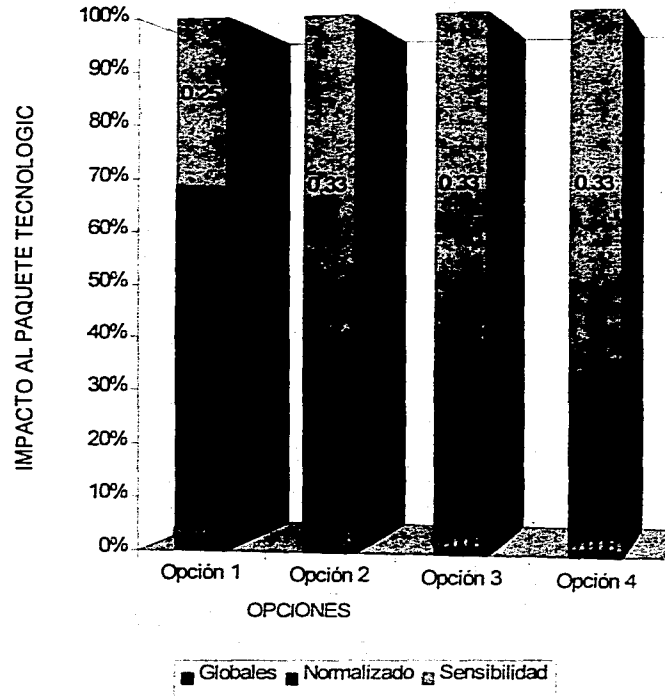


Tabla 8

Nivel gráfica	3	4	5
	3.8	3.9	3.10
		$GT = 0.17$	
Impacto	$TP = 0.30$	$AT = 0.06$	$OCRIM = 0.52$
Global por	$TE = 0.21$	$PrT = 0.14$	$BUHLER = 0.16$
Criterio o	$TPr = 0.25$	$GI = 0.35$	$GOLRETO = 0.16$
Característica	$TO = 0.25$	$ECME = 0.12$	$MORROS = 0.16$
		$CT = 0.15$	

Se puede observar que el orden general de las características no ha cambiado mucho, pero en el área de tecnologías se aprecia que la Tecnología de Producto pasa a ser la más importante, a diferencia de las otras características el Grupo de Investigación que del último lugar en importancia pasa a ser el primero, lo cual no es lógico debido que en el sector harinero no se caracteriza por haber investigación. Otra interpretación que puede justificar la contribución del Grupo de Investigación es la búsqueda de nuevas fronteras para el producto por medio de procesos y equipos que permitan dar un mayor valor agregado.

Por último las opciones siguen preservando las prioridades.

Los cambios observados son debido a una sobrevalorización o subvalorización en la calificación anterior, por lo que cada vez que se itere la eigenvalores se irán compensando hasta que converjan al valor "exacto".

Tomando la segunda iteración.

Gráfica 3.11, Tecnologías vs. Características.

Tabla 9

Nivel gráfica	3	4	5
	3.12	3.13	3.14
		$4.271 \times 10^{-2}$	
Impacto	$4.168 \times 10^{-2}$	$1.484 \times 10^{-2}$	$2.647 \times 10^{-2}$
Global por	$4.168 \times 10^{-2}$	$3.641 \times 10^{-2}$	$8.261 \times 10^{-3}$
Criterio o	$4.168 \times 10^{-2}$	$9.049 \times 10^{-3}$	$8.261 \times 10^{-3}$
Característica	$4.168 \times 10^{-2}$	$2.925 \times 10^{-2}$	$8.261 \times 10^{-3}$
		$3.445 \times 10^{-2}$	

Normalizándolos

Tabla 10

Nivel gráfica	3	4	5
	3.12	3.13	3.14
		$GT = 0.26$	
Impacto	$TP = 0.25$	$AT = 0.09$	$OCRIM = 0.52$
Global por	$TE = 0.25$	$PrT = 0.22$	$BUHLER = 0.16$
Criterio o	$TPr = 0.25$	$GI = 0.05$	$GOLRETO = 0.16$
Característica	$TO = 0.25$	$ECME = 0.18$	$MORROS = 0.16$
		$CT = 0.21$	

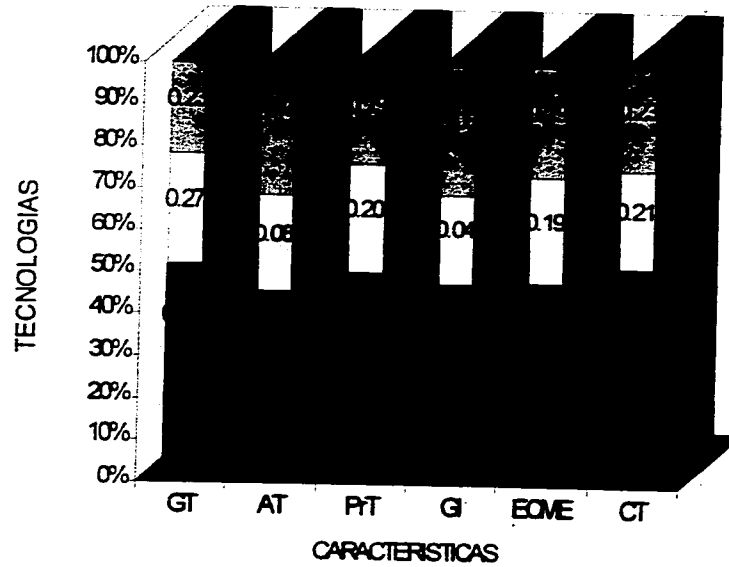
En este caso las tecnologías se ven compensadas por lo que su contribución se encuentra en la misma proporción, así mismo, en las características se observa de nuevo una compensación en área de Grupo de Investigación, volviendo de nuevo a tener casi los mismos valores que se mostraban al principio.

Por último se dan las medidas de consistencia para la primera y segunda iteración, las cuales disminuyen considerablemente.

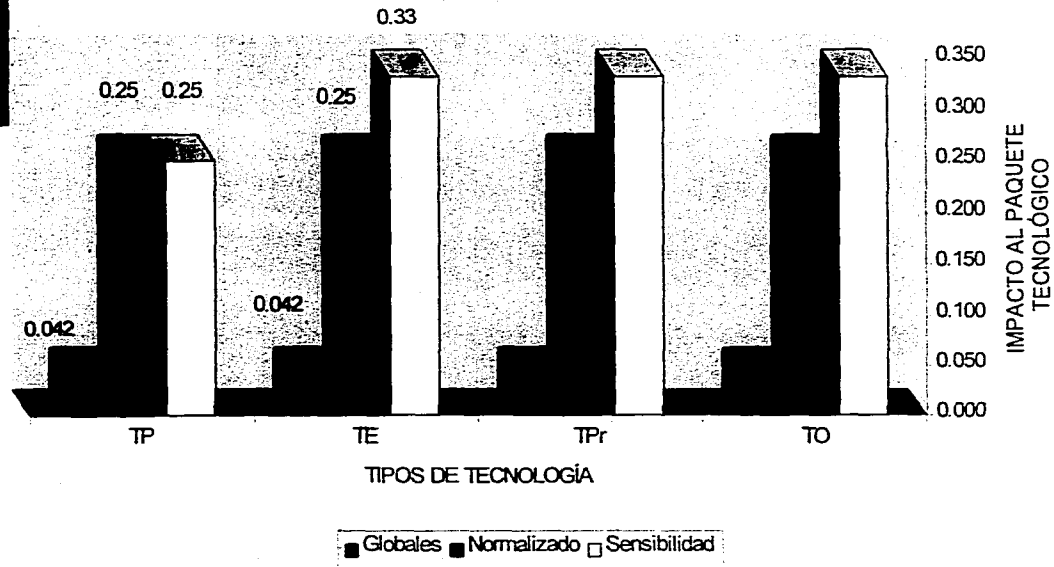
$$M_2 = 1.202 \times 10^{-3} \quad M_3 = 2.483 \times 10^{-4} \quad CH_2 = 5.812 \times 10^{-3}$$

$$\bar{M}_2 = 0.2068 \quad \bar{M}_3 = 7.291 \times 10^{-2} \quad CH_3 = 3.406 \times 10^{-7}$$

# IMPACTO LOCAL EN EL PAQUETE TECNOLÓGICO CARACTERÍSTICAS VS. TECNOLOGÍA

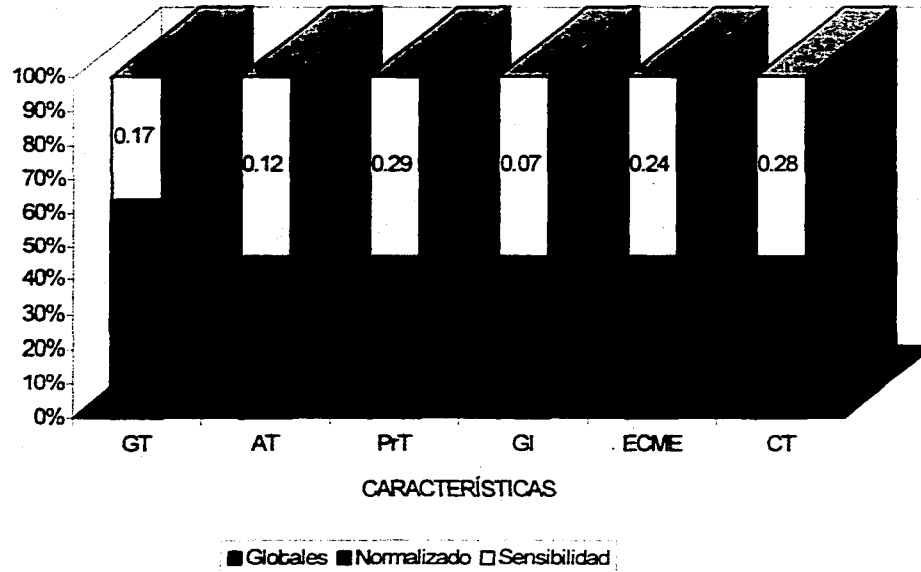


# CONTRIBUCIÓN TOTAL TECNOLOGÍAS

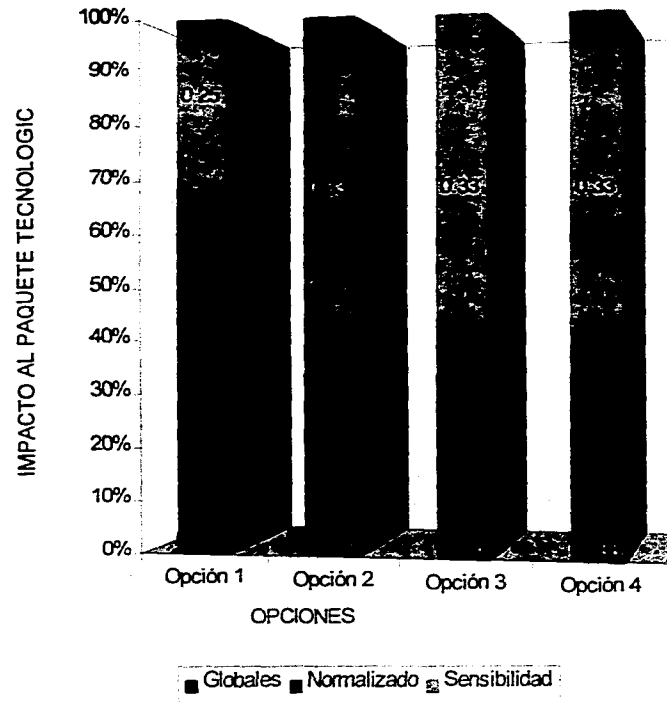


# CONTRIBUCION TOTAL CARACTERISTICAS

IMPACTO AL PAQUETE  
TECNOLÓGICO



## CONTRIBUCIONES TOTALES POR OPCIÓN







# CONCLUSIONES

Una de los aspectos que se persiguió con la realización de este trabajo, fue el desarrollo de un instrumento que reflejará la situación actual de la empresa en particular a nivel tecnológico.

Desde esta perspectiva, el cuestionario permitió el desarrollo de un perfil tecnológico para una empresa en particular, la cuál coincide con los estudios hechos para diversos sectores de la industria en espeical la de alimentos como se muestra en la Tabla de Composición Tecnológica Típica para Diversos Sectores.

Tabla 11, Composición tecnológica típica para diversos sectores

Componente Tecnológico	Producto	Equipo	Proceso	Operación
<b>Rama Industrial</b>				
Textil	A	A	M	M
<b>Alimentos</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>M</b>
Metal-Mecánico	A	A	M	M
Petroquímica	B	M	A	A
Colorantes y Pigmentos	A	B	M	M
Productos Farmacéuticos	A	M	B	A
Fertilizantes	B	M	A	A
Clave de contribución al PT	A=Alta	M=Media	B=Baja	

Fuente: CADENA G.

Retomando el aspecto tecnológico de la empresa, la Tecnología de Equipo le contribuye en un 73% en la conformación del Paquete Tecnológico, siguiéndole la Tecnología de Producto y por último la Tecnología de Proceso y Operación con un 11% y 8% cada uno. Con lo que respecta a la Tecnología de Servicio se encuentra vinculada con la Tecnología de Operación, ésta última aporta a la operación de la empresa en un 66.66% de donde podríamos deducir que ésta diferenciación es la que permite a la empresa sobresalir con respecto a su competencia, y el 13.34% corresponde a la parte complementaria de la Tecnología de Servicio. Comparando los resultados

obtenidos a partir del cuestionario y los que se muestran en la tabla, se puede concluir que efectivamente se tiene un comportamiento acorde con el estado de arte actual.

En cambio, si se observa la primera iteración, las ponderaciones quedan para la Tecnología de Producto 30%, Tecnología de Equipo 21%, Tecnología de Proceso y Operación 25%. lo que implica que todas las tecnologías involucradas en el desarrollo de la empresa van a la par, pero esto no puede ser posible ya que el mercado se encuentra demasiado maduro por lo que no permite cambios sustanciales.

Por lo anterior se puede decir que este objetivo se logró cubrir exitosamente. Sin embargo, es una primera aproximación de lo que puede desembocar a una serie de instrumentos complementarios, como es el caso del programa computacional que se desarrolló para este objetivo.

No obstante, dicho programa esta sufriendo una serie de modificaciones para que el usuario tenga una interacción más amigable con el mismo. La aportación esencial de este instrumento es un nuevo enfoque de valuación de los elementos tecnológicos además de sustentar la toma de decisiones en caso de ser necesario.

Se persigue además una posible difusión del software en cuanto este haya evolucionado satisfactoriamente a nivel de usuario, apoyando cursos de monitoreo tecnológico (Nacional Financiera, Instituto Politécnico Nacional, Universidad Nacional Autónoma de México) entre otras instituciones.

Otro aspecto importante es el hecho de ser una referencia bibliográfica, la cual será de utilidad en caso de querer profundizar en el tema en forma teórica o para mejorar el programa de computo realizado.

Dentro del área de investigación, esta metodología se puede usar en proyecciones demográficas, económicas (matriz de coeficientes tecnológicos), costo-beneficio y psicología entre otras donde se han visto aplicadas con resultados similares a los métodos tradicionales, además de tener la ventaja de que se puede hacer dinámico y con retroalimentación con una extrapolación a un análisis multivariado.

Para el desarrollo profesional del Actuario, el campo de la tecnología es un nicho todavía sin explorar, por lo que permite al profesional del área hacer uso de su formación académica para crear modelos que permitan ver las tendencias tanto en áreas técnicas como funcionales que pudieran ser de interés en un área específica y apoyar a la toma de decisiones, esto se puede hacer por medio de las patentes publicadas. Se tienen también como ejemplo las curvas logísticas, que dejan una clara idea de la tendencia de un proceso y sus cotas (inferiores o superiores) de rendimientos tecnológicos que llegarán hasta un límite provocando un cambio drástico y por lo tanto

una discontinuidad en la curva (las dimensiones y techos tecnológicos).

El análisis de factores y discriminantes permite al Actuario compenetrarse y comprender más los fenómenos que se llevan a en el ambiente empresarial aportando así un enfoque crítico y sin perdida de la parte cualitativa que enriquecerá su perfil profesional.



# BIBLIOGRAFIA

WIERZBICKI, A.P., A mathematical basis for satisficing Decision Making, *Mathematical Modelling, An International Journal*, V. 3, No. 6, pp.391-405, 1982.

BASAK, I., When to Combine Group Judgments and When not in The Analytic Hierarchy Process, *Mathematical Modelling, An International Journal*, V. 10, No. 6, pp.395-404, 1988

CADENA, G., et. al., *Administración de proyectos de Innovación Tecnológica*, UNAM, 1986.

CASTELLS, P.E. & PUERTA, GONZÁLEZ E., La estrategia tecnológica de la empresa un método para su formulación, pp 57-77.

CLELAND, D. I & KOCAOGLU, D.F., *Engineering Management*, McGraw-Hill, 1986.

EDWARDS, W. & TVERSKY, A., *Toma de Decisiones*, Fondo de Cultura Economica, 1967.

LARA, F., *Metodología para la planeación de sistema: un enfoque prospectivo*, Cuaderno de Planeación Universitaria, 3a. época, A.4, No. 2, 1990.

MIKLOS, T. & TELLO, M.E. , *Planeación prospectiva*, Fundación Javier Barros Sierra, A.C.,

KOCZKODAJ, W.W., A new definition of consistency of pairwise comparisons, *Mathematical Modelling, An International Journal*, V. 18, No. 7, pp.79-84, 1993 .

LAMBERT, J.M., The extended Analytic Hierarchy Decision Method, *Mathematical Modelling, An International Journal*, V. 15, No. 11, pp.141-151, 1991

MERCADO, E., *Técnicas para la Toma de Decisiones*, Ed. Limusa, México, 1991.

RODRIGUEZ, D. & SOLLEIRO, J.L., Aspectos conceptuales y metodológicos de la gestión tecnológica, Selección y Avalúo de Tecnologías: Dos Elementos Básicos para la Negociación, Centro para la Innovación Tecnológica, México, pp 185-197.

**RUSSO, J.E. , SCHOEMAKER, PAUL J.H.,** Trampas en la Toma de Decisiones, Instituto Mexicano de Contadores Publicos, A.C., México, 1987.

**SAATY, T.L.,** The Analytic Hierarchy Process, McGrawHill, New York, 1980.

**SAATY, R.W.,VARGAS, L.G.,** The Analytic Hierarchy Process: Theoretical Developments and some Aplications , Mathematical Modelling, An International Journal, V. 9, No. 3-5, 1987.

**SEN, P. & YANG, J.B.,** Desing Decision Making Based Upon Multiple Atribute Evaluations and Minimal Preference Information, Mathematical Modelling, An Evaluations and Minimal Preference Information, Mathematical Modelling, An International Journal, V. 20, No. 3, pp.107-124,1994

**TRENS, E., et. al.,** Methodology to Evaluate Technological Innovation Projects In Their Precompetitive Stage, Centro Para la Innovacion Tecnologica, UNAM, 1225 - 1234.

**VARGAS, L., FATEMEH (MARIAM) ZAHEDI,** Analitic Hierarchy Process,. Mathematical Modelling, An International Journal, V. 17, No. 4/5, 1993.

**VELASQUEZ & MACHADO F.M.,** La Gestión de la Innovación Tecnológica en empresas de servicio: Análisis de su competitividad tecnológica, CEGESTI , pp. 117-140, 1987.

**WILKINSON, A,** Developing an expert system on project evaluation, part I: Structuring the expertise, R&D Management, v. 21, No. 3 July., 1991

**WILKINSON, A.,** Developing an expert system on project evaluation, part II: Structuring the expertise, R&D Management, v. 21, No. 1 January., 1991.

**WILKINSON, A.,** Developing an expert system on project evaluation, part III: Structuring the expertise, R&D Management, v. 21, No. 4, October., 1991.

## APÉNDICE B: PROGRAMA COMPUTACIONAL

### "JER" EN LENGUAJE C

```
Archivo def Jer.h -se definen constantes utilizadas en el programa */
char *mensaje1[ ] = {
    "El programa de Jerarquizacion analitica basa sus resul-",
    "tados en la informacion que proporciona un conjunto de",
    "expertos, los cuales comparan las alternativas de un",
    "problema de decisiones en forma pareada; esto es, de par",
    "en par de alternativas, y eligen tanto la alternativa de",
    "su preferencia, como la fuerza de dicha preferencia",
    "usando una escala que va de 1 (igual preferencia entre",
    "ambas opciones) al 9 (absoluta importancia de una sobre",
    "la otra)0",
    "El programa pide se le dé el número de alternativas",
    "que los asesores deberán comparar entre sí, así como el",
    "número de asesores o calificaciones que habrá para cada",
    "comparación. El programa usa tres criterios para prome-",
    "diar las calificaciones dadas, con objeto de que los",
    "resultados reflejen la opinión del grupo, a saber :";
char *mensaje2[ ] = {
    "1) Todas las calificaciones son enteras o todas fraccionarias.",
    "En este caso se usa la media aritmética; esto es, se suman",
    "las calificaciones y se divide dicha suma entre el número",
    "de datos.",
    " ",
    "2) Las evaluaciones son igualmente enteras que fraccionarias.",
    "En esta situación el promedio se obtiene usando una media",
    "geométrica, es decir, que se multiplican los n datos y al",
    "resultado se le saca raíz n-ésima.",
    " ",
    "3) Hay un dato atípico. Cuando todos los datos son ente-",
    "ros o fraccionarios, excepto por uno, que en el primer caso",
    "es fraccionario y en el segundo es entero; entonces, se",
    "elimina ese único dato atípico y se usa la media aritmética",
    "con los valores restantes.",
    " ",
    "Estas comparaciones forman una matriz A de (N x N), siendo",
    "N el número de alternativas. De dicha matriz se obtiene por",
    "medio de un algoritmo numérico su vector y valor caracteris-",
    "tico máximo. Tal vector normalizado proporciona las relevan-",
    "cias requeridas de las alternativas al problema de decisión";
char *veccom[ ] = "I", "II", "III", "IV", "V", "VI";
#define TAMMEN1 15 /* Tamaño en líneas del mensaje 1 */
#define TAMMEN2 21 /* Tamaño en líneas del mensaje 2 */
#define FALSE 0
#define TRUE 1
#define ENTERO 2
#define FRACCION 3
#define ARITMETICO 4
#define GEOMETRICO 5
```





```

clrscr(); i = 0;
do
{
    /* En la variable mensaje2 está alma- */
    gotoxy(10,i+2); /* cenado el segundo texto */
    printf("%s", mensaje2[i]); ++i;
} while (i < TMMEN2);
gotoxy(35, 24);
printf("Presione una tecla");
if (0 == getch())
    getch();
}
/*
Lee cuál será la dimensión del problema, así como el número de asesores que
van a evaluar.

```

```

{
textcolor(MAGENTA); /* Pone el color para los mensajes de violeta */
gotoxy(15,2);
printf(" ALGORITMO DE JERARQUIZACION ANALITICA ");
gotoxy(15 ,4);
printf("EL PROGRAMA ESTA LISTO PARA RECIBIR SUS DATOS");
do
textcolor(MAGENTA);
gotoxy(15,6); clrscr();
printf("INTRODUZCA LA DIMENSIÓN DEL PROBLEMA. . .");
gotoxy(36,6); scanf("%d", &Ndatos);
if((Ndatos <= 1) :: (Ndatos > 8))
{
textcolor(RED); /* La máxima dimensión permitida es 8 */
gotoxy(10,24);
printf("aERROR LA DIMENSION DLBE SER >= 1 Y <= 8.PRESIONE;
CUALQUER TECLA");
if (0 == getch())
    getch();
gotoxy(1,24); clrscr();
}
} while((Ndatos <= 1) :: (Ndatos > 6));
gotoxy(15,8);
printf("DIMENSIÓN = %d", Ndatos);
do
{
textcolor(MAGENTA);
gotoxy(15,10); clrscr();
printf("INTRODUZCA NUMERO DE PERSONAS QUE EVALUARON. . .");
gotoxy(65,10); scanf("%d", &Numper);
if ((Numper ~ 0)(Numper > 15)
textcolor(RED);
gotoxy(10,24);
printf("aERROR EL NUMERO DE PERSONAS DEBE SER > 0 Y <= 15.;
PRESIONE CUALQUER TECLA");
if (0 == getch())
    getch();

```

```

gotoxy(1,24); clrscr();
}
}while((Numper <=0) :: (Numper > 15));
gotoxy(15, 12);
printf("NUMERO DE PERSONAS = %d", Numper);
/

```

Lee y valida las calificaciones de los asesores, sólo permite introducir números, además verifica que las calificaciones están entre 1 y 9 para enteros y entre 1/2 y 1/9 para fracciones.

```

float LeeDatos(aseesor)
char aseesor;
}
char c,c aux,cont=1,sal=FALSE;
float num,den,resultado;
gotoxy(20,24);
textcolor(GREEN);
printf("CALIFICACION DEL ASESOR %d =", aseesor);
do
{
gotoxy(48+cont,24);
c=getch(); /* Las entradas se leen caracter por caracter y poste- */
if(0==c) /* riormente se convierten a número */
c=getch();
else
if(cont <=3)
switch(cont){
case 1: switch(c){ /* El caso entero */
case '1'
: ++cont;
es fracción = FALSE;
numerador =
1; printf("%c",c);
break;
case '2'
: ++cont;
es fracción = FALSE;
numerador = 2; printf("%c",c);
break;
case '3'
: ++cont;
es fracción
= FALSE;
numerador
= 3; printf("%c",c);
break;
case '4'
: ++cont;
es fracción
= FALSE;
numerador

```

```

= 4; printf ("%c",c);
break;
case '5'
: ++ cont;
es fracción
= FALSE;
numerador
= 5; printf ("%c",c);
break;
case '6'
: ++ cont;
es fracción
= FALSE;
numerador
= 6; printf ("%c",c);
break;
case '7'
: ++ cont;
es fracción
= FALSE;
numerador
= 7; printf ("%c",c);
break;
case '8'
: ++ cont;
es fracción
= FALSE;
numerador
= 8; printf ("%c",c);
break;
case '9'
: ++ cont;
es fracción
= FALSE;
numerador
= 9; printf ("%c",c);
break;
) /* fin del switch(c) */
break;
case 2: if((C=='/')):(C==ENTER))
if(C==ENTER) /* El número fue un entero */
sal=TRUE;
else /* Si hay un '/' El número es fracción */
)
    es fracción = TRUE;

+ +cont;
printf("%c" ,c);
}
case 3: if(numerador!=1) /* Solo se permite como numerador */
{
/* al 1 pues las fracciones deben */

```

```

textcolor(RED); /* estar entre .111 y .5 */
gotoxy(1,24);
printf("%f\n", "ERROR EL NUMERADOR DEBE",
" SER 1. PRESIONE UNA TECLA");

```

```

if(0==getch())
gotoxy(1,24);
clrscr();
textcolor(GREEN);
gotoxy(20,24);
printf("CALIFICACION DEL ASESOR %d = ",asesor);
cont = 1;
}
else
switch(c){ /* No se permiten divisiones entre cero */
case '2': nol=TRUE; printf("%c",c);denominador = 2;
/* se lee el denominador */
do

```

```

c aux = getch();
if(0==c aux)
gotoxy(1,24);
}while(ENTER != toupper(c aux));
break;

```

```

case '3':
nol=TRUE; printf("%c",c); denominador = 3;
do

```

```

c aux = getch();
if(0==c aux)
gotoxy(1,24);
}while(ENTER != toupper(c aux));
break;

```

```

case '4':
nol=TRUE; printf("%c",c); denominador = 4;
do

```

```

c aux = getch();
if(0==c aux)
gotoxy(1,24);
}while(ENTER != toupper(c aux));
break;

```

```

case '5':
nol=TRUE; printf("%c",c); denominador = 5;
do

```

```

c aux = getch();
if(0==c aux)
gotoxy(1,24);
}while(ENTER != toupper(c aux));
break;

```

```

case '6':
nol=TRUE; printf("%c",c); denominador = 6;
do

```

```

c aux = getch();
if(0 == c aux)
getch();
    }while(ENTER != toascii(c aux));
break;
case '7':
sal=TRUE; printf("%c",c); denominador = 7;
do
c aux = getch();
if(0 == c aux)
getch();
    }while(ENTER != toascii(c aux));
break;
case '8':
sal=TRUE; printf("%c",c); denominador = 8;
do
c aux = getch();
if(0 == c aux)
getch();
    }while(ENTER != toascii(c aux));
break;
case '9':
sal=TRUE; printf("%c",c); denominador = 9;
do
c aux = getch();
if(0 == c aux)
getch();
    }while(ENTER != toascii(c aux));
break;
/* fin del switch(cont) */
}while(!sal);
delay(300);
gotoxy(1,24);
clrscr();
if(cont==3) /* El número fue fracción */
{
num = numerador;
den = denominador;
resultado = num/den;
}
else /* El número fue entero */
{
núm = numerador;
resultado = num;
}
return(resultado);
}
/*
En el parámetro "cual" encontramos información de si el promedio debe ser
geométrico o aritmético. El parámetro atípico nos dice si existen datos atípicos
(TRUE) o no (FALSE).
*/

```

```

float SacarFrom(cual, atipico)
Char cual, atipico;
{
  Char i;
  float suma=0.0; producto=1; promedio;
  if(!atipico) /* No existen datos atipicos */
  if(cual == ARITMETICO)
  {
    /* Se saca un promedio aritmético */
    for(i=0; i < Nump; ++i)
      suma = suma + dato[i];
    promedio = Suma/Nump;
  }
  else
    /* Se saca un promedio geométrico */
    for(i=0; i < Nump; ++i)
      producto = producto * datos[i];
    promedio = pow(producto, 1.0/Nump);
  }
  else
    /* Existe un dato atipico */
    if(cual == ARITMETICO) /* El promedio calculado sera aritmético */
    if(atipico == FRACCION)
    {
      for(i=0; i < Nump; ++i)
        if(dato-a[i] > 1) /* Como existe un dato atipico fraccionario */
          suma=suma+datos[i]; /* se anula este dato y se saca el */
          promedio = suma/(Nump-1); /* promedio en forma normal */
    }
    else
      for(i=0; i < Nump-r; ++i)
        if(dato-[i]<=1) /* Ahora el dato atipico es entero, así que */
          suma=suma+datos[i]; /* se elimina el dato entero y se cal- */
          promedio = suma/(Nump-r-1); /* cula el promedio normalmente */
    }
    else /* El promedio a calcular es geométrico */
    if(atipico == FRACCION)
    {
      for(i=0; i < Nump; ++i)
        if(dato-[i] > = 1) /* Como existe un dato atipico fraccionario */
          producto=producto*datos[i]; /* se anula este dato y se saca */
          promedio = pow(producto, 1.0/(Nump-1)); /* el promedio en forma */
    }
    /* normal */
    {
      for(i=0; i < Nump-r; ++i)
        if(dato-[i]<=1) /* Ahora el dato atipico es entero, así que */
          producto=producto*datos[i]; /* se elimina el dato entero y */
          promedio=pow(producto, 1.0/(Nump-1)); /* se calcula el pro- */
    }
    /* medio normal */
    return(prom-dio);
  }
}

```

```

/* _____
Este procedimiento hace todas las comparaciones y llena la matriz de datos.
*/
ComparaElementos()
char contf, conte, cont uno, cual, i, j, k, margen, haz sp, atipico = FALSE;
float LeeDatos(), SacarPROM(); /* declaración de funciones */
for (i=0; i<Ndato~; ++i) /* Comienzan las comparaciones */
for (j=i+1; j<Ndatos; ++j) /* El elemento pivote se compara con los */
    { /*elementos que adelante están adelante de él */

textcolor(YELLOW);

atipico = FALSE,
    haz sp = TRUE;

clrscr();
gotoxy(20,2);
printf("LOS ELEMENTOS A COMPARAR SIÓN: %~ VS %c", veccom[i], veccom[j]);
gotoxy(15,3);
printf(" -----");
margen = contf = cont~ = cont uno = 0;
gotoxy(20,5);
printf("Vector de comparaciones");
gotoxy(5,9);
printf("");
for (k=0; k<Numper; ++k)
    {
if((datos[k] = LeeDatos(k+1)<1) /* LeeDatos() lee las cali- */
    ++contf, /* ficaciones de los asesores */
    else
    if(datos[k] == 1. 0)
        ++ cont uno;
    else
    ++ conte;
gotoxy(7+margen,7); printf("A%d", k+1);
gotoxy(7+margen,8); printf("%c", 25);
gotoxy(7+margen,9);
if (k < Numper-1)
    if(es fracción)
        {
printf("%d/~od, ", numerador, denominador);

margen = margen+4;
        }
    else
        {
printf("%d/%d, ", numerador);
margen = margen + 3
        }
    else
    if(es fracción
    )

```

```

    {
    printf("%d/%d", numerador, denominador);
    margen = margen+4;
    }
    else
    {
    printf(" %d ", numerador);
    margen = margen + 2;
    }
} /* for k */
gotoxy(7+margen,9); printf("");
if((contf==1)&&(conte==0)) /* Los unos se consideran tanto */
contf = contf + cont uno; /* fracción como entero según */
else /* convenga */
if((conte == 1)&&(contf==0))
contf = conte + cont uno;
if((contf==1) :: (conte==1)) /* puede haber un dato atípico */
if (Numperl==2)
cual = GEOMETRICO;
else
if(Numperl = 1)
{
if(contf==1) /* el dato atípico es menor que 0 */
atípico = FRACCION;
else /* el dato atípico es un entero */
atípico = ENTERO;
cual = ARITMETICO;
}
else
{
/* como solo hay un dato no es necesario */
A[i][j] = datos[i]; /* sacar el promedio */
haz sp = FALSE;
}
else
if((contf == 0) :: (conte == 0))
cual = ARITMETICO; /* Se requiere promedio aritmético */
else
cual = GEOMETRICO; /* Se requiere promedio geométrico */
if (haz sp)
A[i][j] = SacarProm(cual, atípico);
gotoxy(35,15); printf("a PROMEDIO = %f", A[i][j]);
gotoxy(25,24); printf("Para continuar presione una tecla");
if(0 == getch())
getch();
gotoxy(1,24); clrscr();
atípico = FALSE;
} /* for */
/*

```

Este procedimiento calcula las relevancias de cada elemento, desarrolla el algoritmo y encuentra el valor característico máximo y el índice de consistencia.

\*/



```

SacaPorcentajes()
{
int i,k,j;
float z,suma,suma1,Norma,Norma1,Lamda,Ro,Eps;
float c[6],c1[6],c2[6],y[6],b[6][6],b1[6][6];
Eps = 1e-4;
clrscr();
/* Se llena la diagonal inferior de la matriz A con los reciprocos de la
diagonal superior */
for(i=1;i<Ndatos;++i)
for(j=0;j<=i-1;++j)
A[i][j] = 1/A[i][i];
for(i=0;i<Ndatos;++i)
A[i][i] = 1;
gotoxy(25,12);
printf("MATRIZ DE DATOS");
for(i=0;i<Ndatos;++i)
{
gotoxy(25,14+i);
for(i=0;i<Ndatos;++i)
printf("%5.2f' ',A[i][j]);
gotoxy(25,24);
printf("Presione alguna tecla. .");
if (0==getch())
getch();
/* Comienza el algoritmo */
for (i=0;i<Ndatos;++i)
y[i] = 1;
for(i =0,i < Ndatos; ++ i)
{
suma = 0;
for(k = 0;k < Ndatos; ++ k)
suma = suma + A[i][k]* y[k];
c[i] = suma;
}
Norma = 0;
for(i = 0;i < Ndatos; ++ i)
Norma = Norma + c[i]*y[i];
Norma = sqrt (Norma);
for(i=0;i<Ndatos;++i)
{
for(i =0,i < Ndatos; ++ j)
b[i][j] = A[i][j]/Norma;
c[i] = c[i]/Norma;
/* comienza el algoritmo a iterar */
for(l=0,l<25;++l)
{
for(i = 0; i < Ndatos; ++ i)
for(j = 0; j < Ndatos; ++ j)
{
suma = 0;
for(k=0;k<Ndatos; ++k)

```

```

sumal = sumal + b[i][k]*b[k][j];
bl[i][j] = sumal;
}
for(i=0; i <= 0; i < Ndatos; ++i)
{
suma = 0;
for(j=0; j <= 0; j < Ndatos; ++j)
suma + suma+bl[i][j]*y[i];
c[i] = suma;
}
suma = 0;
for(i=0; i<Ndatos; ++i)
suma + suma +c[i]*y[i];
Normal = sqrt(suma)
for(i=0; i<Ndatos; ++i)
{
for(j=0; j < Ndatos; ++j)
bl[i][j] = b[i][j]/Normal;
c[i] = c[i]/Normal;
c2[i] = c[i] - c1[i];
}
z = 0;
for(j=0; j < Ndatos; ++j)
z = z + c2[i]*c2[j];
z = sqrt(z);
if (z < Eps)
{
clrscr();
gotoxy(19,5);
printf("EL ALGORITMO CONVERGIO EN %d ITERACIONES",i);
suma = 0;
for(i = 0; i < Ndatos; ++ i)
suma = suma + c[i]*y[i];
for(i=0; i < Ndatos; ++ i)
c[i] = (100+c[i])/suma;
gotoxy(19,7);
printf("VECTOR CARACTERISTICO EN %");
for(i =0; i < Ndatos; ++ i)
{
gotoxy(25,9+i);
printf("%d, - %5.2f %", i+1, c[i]);
/* cálculo del vector característico máximo */
for(i = 0; i < Ndatos; ++ i)
{
suma = 0;
for(i=0, j<Ndatos; ++i)
suma = suma + A[i][j]*c[j];
y[i] = suma;
}
suma = suma l = 0;
for(i = 0 ; i < Ndatos; ++ i)
{

```

```

        suma = suma + y[i]*c[i];
        sumal = sumal + c[i]*c[i];
    }
    Lamda = suma/sumal;
    Ro = (Lamda-Ndatos)/(Mdatos-1);
    gotoxy(19,18);
    printf("VALOR CARACTERISTICO MAXIMO = %f", Lamda);
    gotoxy(19,19);
    printf("INDICE DE CONSISTENCIA = %f", Ro);
    gotoxy(30,24);
    printf("Presione alguna tecla para continuar");
    if(0 == getch())
    getch();
    gotoxy(1,24); clrscr(); return;
} /* fin del if */
else
for(i=0; i<Ndatos; ++i)
{
for(j=0; j<Ndatos; ++j)
b[i][j] = b[i][j];
c[i] = c[i];
}
} /* fin del for l = 0 to 24 */
gotoxy(19,5);
printf("COMENTARIO: El algoritmo no converge");
gotoxy(30,24);
printf("Presione alguna tecla para continuar");
if(0 == getch())
getch();
gotoxy(1,24); clrscr();
}
/* _____ BLOQUEPRINCIPAL _____ */
main()
}
char c;
Presenta(); /* De una explicacion del programa */
do{
clrscr();
LeeDatosInc(); /* Se lee Ndatos y Numper */
ComparaElementos(); /* Hace las comparaciones y llena la diagonal */
/* superior de la matriz A[[[1] */
SacarPorcentajes(); /* hace el algoritmo; si este converge despliega */
/* los porcentajes (relevancias) de cada elemento */
printf ("¿DESEA PROCESAR OTROS DATOS? (S = 'SI'/N= 'NO')");
do)
if(0 == (c=getch()))
c= getch();
}
while((c = 78)&&(c = 83)&&(c = 110)&&(c = 115));
while((c=83)(c=115));
textcolor(WHITE);

```

# **APÉNDICE B**

## **CUESTIONARIO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE PAQUETES TECNOLÓGICOS DE PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS**

El cuestionario consta de 5 de etapas y cada una de ellas ayudará a establecer la importancia de los elementos tecnológicos con los que consta su empresa.

### **I.- DATOS GENERALES**

Nombre y puesto que desempeña.
Dirección y teléfonos donde se le pueda localizar
¿Cuál ha sido la evolución de la compañía competitivamente a nivel nacional e internacional?

## INTRODUCCIÓN

En la siguiente sección le presentamos un ejemplo y la Escala Fundamental por medio de la cual usted podrá irse familiarizando con el auto diagnóstico.

### ESCALA FUNDAMENTAL

1	Igual de importancia	De igual contribución para el objetivo.
3	Ligera importancia de una sobre la otra.	Evidencia a favor de uno, pero no es concluyente
5	Esencial o fuerte importancia.	Existe una buena evidencia y un criterio lógico para mostrar que una es más importante sobre la otra.
7	Importancia demostrada	Existe evidencia concluyente para mostrar la importancia de una actividad sobre la otra.
9	Importancia absoluta	La evidencia a favor de una actividad sobre la otra es del orden de afirmación más alto posible.
Compromiso 2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos calificaciones adyacentes, se usa cuando hay duda en la asignación de un valor para alguna característica.	Existe compromiso entre dos valores.

#### Ejemplo:

Supongamos que tenemos el *criterio de Helados y una Escala de Calificaciones* (ver tabla) con las cuales se ayudará a expresar el grado de importancia que tiene para usted los elementos que se comparan.

¿Cuál de las opciones prefiere "Helado de Chocolate vs. Helado de Vainilla"?

1	3	X	7	9	Helado de Chocolate vs. Helado de Vainilla	1	3	5	7	9
---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---

Es decir, prefiero la alternativa de Helado de Chocolate sobre el de Vainilla con calificación "8" debido a que existe **IMPORTANCIA FUERTE** y **UN CRITERIO LÓGICO** (por ejemplo: me agrada el sabor y además no me causa alergia, la cruz va del lado de la preferencia).

Pero en caso de que tenga duda de la calificación que le debo de dar, puede poner un valor de compromiso entre ellos (3 y 5) como ejemplo el "4". Al igual que en el caso anterior la cruz va del lado de la preferencia.

1	3	X	5	7	9	Helado de Chocolate vs. Helado de Vainilla	1	3	5	7	9
---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---

Otro de los problemas al cual nos podemos enfrentar es el siguiente:

¿Qué es más importante, hacer una adquisición Integral o parcial de los accesorios para los helados?

Es decir, me conviene comprar los conos o vasos, el despachador, las servilletas en forma Integral o basta con que haga una compra parcial del helado.

Supongamos que nos da lo mismo, por lo que ponemos calificación de "1", **IGUAL CONTRIBUCIÓN**, por lo que la cruz puede ser colocada de cualquier lado.

X	3	5	7	9	Adquisición Integral vs. Adquisición Parcial	X	3	5	7	9
---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---

Una vez que se han visto algunos ejemplos, se dará inicio formalmente al auto diagnóstico.

## AUTODIAGNÓSTICO TECNOLÓGICO

### INSTRUCCIONES

En cada una de las etapas del cuestionario indicar con una cruz la calificación respectiva para la característica deseada haciendo uso de la siguiente Escala Fundamental y de las definiciones dadas para cada nivel.

#### PRIMER NIVEL.- Definición de Criterios.

**Paquete Tecnológico.-** Conocimientos científicos organizados de distintas clases (científicos, técnico, empírico, etc.), proveniente de diversas fuentes (descubrimientos científicos, otras tecnologías, libros, manuales, patentes, etc.) a través de métodos diferentes (investigación, desarrollo, adaptación, copia, espionaje, expertos, etc.).

**Tecnología Dominada.-** Es aquella *tecnología conocida y manipulada* por el personal que cumple con los propósitos de la empresa (operacional y administrativo).

**Tecnología Alternativa.-** Es aquella opción a la que se puede recurrir para cubrir *deficiencias y/o aprovechar oportunidades* (costos, aspectos ecológicos, etc.) en un área, obteniendo una mejora parcial o integral.

¿Cuál de las opciones tecnológicas prefiere para formar el paquete tecnológico?

1	1	3	5	7	9	Tecnología Dominada vs. Tecnología Alternativa	1	3	5	7	9
---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---

#### SEGUNDO NIVEL.- Definición de Criterios.

Las características anteriormente descritas son incorporadas por medio del proceso de Innovación Tecnológica, y sus modalidades son:

- 1) **Adquisición Integral**, en la cual se adquiere todos los aspectos del paquete tecnológico y,
- 2) **Adquisición Parcial**, se adquiere solo una porción del paquete tecnológico y por lo tanto se resuelve una problemática específica o se ha desechado un cuello de botella.

¿Bajo el criterio de Tecnología Dominada, que tan importante o preferible es hacer una adquisición de tecnología integral o parcial para su competitividad y conformación del paquete tecnológico?

2	1	3	5	7	9	Adquisición Integral vs. Adquisición Parcial	1	3	5	7	9
---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---

¿Bajo el criterio de Tecnología Alternativa, que tan importante o preferible es hacer una adquisición de tecnología integral o parcial para el paquete tecnológico y su competitividad?

3	1	3	5	7	9	Adquisición Integral vs. Adquisición Parcial	1	3	5	7	9
---	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---

**TERCER NIVEL.-** Definición de Criterios.

**Tecnología de Producto.-** Es aquella relacionada con las *normas*, las *especificaciones* y los requisitos generales de *calidad y presentación* que debe cumplir el producto que queremos obtener (un bien o servicio)

**Tecnología de Equipo.-** Es aquella relacionada con las características que debe poseer los bienes de capital necesarios para *producir un bien o servicio*.

**Tecnología de Proceso.-** Relacionada con las *condiciones, procedimientos y formas de organización* necesarios para combinar insumos, recursos humanos y bienes de capital de la manera adecuada para producir un bien o servicio.

**Tecnología de Operación.-** Se refiere a las *normas y procedimientos* aplicables a las tecnologías de productos, de equipo y proceso (Know-How); y que son necesarias para asegurar la calidad, la confiabilidad, la seguridad física, la durabilidad de la planta productiva y de sus productos hasta el proceso de producto terminado sin tomar en cuenta el proceso posventa. Por otro lado la Tecnología de Servicio la tomaremos como parte de la Tecnología de Operación.

¿En cada una de las comparaciones siguientes, cual de las tecnologías consideradas contribuye más al desarrollo de su producto o servicio, en el caso de que sea su tecnología dominada?

4	1	3	5	7	9	Tecnología Producto vs. Tecnología Equipo	1	3	5	7	9
5	1	3	5	7	9	Tecnología Producto vs. Tecnología Proceso	1	3	5	7	9
6	1	3	5	7	9	Tecnología Producto vs. Tecnología Operación	1	3	5	7	9
7	1	3	5	7	9	Tecnología Equipo vs. Tecnología Proceso	1	3	5	7	9
8	1	3	5	7	9	Tecnología Equipo vs. Tecnología Operación	1	3	5	7	9
9	1	3	5	7	9	Tecnología Proceso vs. Tecnología Operación	1	3	5	7	9

¿En cada una de las comparaciones siguientes, cual de las tecnologías consideradas contribuye más al desarrollo de tu producto o servicio, en el caso de que sea su tecnología alternativa?

10	1	3	5	7	9	Tecnología Producto vs. Tecnología Equipo	1	3	5	7	9
11	1	3	5	7	9	Tecnología Producto vs. Tecnología Proceso	1	3	5	7	9
12	1	3	5	7	9	Tecnología Producto vs. Tecnología Operación	1	3	5	7	9
13	1	3	5	7	9	Tecnología Equipo vs. Tecnología Proceso	1	3	5	7	9
14	1	3	5	7	9	Tecnología Equipo vs. Tecnología Operación	1	3	5	7	9
15	1	3	5	7	9	Tecnología Proceso vs. Tecnología Operación	1	3	5	7	9

**Tecnología de Servicio.-** Se refiere al seguimiento que tiene el producto terminado desde el punto de *vista comercial o mercado técnico*. Teniendo especial importancia la solución de problemas del cliente y que tenga medios para expresarlos, autonomía de los empleados para resolver situaciones problemáticas, beneficios claros para el usuario, flexibilidad, funcionalidad, fealdad por parte del cliente, etc.

15a	Mala	Regular	Buena	Muy Buena	Excelente
-----	------	---------	-------	-----------	-----------

**CUARTO NIVEL.-** Definición de criterios.

**Elementos estratégicos.-** Son las *características esenciales a observar para la valuación tecnológica* y estas las dividimos en :

- Creación de Nuevos Productos (Generación de Tecnología, Atractivo Tecnológico)
- Calidad de Funcionamiento (Calidad de la Tecnología)
- Competidores (Protección Tecnológica, mercado y economía)

Estas a la vez las desagregamos para tener un panorama más completo y sencillo para su uso.

**Generación de Tecnología.-** Se refiere a la velocidad de cambio de la tecnología en su actividad principal, es decir, su *dinamismo*. Se puede dar como pauta la *redefinición o reconversión* (integral o parcial) de su tecnología por una más actualizada; para *mantener la posición en el mercado* contra los competidores o en su caso para ampliar su mercado, ya sea a nivel local o internacional.

Para saber como esta compuesta su tecnología la clasificaremos: en nueva o de Introducción (tecnología de punta), en etapa de crecimiento y de fuerte inversión (tecnología de punta y en busca de aplicación a otros campos del conocimiento), madura y en general conocida y por último en declinación y próxima a reemplazarse (Obsoleta).

¿Con respecto a el equipo que usa hoy día, cuál tiene mayor presencia en su empresa?

15b	1	3	5	7	9	Nueva vs. Crecimiento	1	3	5	7	9
15c	1	3	5	7	9	Nueva vs. Madura	1	3	5	7	9
15d	1	3	5	7	9	Nueva vs. Obsoleta	1	3	5	7	9
15e	1	3	5	7	9	Crecimiento vs. Madura	1	3	5	7	9
15f	1	3	5	7	9	Crecimiento vs. Obsoleta	1	3	5	7	9
15g	1	3	5	7	9	Madura vs. Obsoleta	1	3	5	7	9

**Atractivo Tecnológico.-** Son posibilidades de expansión y diversificación de su principal actividad a nivel financiero, de mercado, de impacto, etc.

**Calidad de la Tecnología.-** Es el conjunto de cualidades y características de carácter tecnológico, como son: eficiencia en el proceso y la producción, flexibilidad, aspectos ecológicos, grado de innovación, impacto sobre el área organizacional, de competencia y de la cantidad de tecnologías periféricas que existan.

**Protección de la Tecnología.-** Conjunto de instrumentos y procedimientos para proteger las actividades originales generadas por el intelecto que caen dentro del ámbito del Derecho Intelectual, como son patentes, derechos de autor, territorialidad, exclusividad, marcas, vigencia y cobertura entre otras.

**Economía y mercado.-** Conjunto de actividades de una colectividad humana en lo que respecta a la producción y al consumo de las riquezas, teniéndose como posibilidades un ámbito de estabilidad (económica, política e Institucional), a nivel de producción que el sector específico o la economía en general se encuentre en expansión o recesión, y por último dadas las condiciones anteriores que haya incentivos comerciales y fiscales.

**Grupo de Investigación.-** Es el conjunto de personas tanto técnicos y profesionales que colaboran conjuntamente para el desarrollo del paquete tecnológico; se tomara en cuenta si son competentes. el máximo grado de estudios, etc.



¿Qué característica le impacta más sobre la Tecnología de Producto?

No.	CALIFICACION	COMPARACION	Grupos
16	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs. Atractivo Tecnológico	1 3 5 7 9
17	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs Grupo Investigador	1 3 5 7 9
18	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs Protección Tecnológica	1 3 5 7 9
19	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs Calidad de la Tecnología	1 3 5 7 9
20	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs. Economía y Mercado	1 3 5 7 9
21	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs Calidad de la Tecnología	1 3 5 7 9
22	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs Protección Tecnológica	1 3 5 7 9
23	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs Grupo Investigador	1 3 5 7 9
24	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs Economía y Mercado	1 3 5 7 9
25	1 3 5 7 9	Calidad de la Tecnología vs Protección Tecnológica	1 3 5 7 9
26	1 3 5 7 9	Calidad de la Tecnología vs Grupo Investigador	1 3 5 7 9
27	1 3 5 7 9	Calidad de la Tecnología vs Economía y Mercado	1 3 5 7 9
28	1 3 5 7 9	Protección Tecnológica vs Grupo Investigador	1 3 5 7 9
29	1 3 5 7 9	Protección Tecnológica vs Economía y Mercado	1 3 5 7 9
30	1 3 5 7 9	Grupo Investigador vs. Economía y Mercado	1 3 5 7 9

¿Qué característica le impacta más sobre la Tecnología de Equipo?

No.	CALIFICACION	COMPARACION	Grupos
31	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs. Atractivo Tecnológico	1 3 5 7 9
32	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs Calidad de la Tecnología	1 3 5 7 9
33	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs Protección Tecnológica	1 3 5 7 9
34	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs Grupo Investigador	1 3 5 7 9
35	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs. Economía y Mercado	1 3 5 7 9
36	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs Calidad de la Tecnología	1 3 5 7 9
37	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs Protección Tecnológica	1 3 5 7 9
38	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs Grupo Investigador	1 3 5 7 9
39	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs Economía y Mercado	1 3 5 7 9
40	1 3 5 7 9	Calidad de la Tecnología vs Protección Tecnológica	1 3 5 7 9
41	1 3 5 7 9	Calidad de la Tecnología vs Grupo Investigador	1 3 5 7 9
42	1 3 5 7 9	Calidad de la Tecnología vs Economía y Mercado	1 3 5 7 9
43	1 3 5 7 9	Protección Tecnológica vs Grupo Investigador	1 3 5 7 9
44	1 3 5 7 9	Protección Tecnológica vs Economía y Mercado	1 3 5 7 9
45	1 3 5 7 9	Grupo Investigador vs. Economía y Mercado	1 3 5 7 9

¿Qué característica le impacta más sobre la Tecnología de Proceso?

No.	CALIFICACION	COMPARACION	Grupos
46	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs. Atractivo Tecnológico	1 3 5 7 9
47	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs Grupo Investigador	1 3 5 7 9
48	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs Protección Tecnológica	1 3 5 7 9
49	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs Calidad de la Tecnología	1 3 5 7 9
50	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs. Economía y Mercado	1 3 5 7 9
51	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs Calidad de la Tecnología	1 3 5 7 9
52	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs Protección Tecnológica	1 3 5 7 9
53	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs Grupo Investigador	1 3 5 7 9
54	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs Economía y Mercado	1 3 5 7 9
55	1 3 5 7 9	Calidad de la Tecnología vs Protección Tecnológica	1 3 5 7 9
56	1 3 5 7 9	Calidad de la Tecnología vs Grupo Investigador	1 3 5 7 9
57	1 3 5 7 9	Calidad de la Tecnología vs Economía y Mercado	1 3 5 7 9
58	1 3 5 7 9	Protección Tecnológica vs Grupo Investigador	1 3 5 7 9
59	1 3 5 7 9	Protección Tecnológica vs Economía y Mercado	1 3 5 7 9
60	1 3 5 7 9	Grupo Investigador vs. Economía y Mercado	1 3 5 7 9

¿Qué característica le impacta más sobre la Tecnología de Operación?

No.	CAL		
61	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs. Atractivo Tecnológico	1 3 5 7 9
62	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs. Grupo Investigador	1 3 5 7 9
63	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs. Protección Tecnológica	1 3 5 7 9
64	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs. Calidad de la Tecnología	1 3 5 7 9
65	1 3 5 7 9	Generación de la Tecnología vs. Economía y Mercado	1 3 5 7 9
66	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs. Calidad de la Tecnología	1 3 5 7 9
67	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs. Protección Tecnológica	1 3 5 7 9
68	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs. Grupo Investigador	1 3 5 7 9
69	1 3 5 7 9	Atractivo Tecnológico vs. Economía y Mercado	1 3 5 7 9
70	1 3 5 7 9	Calidad de la Tecnología vs. Protección Tecnológica	1 3 5 7 9
71	1 3 5 7 9	Calidad de la Tecnología vs. Grupo Investigador	1 3 5 7 9
72	1 3 5 7 9	Calidad de la Tecnología vs. Economía y Mercado	1 3 5 7 9
73	1 3 5 7 9	Protección Tecnológica vs. Grupo Investigador	1 3 5 7 9
74	1 3 5 7 9	Protección Tecnológica vs. Economía y Mercado	1 3 5 7 9
75	1 3 5 7 9	Grupo Investigador vs. Economía y Mercado	1 3 5 7 9

La siguiente parte del cuestionario se utilizará en caso de que usted quiera reemplazar algún proceso o equipo dentro de una misma área para que sea posible su comparación:

- a) Si es su caso, cite en el cuadro siguiente las opciones de cambio que tiene en mente;
- b) Si no va a reemplazar nada haga caso omiso del Quinto Nivel.

	Equipo o Proceso anterior	Equipo o Proceso
Opción 1		
Opción 2		
Opción 3		
Opción 4		

### QUINTO NIVEL

¿Cuál de las opciones es preferida bajo el criterio de Atractivo Tecnológico?

No.	CAL		
76	1 3 5 7 9	Opción 1 vs. Opción 2	1 3 5 7 9
77	1 3 5 7 9	Opción 1 vs. Opción 3	1 3 5 7 9
78	1 3 5 7 9	Opción 1 vs. Opción 4	1 3 5 7 9
79	1 3 5 7 9	Opción 2 vs. Opción 3	1 3 5 7 9
80	1 3 5 7 9	Opción 2 vs. Opción 4	1 3 5 7 9
81	1 3 5 7 9	Opción 3 vs. Opción 4	1 3 5 7 9

¿Cuál de las opciones es preferida bajo el criterio de Calidad de la Tecnología?

No.	CAL		
82	1 3 5 7 9	Opción 1 vs. Opción 2	1 3 5 7 9
83	1 3 5 7 9	Opción 1 vs. Opción 3	1 3 5 7 9
84	1 3 5 7 9	Opción 1 vs. Opción 4	1 3 5 7 9
85	1 3 5 7 9	Opción 2 vs. Opción 3	1 3 5 7 9
86	1 3 5 7 9	Opción 2 vs. Opción 4	1 3 5 7 9
87	1 3 5 7 9	Opción 3 vs. Opción 4	1 3 5 7 9

**Compromiso Corporativo / Grado Tecnológico Organizacional.-** Nos referimos a la cantidad de recursos invertidos tanto humanos como técnicos, en la ejecución de su proyecto, llevando así a un involucramiento total del gestor y sus colaboradores para el desarrollo del mismo.

**Naturaleza del situación o problema:** Aquí nos referimos al tipo de proyecto que se esta manejando, la notabilidad a nivel científico o para un grupo en especial y por tanto su alcance operativo y económico, sus limitaciones y ventajas de índole general o particular para su relevancia total.

Para terminar esta sesión, dentro de la política de la empresa o institución que tiene preferencia?

88	1	3	5	7	9	Compromiso Corporativo vs. Naturaleza del Problema	1	3	5	7	9
----	---	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---