

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS
POSGRADO EN CIENCIAS MATEMÁTICAS

Metodología para la determinación del perfil de egreso de
la Maestría en Ciencias (Matemáticas), basada en el
Despliegue de la Función de la Calidad (QFD)

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRO EN CIENCIAS (MATEMÁTICAS)

PRESENTA
Gladys Denisse Salgado Suárez

DIRECTOR DE TESIS
Dr. José Dionicio Zacarías Flores

Dedicatoria

A Dios, mis padres y a Ale

Agradecimientos

Gracias a mis padres Amalia y Francisco por su amor y su apoyo en cada momento de mi vida, este logro es por y para ustedes, los quiero mucho al igual que a mis hermanas quienes siempre estan presentes en mi corazón.

Gracias Ale por ser parte de mi vida, tu amor, apoyo, comprensión y compañía fueron fundamentales para llegar a la meta, anhelo que sigamos cumpliendo nuestros sueños juntos, tú me das fuerza cada día.

Agradezco la amistad que me brindaron todos mis compañeros, fuimos creciendo juntos, y gracias especialmente a mi amiga Yazmin quien ha compartido conmigo cada fase de este trabajo.

A mi director de tesis, Dr. José Dionicio Zacarías Flores por su tiempo, esfuerzo y apoyo, por confiar en mí para llevar a cabo este proyecto, gracias.

Agradezco ampliamente a los profesores y estudiantes que me dieran el tiempo y cooperación para poder realizar este trabajo. Así también externo mis agradecimientos al equipo del Departamento de Ingeniería y Gestión de la Producción del Politécnico de Turín liderado por el Prof. Fiorenzo Franceschini, fuerte exponente actual de la metodología QFD quienes nos orientaron en el desarrollo del trabajo, además de darnos a conocer herramientas esenciales como son Thurstone y Qbench así como hacernos ver que existen problemas abiertos en esta línea de investigación, los cuales se pueden abordar en estudios doctorales. También por la complejidad del proyecto que nos destinamos a abordar fue muy valiosa la colaboración de los Profesores Carlos A. Carballo Monsivais y Erick Alberto Cecilio Ayala del departamento de Gerencia de Ingeniería de Calidad del CIMAT quienes nos brindaron una generosa capacitación por medio de un Workshop en control de calidad.

A los miembros del jurado: Dr. Francisco S. Tajonar S., Dr. Hugo A. Cruz Suárez, Dr. Víctor H. Vázquez G. y Dr. Nelson O. Muriel Torrero, por el tiempo destinado para las correcciones y observaciones que permitieron mejorar la tesis. Muchas gracias.

A CONACYT, mi agradecimiento por la beca otorgada la cual me permitió cursar la maestría durante estos dos años.

Introducción

Día con día en el mundo en el que nos desarrollamos como profesionales se presentan cambios, así también en el área de las matemáticas, las necesidades que surgen en la investigación y la aplicación van creciendo, aunado con el inmenso desafío de adaptarse a los cambios y crear con ellos respuestas a los nuevos problemas y seguir trabajando en los antiguos.

Así como a lo largo de la historia la industria ha sufrido grandes transformaciones, actualmente estos cambios continúan y son constantes, por ello, también los profesionistas deben ser personas competentes en su área, capaces de adaptarse a estos cambios y que posean los conocimientos, habilidades y actitudes necesarias que necesita la empresa para sobresalir en el mercado, pues de no ser así, sería un profesionista obsoleto a la realidad presente y futura.

Por otro lado, haciendo patente la exigencia del cambio, las instituciones de educación superior deben estar actualizadas en cuanto a las reclamaciones del gobierno, de la sociedad y del ámbito laboral, con el objetivo de proporcionar a los estudiantes los elementos necesarios para afrontar estas transformaciones.

Por lo tanto, así como se presenta la evolución continua en los ambientes empresariales, también el ámbito educativo se encuentra obligado a sufrir transformaciones que satisfagan las demandas exigidas, por consiguiente es importante incorporar una perspectiva formativa e innovadora centrada en el aprendizaje, enfocada a desarrollar las competencias necesarias para la vida y el desempeño profesional, aprovechando el uso de los recursos basados en un esquema de gestión educativa.

Por ello, la inversión (recursos institucionales) en la formación de los estudiantes se convierte en uno de los elementos centrales del proceso de transformación que se está generando con las exigencias antes mencionadas. Bajo este contexto, la presente tesis plantea la necesidad de estudiar las exigencias para orientar de forma integral un perfil de egreso que les permita a los egresados desarrollar su capacidad de aprendizaje, adaptación e innovación, generando así un ser humano con ventajas competitivas, capaz de responder al nuevo entorno social y profesional ya sea en el medio laboral o en el seguimiento de su formación encaminada a la investigación, al destacarse por sus capacidades.

Para abordar el problema, ha sido necesario hacer uso de áreas de estudio como la teoría de decisiones, teoría estadística y teoría de la calidad, aspectos que se irán abordando a lo largo de esta tesis.

La redacción de la presente tesis se realiza a través de cinco capítulos, los cuales se describen brevemente a continuación:

Se inicia con un primer capítulo al que denominamos PRELIMINARES en el que se exponen las áreas que se ven inmiscuidas en el desarrollo de esta tesis, necesarias para abordar el problema en cuestión.

El segundo capítulo está destinado a presentar el objeto de estudio que es la Maestría en Ciencias (Matemáticas) (MCM) de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas (FCFM) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), además se presenta la justificación del trabajo así como el planteamiento del problema y los objetivos de investigación.

Por su parte el capítulo 3, presenta el marco conceptual del área de la calidad y la matemática, mostrando los elementos elegidos para el desarrollo del trabajo, esto es, de describen los fundamentos de la metodología de calidad elegida y las herramientas matemáticas inmersas en su proceso.

El cuarto capítulo muestra amplia y simultáneamente la descripción de la metodología propuesta y la aplicación de la misma, integrando los elementos presentados en el capítulo 3.

A continuación, se exponen los principales resultados encontrados a partir de la ejecución de la metodología propuesta en los que se describe el perfil de egreso deseable de acuerdo con la investigación, el plan de acción para lograr su cumplimiento con base en el análisis y un diagnóstico general según los estudios realizados.

Se presenta también un bloque de conclusiones en el que se comenta sobre el desarrollo de la tesis, las dificultades y beneficios encontrados.

Se concluye con las referencias consultadas y los apéndices necesarios.

Índice general

Introducción	I
1. PRELIMINARES	1
1.1. EL PERFIL DE EGRESO	1
1.2. CALIDAD E INNOVACIÓN	3
1.3. MODELOS DE GESTIÓN DE CALIDAD	5
1.4. TEORÍA DE DECISIÓN	7
1.4.1. TOMA DE DECISIÓN	10
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2.1. LA MAESTRÍA EN CIENCIAS (MATEMÁTICAS) DE LA BUAP	13
2.2. JUSTIFICACIÓN	14
2.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	18
3. MARCO CONCEPTUAL	19
3.1. METODOLOGÍAS DE CALIDAD	19
3.2. QFD	22
3.3. MÉTODOS MATEMÁTICOS	26
3.3.1. AHP	26
3.3.2. THURSTONE	46
3.3.3. MÉTODO ELECTRE II	51
3.3.4. MÉTODO TOPSIS	57
3.3.5. GRUPO FOCAL	59
3.3.6. DISEÑO DE ENCUESTAS	61
3.3.7. DIAGRAMA DE AFINIDAD	64
3.3.8. ALGORITMO QBENCH	66
4. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	69
4.1. DISEÑO	69
4.2. REQUERIMIENTOS	77
4.2.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS CLIENTES	77
4.2.2. OBTENCIÓN DE LA VOC Y LOS QUÉS	80
4.2.3. DESPLIEGUE DE LA VOZ DE LOS CLIENTES	82
4.3. PLANIFICACIÓN DE LA CALIDAD	86
4.3.1. IMPORTANCIA PARA EL CLIENTE	88
4.3.2. PUNTO DE VENTA	95

4.3.3.	BENCHMARKING	95
4.3.4.	VALOR OBJETIVO	97
4.3.5.	RATIO DE MEJORA	98
4.3.6.	PESO ABSOLUTO	98
4.3.7.	PESO RELATIVO	98
4.3.8.	ORDEN DE IMPORTANCIA	98
4.3.9.	CONFECCIÓN DE LA MATRIZ DE PLANIFICACIÓN DE CALIDAD	98
4.4.	DETERMINACIÓN DE LOS CÓMOS	100
4.5.	RELACIÓN QUÉS-CÓMOS	103
4.6.	CORRELACIONES	104
4.6.1.	DIRECCIÓN DE MEJORA	104
4.6.2.	CORRELACIONES EXISTENTES	104
4.7.	PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO	105
4.7.1.	CALCULAR EL PESO DE LOS CÓMOS	105
4.7.2.	CALCULAR EL PESO RELATIVO	108
4.7.3.	ORDEN DE IMPORTANCIA	109
4.7.4.	“BENCHMARKING” TÉCNICO	109
4.8.	CUÁNTOS	109
4.9.	DISEÑO DEL PERFIL DE CALIDAD	110
4.10.	LA CASA DE LA CALIDAD	115
5.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	117
5.1.	PERFIL DE EGRESO DESEABLE	117
5.2.	PLAN DE MEJORA	118
5.3.	DIAGNÓSTICO	119
5.4.	CONCLUSIONES	120
A.	Entrevista a los directivos	125
B.	Herramientas para la identificación de la VOC	127
C.	Encuesta para valorizar la importancia	135
D.	Programas en Matlab	139
	BIBLIOGRAFÍA	147

Capítulo 1

PRELIMINARES

Para abordar este trabajo fue necesaria la interacción de tres áreas, *la matemática* por medio de la toma de decisión multicriterio discreto y la teoría estadística, *la calidad* por medio de las metodologías de la calidad y *la educación* vista como un proceso, la intersección de estas tres áreas será aplicada al programa de maestría, en especial al perfil de egreso.

En este capítulo se presenta una visión de estos elementos. Se describen los conceptos de calidad e innovación en el área educativa, una visión de los modelos de gestión de calidad, la presentación del área de la teoría de decisiones, en particular de la decisión multicriterio, así como la descripción de perfil de egreso, foco principal de este trabajo.

1.1. EL PERFIL DE EGRESO

Para tener una visión amplia de cómo se compone un perfil de egreso y una dirección hacia la cual orientar la investigación del perfil de egreso deseable, se exponen aquí las ideas de diversos autores.

De acuerdo con Hawes [48] un perfil de egreso es una estructura descriptiva de lo que la institución se compromete frente a la sociedad, los estudiantes y a sí misma para formar una identidad profesional en el marco normativo propio, especificando los principales ámbitos de realización de la profesión junto con las competencias claves asociadas.

Por otro lado, para Arnaz [5], el perfil de egreso tiene entre sus funciones proporcionar una primera descripción del egresado y sirve como antecedente para formular objetivos curriculares y orientar las acciones o bien ser en sí mismo un conjunto de objetivos curriculares a seguir. Por lo tanto, en un perfil de egreso se define lo que debe lograrse en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Se plantea además que el perfil está compuesto por:

1. Áreas generales de conocimiento que deben ser dominadas por el profesional.
2. Descripción de tareas, actividades y acciones que deberá realizar en dichas áreas.
3. Delimitación de valores y actitudes adquiridos para un buen desempeño profesional.

4. Listado de destrezas que tiene que desarrollar.
5. Las poblaciones beneficiarias de la labor del profesionista.

Además, otros estudios mencionan que un perfil de egreso se compone básicamente de tres elementos relacionados e interdependientes [84] que son:

1. Una declaración general que resume los propósitos y compromiso formativos enmarcados en el sello institucional.
2. Una especificación de los ámbitos de realización propios de la profesión con su descripción.
3. Una declaración de las competencias asociadas a cada uno de los ámbitos descritos.

Debido a que el Programa Nacional de Posgrados de Calidad y el Modelo Universitario Minerva son los que actualmente rigen a la MCM, se estudia el perfil de egreso desde sus perspectivas para al final hacer una reflexión de las ideas.

El perfil de egreso según el Programa Nacional de Posgrados de Calidad.

El Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) define el perfil de egreso como las “Competencias, habilidades, conocimientos, actitudes y valores que los estudiantes de un programa de posgrado deben reunir al concluir sus estudios”. El PNPC tiene como propósito reconocer la capacidad de formación en el posgrado de las instituciones y centros de investigación orientados a la investigación, o a la práctica profesional, que cumplen con los estándares de pertinencia y calidad para desarrollar los conocimientos, las competencias y/o habilidades, de los recursos humanos de alto nivel que requiere nuestra sociedad, este programa incluye criterios y estándares internacionales en la formación de dichos recursos humanos, y pretende impulsar la cooperación de las instituciones de educación superior y centros de investigación, el fortalecimiento de redes del conocimiento, la internacionalización de las actividades académicas y las evaluaciones rigurosas de los programas [17].

El perfil de egreso según el Modelo Universitario Minerva

El Modelo Universitario Minerva (MUM) ha sido implementado en la BUAP, presenta los ideales educativos de la institución en donde se considera el contexto social y posibilita la formación de los universitarios; como modelo educativo esta propuesta incluye orientaciones didáctico-pedagógicas para realizar el trabajo en el aula y orientar los procesos de enseñanza-aprendizaje [15]. De acuerdo a él, un Perfil de egreso, en función del conjunto de “saberes”, especifica “las características de un egresado para que expresen (además de los conocimientos, las habilidades, actitudes y valores acordes con la propuesta de formación integral y pertinente) los denominados cuatro pilares de la educación: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a ser y aprender a vivir juntos, agrega también el aprender a emprender, el aprender a desaprender, así como el compromiso con la integración social”.

El MUM establece una guía general para definir el perfil de egreso en cuanto a los conocimientos, las habilidades, actitudes y valores que los profesionales que egresen de los programas de posgrado de la BUAP deben adquirir. Esta es [16]:

Conocimientos:

- Filosóficos y humanísticos de la disciplina.

- Teóricos metodológicos para la investigación en la ciencia.
- Teóricos metodológicos para la educación de la disciplina profesional.
- Teóricos metodológicos para la práctica profesional innovadora.

Habilidades:

- Diseño e implementación de procesos de diagnóstico.
- Implementación de una metodología de valoración.
- Diseño de intervenciones basadas en la evidencia científica.
- Implementación de evaluación de procesos.
- Para la gestión de los recursos en la implementación de procesos.
- Publicación de los resultados de los procesos.

Actitudes y valores:

- Trabajo en equipo.
- Responsabilidad.
- Solidaridad.
- Compromiso social y con la disciplina.
- Respeto a la dignidad humana.
- Poner la ciencia y sus avances al servicio de la humanidad.

Conclusión

En resumen, analizando cada uno de los enfoques revisados y llevándolos a la MCM se puede concluir que en un perfil de egreso se establecen los lineamientos y características que los estudiantes deben poseer al concluir sus estudios, que deben caracterizar a los egresados de esta área, en base al impacto que pretende dar a la sociedad, lo que permitirá que los egresados sean competentes en el campo de la investigación, ya sea teórica o aplicada, estas características deben estar definidas en base a lo que puede ofrecer el programa, entendiéndose esto como el compromiso que la escuela le hace a la sociedad y siguiendo con la guía del MUM deben estar estructuradas en tres áreas: “conocimientos”, “habilidades” y “actitudes y valores”.

1.2. CALIDAD E INNOVACIÓN

Buscar la mejora hoy en día no es sólo una idea aislada de unos pocos sino una actitud colectiva en la que surge de manera natural el buscar alcanzar diversas metas u objetivos que nos vuelvan mejores como personas, profesionales, trabajadores, etc., por medio de cambios que se vuelven significativos al momento de alcanzar dichos objetivos, se concibe que, cuando dichos cambios se realizan mediante la construcción de un plan eficiente, consiguiendo los recursos necesarios, buscando cumplir cada etapa del plan en tiempo y forma, las posibilidades de alcanzar los objetivos planteados pueden ser mayores que cuando se realizan de manera desorganizada,

por lo que mejorar no sólo es cuestión de buena voluntad. De esta manera en la búsqueda de la perfección nos encontramos con la calidad.

Por otro lado, para lograr la total satisfacción, aunado a la calidad debemos incluir un segundo ingrediente que nos permita sobresalir en todos los aspectos, que es la Innovación. Es por ello que para poder abordar un problema en el que se busque una mejora, deben estar involucradas la calidad y la innovación como aspectos culturales que guíen a las propuestas que se hagan.

Calidad

La idea de calidad es muy antigua, como humanidad siempre hemos buscado ir mejorando todo lo que es inherente en nuestras vidas, desde la construcción de herramientas y armas para la siembra y la caza, la elección de semillas, etc., hasta las grandes empresas que en nuestros días, se preocupan por la calidad en cada uno de sus procesos. En la antigüedad la calidad sólo se centraba en la inspección del producto por los consumidores donde los artesanos eran los que analizaban una por una las piezas que realizaban, como por ejemplo, en la inspección de las armas utilizadas en la batalla cuerpo a cuerpo como espadas, lanzas, etc., posteriormente a finales del siglo XIX Estados Unidos adoptó el sistema de Taylor [25] que establece la separación entre la planificación y la ejecución; el siguiente paso fue establecer un control estadístico de calidad cuyo precursor fue el doctor Walter A. Shewart (1891-1967) quien hizo sus primeros experimentos en los laboratorios de teléfonos Bell introduciendo también los diagramas de control estadístico de proceso (SPC). Tras estallar la Segunda Guerra Mundial el aseguramiento de calidad se volvió un aspecto fundamental para las naciones principalmente para la prevención de la pérdida de vidas humanas y para sobresalir de las demás, con mejoras en el funcionamiento de sus equipos y aparatos, a partir de aquí W. Edwards Deming es quien contribuye a la mejora de la calidad en la industria dedicada a la guerra [29] [52], iniciándose el surgimiento de diversos modelos de calidad que permiten a las empresas hoy en día permanecer vivas ante la competencia.

La idea de calidad ha ido evolucionando con el tiempo y se han generado diversas interpretaciones, con la intención de identificarla se realizó una revisión a las aportaciones de calidad de diversos autores (Edward Deming, Philip B. Crosby, Joseph M. Juran, Kaorip Ishikawa, Genichi Taguchi y D. A. Garvin) quienes han sido importantes exponentes en el área, conocidos como los precursores de la calidad, además del punto de vista de normas internacionales como ISO 8402 y la UNE-EN ISO las 9000:2000 las cuales rigen el funcionamiento de la industria [4], de esta manera, pueden enlistarse las características que describen a un producto o servicio de calidad.

- Satisfacción de las necesidades de los clientes
- Cumplimiento satisfactorio de ciertos requisitos funcionales, especificaciones y tolerancias
- Fiabilidad
- Mínima pérdida y defectos

Ahora bien, para lo que interesa al trabajo, lo importante es saber cómo interpretar la calidad orientada a la educación, por lo que se estudió este concepto desde el punto de vista de organismos representativos como son la OCDE y la UNESCO [68] junto con la de diversos autores (Frazer [41], Muñoz [66] y Bolaños[19]) quienes se han encargado de caracterizarla para que sea adoptada en las instituciones educativas. A partir de este análisis, puede extraerse que la calidad educativa puede entenderse como: *las características que el sistema educativo debe*

proporcionarle a los alumnos para prepararlos para la vida, con la capacidad de que sigan por sí mismos con un aprendizaje constante, en resumen, características útiles para su vida y su desarrollo en la sociedad.

Innovación

Por su lado la innovación se ha convertido en la herramienta fundamental para posicionar a las empresas de manera competitiva en el mercado. Estudiando diversas definiciones de la innovación [38][26][68][72][33] [65] podemos concluir que algo es innovador cuando lo que se hace genera un cambio significativo que tiene buena aceptación por la sociedad. En cuanto al concepto de innovación en la educación, varios autores (Cañal de León, 2002 [20]; Francisco Imbernón 1996[51]; Pascual, 1988 [69]) han aportado algunas definiciones que al compararlas con el concepto de innovación en general, conduce a pensar que en esencia se puede entender a la innovación, en este como en cualquier otro ámbito, como: *cualquier acción que modifique positivamente el ambiente y/o percepción de lo que se realiza, es realizar un cambio, transformación o mejora de lo que existe, poniendo en juego la creatividad.*

Después de haber realizado una revisión a los conceptos de calidad e innovación, se puede extraer que la parte esencial debe ser *generar, apoyados de la innovación, indicadores de calidad medibles y controlables que satisfagan las características mismas de la calidad para generar una mejora significativa.*

1.3. MODELOS DE GESTIÓN DE CALIDAD

Los “clientes” de las instituciones educativas (término que se define en el capítulo 4 de esta tesis), esperan y exigen constantemente que la formación recibida se corresponda con las habilidades y conocimientos que satisfagan las demandas en el trabajo y en la sociedad, lo que obliga a las instituciones a permanecer en una mejora constante que demuestre un trabajo bien hecho, esto es, que se haga con calidad, sin embargo, la calidad no se genera de manera espontánea, por el contrario, es necesario establecer un conjunto de actividades organizadas y planeadas que involucre todos los recursos, definiendo los objetivos, estrategias y acciones con el fin de obtener la calidad, a este conjunto de actividades es a lo que le llamamos gestión de calidad, [59] y para poder llevarlo a cabo de manera satisfactoria se implantan modelos de gestión de calidad.

Un modelo o sistema de gestión ayuda a una organización a establecer las metodologías, responsabilidades, recursos, actividades, etc., que le permitan a una gestión orientarse hacia la obtención de los objetivos establecidos [10](ver figura 1.1).

Un modelo de referencia para la organización y gestión de una empresa permite establecer un enfoque y un marco de referencia objetivo, riguroso, estructurado y simplificado para el diagnóstico de la organización, así como determinar las líneas de mejora continua hacia las cuales deben orientarse los esfuerzos de la organización. Es, por tanto, un referente estratégico que identifica las áreas sobre las que hay que actuar y evaluar para alcanzar la excelencia dentro de una organización.

Así, la utilización de un modelo de referencia se basa en que:

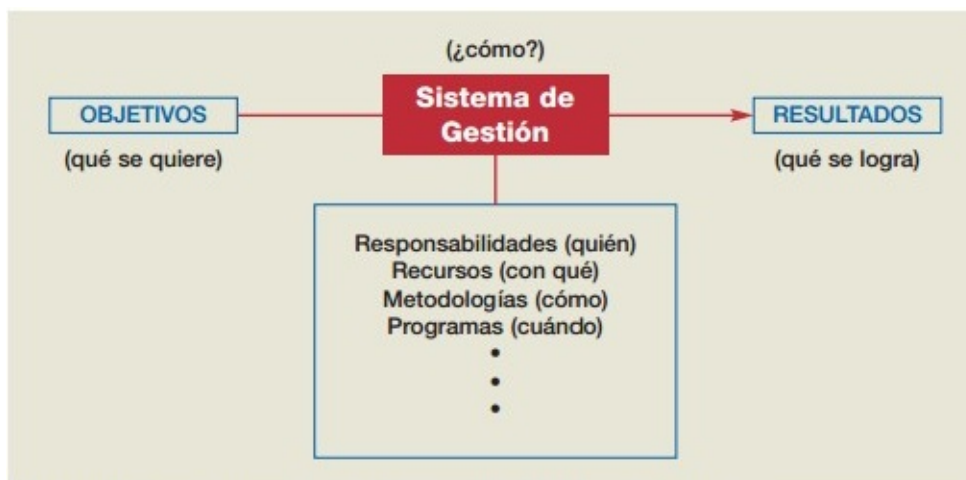


Figura 1.1: El Sistema de Gestión como herramienta para alcanzar los objetivos

- Evita tener que crear indicadores, ya que están definidos en el modelo.
- Permite disponer de un marco conceptual completo.
- Proporciona objetivos y estándares iguales para todos, en muchos casos ampliamente contrastados.
- Determina una organización coherente de las actividades de mejora.
- Posibilita medir con los mismos criterios a lo largo del tiempo, por lo que es fácil detectar si se está avanzado en la dirección adecuada.

Por lo tanto, algunas de las razones por las cuales implantar un modelo de calidad en una escuela [82]son:

- Por la búsqueda de un prestigio institucional.
- Para reorganizar las tareas funcionales.
- Para adaptarse a las nuevas exigencias desde el punto de vista social, disciplinar, institucional y profesional.
- Para motivar y capacitar a todo el personal de manera permanente.
- Para analizar su posición en la sociedad y detectar oportunidades de mejora.
- Para cambiar la cultura de la institución.
- Para aspirar a conseguir beneficios.

En las instituciones educativas se deberían definir y gestionar aquellos procesos que están involucrados en el desarrollo del futuro egresado, así como los medios para la implementación y la medición de resultados, de esta manera, estarían involucrados, el plan de estudios, los procesos de aprendizaje, la organización de la institución, etc., por lo que las instituciones que

quieren mejorar deben verse a sí mismas desde una perspectiva de procesos a los cuales implementarles un modelo de gestión de calidad que las oriente hacia el cumplimiento de sus objetivos.

Los modelos de gestión de calidad más difundidos en la actualidad y que han generado mejores resultados son la Administración Total de la Calidad (TQM), Seis Sigma y el Despliegue de la Función de la Calidad (QFD) los cuales surgieron de la evolución de las ideas de los precursores de la calidad y que pueden adaptarse para su utilización en el ámbito educativo, los cuales se revisan en el capítulo 3 de esta tesis.

1.4. TEORÍA DE DECISIÓN

En esta parte se busca dar un panorama del papel que tiene hoy en día la teoría de decisiones, las divisiones en que se estudia y aplica, iniciando con algunos antecedentes históricos y finalizando con una introducción más amplia de la teoría de decisiones multicriterio.

Introducción.

La estadística en la actualidad es un campo muy robusto, pero en su interior permanecen importantes controversias. Estas controversias se derivan profundamente de diferentes perspectivas sobre el significado del aprendizaje y la investigación científica y a menudo resultan en muy diferentes formas de interpretar las mismas observaciones empíricas.

Por ejemplo, una controversia que todavía está muy viva implica la forma de evaluar la fiabilidad de una predicción o conjetura. Esto es, por supuesto, una cuestión fundamental para la estadística y tiene implicaciones en toda una variedad de actividades prácticas. Muchas de estas situaciones son capturadas por un estudio de caso sobre la evaluación de pruebas de los ensayos clínicos [88].

Resulta que no todos los estadísticos aseguran que esto sea así de fácil. Hay por lo menos dos puntos de vista opuestos sobre cómo elegir una respuesta:

Juzgar una respuesta por lo que dice. Comparar la respuesta a otras respuestas posibles, a la luz de la evidencia experimental que han recogido, que ahora puede ser tomada como un hecho.

Contra

Juzgar una respuesta por la forma en que se obtuvo. Especificar la regla que llevó a dar la respuesta dada. Comparar la respuesta con las respuestas que la regla habría producido cuando se enfrenta a todos los posibles resultados experimentales alternativos. La pregunta que uno se puede hacer es: ¿Hasta qué punto la regla está alejada de la verdad en esta colección de respuestas hipotéticas e informe sobre lo bueno que es la regla? Indirectamente, esto nos dirá qué tan bien se puede confiar en una respuesta específica.

Las razones por las cuales existe esta controversia son complicadas y fascinantes cuando las cosas no son tan claras, y múltiples respuestas son compatibles con la evidencia experimental.

La primera perspectiva requiere de un peso obtenido de alguna manera, un paso que implica a menudo valoraciones de juicio. Por otro lado, la segunda perspectiva sólo requiere el conoci-

miento de las probabilidades involucradas en la descripción de cómo los experimentos se refieren a los posibles resultados. Por esta razón, el segundo enfoque es percibido por muchos como más objetivo y más apropiado para la investigación científica. La objetividad, su esencia, la dignidad y la viabilidad, han sido algunos de los temas más conflictivos en la estadística. Una simplificación extrema de la controversia puede ser capturada por dos puntos de vista de la probabilidad:

Probabilidad viviendo en el mundo. La Probabilidad como una propiedad física, como la masa o la longitud de onda. Utilizándola para describir la experimentación estocástica generalmente en casos repetibles, como por ejemplo, las asignaciones de unidades experimentales a diferentes condiciones o el error de medición de un dispositivo. Estos son los únicos tipos de consideraciones probabilísticas que deben considerarse en investigaciones científicas.

Contra

Probabilidad viviendo en la mente. La Probabilidad, como la mayoría de las construcciones conceptuales en la ciencia, vive en el contexto del sistema de valores y teorías de un científico individual. No hay ninguna razón del porqué su uso debe limitarse a eventos físicos repetibles. La Probabilidad puede por ejemplo, ser aplicada a hipótesis científicas o a la predicción de eventos que ocurren una sola vez.

El origen del papel de la probabilidad en la interpretación de los resultados experimentales es el muestreo. El modelo de muchas teorías estadísticas es que las unidades experimentales son muestreadas a partir de una población más grande, y el objetivo de la inferencia estadística es describir conclusiones sobre toda la población. Un modelo estadístico describe el mecanismo estocástico en el que se basan para seleccionar muestras de la población. A veces esto es literalmente el caso, pero más a menudo muestras y poblaciones son sólo metáforas para guiar la construcción de procedimientos estadísticos. Si bien esto ha sido el modelo de operación postulado en la mayoría de la teoría estadística, en aplicaciones prácticas es sólo uno de los polos de otra importante controversia:

El aprendizaje requiere modelos. Para interpretar con rigor los datos que necesitamos para entender y especificar el mecanismo estocástico que los generó. El paradigma de la inferencia estadística es la situación de la muestra poblacional.

Contra

El aprendizaje requiere algoritmos. Para eficientemente aprender de los datos, es fundamental contar con herramientas prácticas para explorar, resumir, visualizar, agrupar, clasificar. Estas herramientas se pueden construir con o sin consideración explícita de un modelo de generación de datos estocástico.

El enfoque basado en el modelo tiene raíces antiguas, uno de los puntos de referencia es la definición de Fisher de la función de verosimilitud [37]. El enfoque algorítmico también se remonta un largo camino en la historia: por ejemplo, la mayoría de las medidas de la dependencia, como el coeficiente de correlación, nacieron como instrumentos descriptivos, no inferenciales [42]. El creciente tamaño y complejidad de los datos y la interfaz con la informática, han estimulado mucho el análisis exploratorio de datos [85], [21] y el trabajo estadístico en la interfaz con la inteligencia artificial [67], [47]. Esta controversia se resume muy bien en el artículo de Breiman [13].

La premisa de la lectura anterior es que es útil pensar en estas controversias, así como en otros aspectos que son más técnicos en la estadística, desde sus primeros principios. En este

sentido, la opinión de muchos estadísticos se distribuye a lo largo de otra dimensión importante de la controversia:

Estadísticos producen conocimiento. El alcance de la estadística es interpretar con rigor los resultados experimentales y presentar evidencia experimental de una manera imparcial a los científicos, responsables políticos, la opinión pública, o a quien sea el encargado de sacar conclusiones o tomar decisiones.

Contra

Estadísticos producen soluciones a los problemas. La comprensión de los datos requiere de colocarlos en el contexto de las teorías científicas, lo que nos permite ordenar importante información auxiliar. No se puede responder a la pregunta “¿qué es importante?” sin primero considerar la cuestión “¿importante para qué?”.

El papel de la teoría de decisión.

Hoy en día, en nuestra vida cotidiana como en la profesional, nos vemos enfrentados a una diversidad de situaciones en las que debemos de elegir una de varias alternativas, así desde su concepto más elemental, como se afirma en [87], un proceso de toma de decisiones busca la elección de lo “mejor” de entre “lo posible”. Ahora dependiendo de lo que definamos como mejor y qué sea lo posible nos estaremos enfrentando a distintas situaciones de decisión.

¿Qué es la teoría de decisión?

Teoría de la decisión es la teoría acerca de las decisiones. El tema no es muy unificado. Por el contrario, hay diferentes maneras para teorizar acerca de las decisiones y por lo tanto también diferentes tradiciones de investigación.

En acuerdo con [87], haciendo un apartado de la teoría de optimización clásica, la teoría de decisión puede dividirse en tres grandes partes:

1. **La teoría de la decisión con incertidumbre o riesgo** en ella se analiza la toma de decisiones cuando está presente la aleatoriedad o incertidumbre en los resultados, haciendo que las secuelas de una decisión no están determinadas de antemano, sino que están sujetas al azar.
2. **La teoría de juegos** en la que las consecuencias de una decisión no dependen únicamente de la decisión adoptada, sino, también de la que elijan otros jugadores. En este contexto, los problemas de decisión con aleatoriedad del bloque anterior suelen ser denominados juegos frente a la naturaleza.
3. **La teoría de decisión multicriterio** en la que si bien dada una decisión sus secuelas están perfectamente determinadas, lo que no está definido tan claramente es qué es lo mejor, existiendo varios objetivos en conflicto.

Los métodos de análisis de decisión de multicriterio (MCDA) se han desarrollado para apoyar al decisor en su proceso de decisión única y personal, para encontrar una solución de compromiso. Los métodos MCDA tienen la particularidad de colocar al decisor en el centro del proceso. No son métodos automatizables que conducen a la misma solución para cada decisor, pero incorporan información subjetiva. La información subjetiva, también conocida como información

de preferencia, es proporcionada por el decisor, lo que conduce a la solución de compromiso. MCDA es una disciplina que abarca las matemáticas, administración, informática, psicología, ciencias sociales y economía. Su aplicación es aún mayor, ya que se puede utilizar para resolver cualquier problema en el que una decisión importante debe hacerse. Estas decisiones pueden ser tácticas o estratégicas, en función de la perspectiva temporal de las consecuencias.

Un número grande de métodos han sido desarrollados para resolver problemas multicriterio. Este desarrollo está en curso y el número de publicaciones académicas es cada vez mayor. Esta expansión es debida entre otras cosas a la eficiencia de los investigadores y al desarrollo de métodos específicos para los diferentes tipos de problemas encontrados en MCDA. El crecimiento por el uso de estos métodos también se debe a que actualmente existen software y aplicaciones disponibles para estos métodos en varios entornos computacionales (hojas de cálculo, en la Web, en smartphones, etc.).

De acuerdo a [73], se tienen identificados cuatro tipos principales de problemas de decisión:

1. **Problema de elección.** El objetivo es seleccionar la mejor opción simple o reducir el grupo de opciones para un subconjunto de buenas opciones equivalentes o incomparables.
2. **Problema de ordenación.** Las opciones se clasifican en grupos ordenados y predefinidos, llamados categorías. El objetivo es entonces reagrupar las opciones con comportamientos o características similares, por razones descriptivas, organizativas o predictivas.
3. **Problema de clasificación (ranking).** Las opciones están ordenados de mejor a peor por medio de puntajes o comparaciones por pares, etc. La ordenación puede ser parcial si se consideran las opciones incomparables o completas.
4. **Problema de descripción.** El objetivo o meta aquí es describir las opciones y sus consecuencias. Esto usualmente se hace en el primer paso para comprender las características del problema de decisión.

De manera adicional, otros tipos de problemas han sido propuestos por especialistas del área:

5. **Problema de eliminación.** En [7] se propone el problema de eliminación, que es una rama particular del problema de ordenación.
6. **Problema de diseño.** El objetivo es identificar o crear una nueva acción, la cual reunirá las metas y aspiraciones del decisor [54].

1.4.1. TOMA DE DECISIÓN MULTICRITERIO DISCRETA

De acuerdo a Begoña [9] un problema general de decisión consiste en elegir lo mejor entre lo posible, para ello, inicialmente debemos entender qué es lo mejor y qué es lo posible.

Lo posible, trata de establecer las alternativas o puntos factibles existentes. El conjunto puede ser discreto o continuo. En general, se considera discreto y se aplica la metodología apropiada cuando es factible enumerar y tratar explícitamente cada una de las alternativas posibles. En el caso continuo o caso discreto donde no viene explícitamente definido el conjunto de alternativas es cuando se habla de conjunto o región factible. Este conjunto o región factible, a su vez, puede venir definido de forma rígida mediante restricciones o de forma más flexible mediante lo que se

conoce como *niveles de aspiración*.

Respecto a lo mejor, se puede definir según un único criterio o según varios criterios. Los problemas de decisión con un único criterio y conjunto factible continuo (entendiendo por éste la extensión a conjuntos discretos no definidos explícitamente) son básicamente problemas de optimización “clásica”: lineal, entera o no lineal. Si además incluyen aleatoriedad, estaríamos ante un problema de optimización estocástica. Si el conjunto factible es discreto, sólo tiene sentido plantearse el problema en el caso de que haya aleatoriedad, siendo entonces un problema de los conocidos como problemas clásicos de decisión.

En el caso en que haya varios criterios, si la región factible es continua, se puede resolver el problema mediante métodos denominados de *optimización multiobjetivo* o mediante *métodos satisficentes* (programación por metas). Si lo posible viene definido por un conjunto discreto de alternativas (pudiendo incluso no ser numérico el valor de los criterios), existen métodos multicriterio discretos para resolver el problema.

De forma general un problema de decisión multicriterio vendría formulado de la siguiente forma:

$$\text{opt}z(x) = (z_1(x), \dots, Z_p(x)), x \in F \quad (1.1)$$

donde F es el espacio de decisiones o soluciones (si es continuo, se denomina región factible $z(F) \subseteq \mathbb{R}^p$).

A continuación se exponen algunos conceptos básicos de la decisión multicriterio:

Atributo: “valor” observado (medido) de una decisión independientemente del decisor. Los atributos suelen ser competidores o contradictorios entre sí.

Objetivo: dirección de mejora de un atributo. Esta dirección será de maximización o minimización en el caso de atributos numéricos y en el caso de atributos no numéricos vendrá dado por un sistema de preferencias (por ejemplo, si el problema fuera la selección de un automóvil, el color sería un atributo no numérico y se establecería un sistema de preferencias sobre este atributo).

Nivel de aspiración: es un nivel aceptable de logro para un atributo.

Meta: es la combinación de un atributo con su nivel de aspiración.

Criterio: son los atributos, objetivos o metas relevantes en un problema de decisión.

Por lo tanto, según lo anterior, la toma de decisión multicriterio, se refiere a la toma de decisiones en presencia de criterios múltiples y usualmente en conflicto. Resumiendo lo anterior, los problemas de MCDA pueden clasificarse en dos categorías: toma de decisión multiatributos (MADM: multiple attribute decision making) y toma de decisión multiobjetivo (MODM: multiple objective decision making) dependiendo de si el problema es un problema de selección o un problema de diseño.

Para nuestro trabajo estudiaremos los problemas de MADM debido a que es empleado para resolver problemas de selección de entre un número finito de alternativas. Un método MADM especifica cómo la información de atributos debe ser procesada con el fin de llegar a una elección. Los métodos MADM inician con una tabla de decisión también llamada matriz de decisión la cual tiene cuatro partes [86]: (a) alternativas, (b) atributos, (c) pesos o importancia relativa para cada atributo, y (d) medidas de rendimiento de las alternativas con respecto a los atributos. La tabla de decisión mostrada en la tabla 1.1, muestra las alternativas, A_i (para $i = 1, 2, \dots, n$), atributos, C_i (para $i = 1, 2, \dots, m$), pesos de los atributos, w_j (para $j = 1, 2, \dots, m$), y las medidas de rendimiento de las alternativas, m_{ij} (para $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$), Teniendo en cuenta la información de la tabla de decisiones y un método de toma de decisiones, la tarea de quien toma las decisiones es encontrar la mejor alternativa y/o clasificar todo el conjunto de alternativas. Cabe añadir que todos los elementos de la tabla de decisión deben ser estandarizados a las mismas unidades, para que todos los atributos posibles en el problema de decisión puedan ser considerados.

Alternativas	Atributos			
	(w_1)	(w_2)	\dots	(w_m)
	C_1	C_2	\dots	C_m
A_1	m_{11}	m_{12}	\dots	m_{1m}
A_2	m_{21}	m_{22}	\dots	m_{2m}
\vdots	\dots	\dots	\ddots	\vdots
A_n	m_{n1}	m_{n2}	\dots	m_{nm}

Tabla 1.1: Matriz de decisión

Existe un gran número de métodos de MADM en la literatura, estudiaremos en el capítulo 3 los más usuales en el desarrollo de la metodología de calidad elegida que son AHP, TOPSIS y ELECTRE además, durante el desarrollo de la metodología se expone el método simple aditivo de ponderación.

Capítulo 2

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente capítulo realiza una exposición de la situación actual de la Maestría en Ciencias (Matemáticas) que enmarca esta tesis, así como la justificación, las preguntas de investigación que dan origen al trabajo y los objetivos que se persiguen.

2.1. LA MAESTRÍA EN CIENCIAS (MATEMÁTICAS) DE LA BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) como ente educativo, siempre se ha preocupado por dirigir sus fines académicos a beneficios a la sociedad y lograr que sus egresados adquieran una formación profesional de la más alta calidad. Uno de los medios para lograr este objetivo son los estudios de posgrado a través de los cuales se proporcionan los medios y recursos para que los estudiantes adquieran una sólida preparación teórica, actualizaciones y profesionalización académica [14].

Los estudios de Maestría proporcionan una formación amplia y sólida en su disciplina en dos modalidades, profesionalizante y de formación de investigadores, teniendo esta última el objetivo de preparar personal capacitado en su área para participar en forma creativa en actividades de docencia e iniciar en las actividades de investigación.

La Facultad de Ciencias Físico Matemáticas (FCFM) de la BUAP que desde hace más de 50 años se ha preocupado por formar ciudadanos competitivos de alto nivel, tiene entre sus programas la Maestría en Ciencias (Matemáticas) en modalidad de formación de investigadores, creada en 1983, que en principio fue atendida por una reducida planta de profesores de matemáticas hasta 1993 cuando se reforzó la planta Académica, con un grupo de profesores de alto nivel, acentuando las diferentes líneas de investigación, en ese mismo año fue evaluada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) logrando ser incorporada al Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) como aceptada con condicionamiento, logrando la

consolidación a partir de su primera generación, desde esa fecha se ha trabajado para elevar la calidad del programa, lo que ha llevado a modificaciones de su estructura y del plan de estudios, además durante el proceso, el currículo se ha ampliado y actualizado de acuerdo al desarrollo científico y al crecimiento de las líneas de generación y aplicación del conocimiento (LGAC) en la Facultad. A la fecha cuenta con más de cien graduados, la planta académica participa en Cuerpos Académicos que están en red con grupos similares nacionales o internacionales, lo que permite tener programas de movilidad y colaboración, que generan trabajo interdisciplinario.

Actualmente el programa pertenece al PNPC de CONACyT, como un programa consolidado a nivel nacional y en 2013 alcanzó el reconocimiento a nivel internacional [27].

2.2. JUSTIFICACIÓN

Cualquier empresa busca ser diferenciada, competitiva, retadora, exitosa, trascendente, estable, crear una oferta destacada que establezca barreras para la competencia y coloque a la empresa en un lugar preferencial y superior, esta capacidad en las empresas de servicios es medida en base a la habilidad para prestar un servicio de calidad. Cada uno de los esfuerzos generados por la empresa está enfocado en el objetivo principal de “Satisfacer a los clientes”, por lo tanto, presta un servicio, pero prestar un servicio de calidad es *llegar a la meta y mantenerse en la cima*.

Para supervisar y controlar los procesos que llevan al cumplimiento de los objetivos, es necesario crear un programa de gestión de calidad esto es, establecer una jerarquía de funciones y responsabilidades estableciendo una estrategia de trabajo, definiendo los objetivos, y acciones planificadas para su cumplimiento.

Hemos hecho énfasis en que el objetivo principal de toda empresa es lograr la satisfacción de los clientes, y para validar el cumplimiento de este objetivo, en el programa de gestión de calidad se debe implantar también la realización de una autoevaluación sistematizada y confiable de tipo diagnóstico.

En el ámbito educativo, un perfil de egreso es uno de los indicadores de mayor importancia de la calidad del programa, pues el principal objetivo es obtener egresados de calidad tal que, en el ámbito profesional sean líderes en su ramo o en su caso ser capaces de adquirir conocimientos matemáticos nuevos ya sea por estudios formales o informales, esto conlleva beneficios a la institución, en la valoración satisfactoria de la calidad de sus programas, prestigio y competitividad además de obtener ciudadanos capaces de producir mejoras a la sociedad.

Los programas de estudios universitarios, entre ellos la Maestría en Ciencias (Matemáticas) (MCM) de la BUAP, pretenden que las personas que lleven los estudios adquieran ciertas habilidades, capacidades y actitudes durante el desarrollo del programa. Debido a que la preparación que se obtiene se ve reflejada en el perfil de egreso, es en él donde se pueden medir los objetivos del programa, por lo que es importante prestarle especial atención, dicho perfil es creado por la academia de matemáticas del posgrado, en base al impacto que pretende dar a la sociedad, lo que permitirá que los egresados sean competentes en su campo.

Debido a que en la actualidad la MCM de la FCFM-BUAP pertenece al PNPC de CONACyT, como un programa consolidado a nivel nacional e internacional, en estos reconocimientos están inmersas evaluaciones que nos aseguran una validación confiable, sin embargo a pesar

de sus logros, como todo proceso debe seguir un programa de gestión de calidad, y estar en constante revisión a través de una autoevaluación sistematizada y confiable buscando la mejora continua para alcanzar la excelencia académica pues un plan curricular no es estático debido a que se basa en necesidades y transformaciones en la disciplina que pueden cambiar con el tiempo, lo que obliga a constantes actualizaciones.

Para identificar la pertinencia del estudio, se realizó una revisión del cumplimiento del perfil de egreso actual, el cual marca contar con [18]:

- *Conocimiento detallado en las áreas básicas y en el campo de su especialización.*
- *Capacidad y conocimientos suficientes para incorporarse a algún proyecto de investigación científica o a algún proyecto tecnológico que requiera de un matemático.*
- *Capacidad de aplicar métodos matemáticos en el análisis y la resolución de problemas matemáticos complejos.*
- *Capacidad para plantearse y resolver problemas de investigación en matemáticas.*
- *Habilidad para expresar sus resultados de investigación de manera oral y escrita tanto en español como en inglés.*
- *Capacidad para expresar sus resultados de investigación de manera oral y escrita tanto en español como en inglés.*
- *Se conduce con responsabilidad y ética profesional, manifestando conciencia social de solidaridad, justicia y respeto por el medio ambiente.*
- *Ser honesto y tiene rigor científico, capaz de socializar el conocimiento adquirido, es responsable en el desarrollo, usos y aplicaciones del conocimiento en beneficio de la sociedad y el medio ambiente.*
- *Formación y conocimientos necesarios para ingresar a la planta docente de nivel superior de cualquier institución educativa.*

Una parte de la revisión diagnóstica, fue un estudio de la demanda de egresados dentro de la región, por empresas y centros de investigación, en los cuales se descubrió que aun existiendo fuentes potenciales de trabajo, estos se desperdician porque no se considera a los egresados de esta maestría para formar parte de ellas, ni los egresados se acercan a ellas para desarrollarse profesionalmente, situación que indica una fuerte debilidad del programa, este estudio exploratorio hace constar la poca vinculación con empresas y centros de investigación, por consiguiente existen personas con otros perfiles que están ocupando el lugar que podría ocupar un egresado de esta área.

Otro medio para la evaluación que proporcionó un fuerte indicio de la existencia de debilidades fue una entrevista realizada el pasado 3 de julio de 2013 al entonces secretario de investigación y estudios de posgrado Dr. José Jacobo Oliveros Oliveros y al Dr. José Ramón Enrique Arrazola Ramírez actual director de la FCFM, quienes fueron elegidos por su experiencia en las actividades del posgrado, cuyo tema principal fue el cumplimiento del perfil de egreso, señalando que el objetivo es conocer si el estudiante está adquiriendo la formación necesaria para cumplir con las características del perfil de egreso de la MCM impartida en FCFM-BUAP, dicha entrevista fue grabada y se tuvo la oportunidad de realizarles 18 preguntas referentes al

tema de interés (apéndice A), en las cuales se les dio la oportunidad de expresarse abiertamente, además, se agregaron algunas observaciones extras por parte de los entrevistados.

Como primer punto, se les cuestionó sobre la preparación académica que los alumnos deben tener como formación en cuanto a las áreas básicas y de especialización además de conocer su opinión acerca de si están bien consideradas, agregando la formación y conocimientos necesarios para ingresar a la planta docente de nivel superior de cualquier institución educativa, con lo que nos contestaron que los alumnos ingresan a un tronco básico conformado por las materias de álgebra, análisis I y II y estadística o variable compleja según su área de orientación completando su formación con cinco materias más, comentando que esta característica de formación se cumple bastante bien, debido a que los estudiantes dan un repaso de lo que ya se cursó en la licenciatura y se complementa con material extra al visto en este nivel anterior, y con respecto a las áreas de especialización, están determinadas por los cuerpos académicos, estas son: Ecuaciones diferenciales y simulación matemática, topología y, probabilidad y estadística, cuyo conocimiento detallado se adquiere a través de 5 materias en las que pueden adquirir el conocimiento necesario y el desarrollo del trabajo de tesis, de esta manera, el conocimiento detallado, esperan se adquiera durante los seminarios y en la realización de la tesis de maestría, en la que en palabras del Doctor Arrazola *“no requiere aportar nuevos conocimientos, pero tampoco puede ser un trabajo de simple ubicación del material y redacción”* debido al nivel en el que se está. En cuanto a nuestro interés por conocer la forma en que se adquiere la formación y conocimientos necesarios para ingresar a la planta docente de nivel superior de cualquier institución educativa, lo que nos menciona es que de hecho los alumnos así como tal no llevan cursos de pedagogía lo que podría ser un requisito para ingresar a la planta de una institución de estudio superior, sin embargo tienen la preparación de la exposición en los seminarios y de un apoyo a sus profesores en los cursos, además de la participación en eventos nacionales e internacionales, y se menciona que diversas instituciones del sureste de la república tienen en su planta docente, profesores egresados de esta maestría.

Respecto al desarrollo de habilidades, según el perfil de egreso presente, incluimos preguntas referentes a la resolución de problemas complejos e investigación junto con las oportunidades de vinculación, con lo que nos contestan que uno de los objetivos de las áreas básicas es que los alumnos adquieran mayor madurez a la que ya poseen de la licenciatura, entre otros aspectos, por medio del uso de bibliografía más avanzada, lo que les permite desarrollar la solución de problemas del nivel que en ella se maneja, sin embargo, hacen notar que no es suficiente, porque sí deberían tener la capacidad de generar conocimiento nuevo, aspecto que consideran no se adquiere sino hasta el siguiente nivel (doctorado). También mencionan que muchos alumnos al participar en los seminarios de investigación de los cuerpos académicos, logran tener publicaciones a través de su participación en diversos proyectos, otros a través de modelaciones, otros a través de seminarios en otras universidades, lo que los puede preparar para tener una inmersión en la docencia y en la investigación, sin embargo consideran que en general aun *“no logran estar capacitados para incidir en centros de investigación”* lo que sí se logra en otras áreas como en la de física, gracias a que ellos sí pueden tener intercambios a otros laboratorios por lo que sí pueden incidir en la investigación experimental, siendo que en matemáticas no se da tanto así, por lo que no se establece realmente vinculación de este tipo.

Incluimos una parte respecto a los valores, la ética profesional, y poner en práctica sus conocimientos en beneficio de la sociedad y el medio ambiente, parte en la que se menciona que no se le da la importancia necesaria, pues no se considera en ningún momento esta temática,

solo se tiene que algunos alumnos participan en tareas que impactan a la sociedad por medio de la docencia y en cursos de prevención social. En la parte de socialización del conocimiento adquirido sí participan en diversos eventos así como ayuda a profesores.

Prosiguiendo con la entrevista, para redondear sus opiniones en resumen pudimos detectar las siguientes oportunidades de mejora, las cuales es necesario estudiar para tener elementos contundentes que nos permitan tomar decisiones:

- Formación y conocimientos necesarios para ingresar a la planta docente.
- La resolución de problemas complejos e investigación.
- Vinculación.
- Lograr un segundo idioma (inglés).
- Implementar un servicio social.

2.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Considerando la importancia que tiene en un programa educativo el perfil de egreso donde se plasman los resultados de todo el proceso educativo, nos interesamos por abordarlo en la MCM de la FCFM-BUAP analizando en el capítulo 1 las áreas involucradas en el tema para generar una mejora significativa, la problemática en la que se centra esta tesis se puede resumir en los siguientes puntos:

- Existen debilidades en el programa de Maestría (Matemáticas) e indicios del no cumplimiento al 100 % del perfil de egreso en estudio (Dr. José Ramón Enrique Arrazola Ramírez, Director de la FCFM, BUAP y Dr. José Jacobo Oliveros Oliveros, Secretario de investigación y estudio de posgrados FCFM, BUAP, comunicación personal, 3 de julio de 2013).
- El diseño y supervisión del cumplimiento del perfil de egreso del programa en estudio no está definido ni estructurado.
- Por lo anterior se ha identificado la necesidad de sugerir una metodología que permita dar un diagnóstico y diseñar una mejora significativa en el perfil de egreso del programa, que de forma particular tome en cuenta la experiencia y conocimiento de los profesores por ser los responsables de la formación académica quienes son especialistas en el área y a quienes consideramos como los representantes de la Facultad a quien le beneficiarían los resultados del trabajo.
- Por otra parte nos vimos en el problema de elegir la metodología de calidad que mejor se ajuste a los objetivos del trabajo buscando que posea las características adecuadas para el procesamiento matemático, objetivo y científico de la información y adaptarla en este caso al ámbito educativo.
- Analizar e integrar las metodologías y técnicas matemáticas necesarias y adecuadas a cada paso a realizarse.

Preguntas de Investigación.

Preocupados por la situación y de acuerdo a la problemática planteada surgen las siguientes preguntas de investigación:

- ¿El perfil de egreso actual es el deseable?
- ¿Qué metodología de calidad es la más adecuada para abordar el problema?
- ¿Qué métodos matemáticos son los más apropiados para los objetivos de cada fase?
- ¿Cómo validar la metodología que sea propuesta?
- ¿Puede crearse una metodología y/o normatividad que permita actualizar y supervisar el cumplimiento del perfil de egreso?
- ¿Tal metodología permitirá establecer un proceso de mejora constante en el perfil de egreso?

2.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

Con el propósito final de ayudar a dar soluciones a la problemática planteada, esta tesis propone crear una metodología que garantice la calidad en el perfil de egreso y por lo tanto en los procesos de aprendizaje. Siguiendo durante el transcurso del trabajo los siguientes objetivos:

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología que permita sugerir y organizar el contenido del perfil de egreso de la MCM, en la FCFM, perteneciente a la BUAP.

Diseñar una propuesta de los elementos del programa a mejorar, a partir de las conclusiones obtenidas en la aplicación de la metodología diseñada.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para lograr estos propósitos y como consecuencia de los problemas planteados se proponen los siguientes objetivos particulares:

- Desarrollar un procedimiento sistemático para:
 - Identificar las características que deben conformar el perfil de egreso en base al conocimiento de las necesidades y expectativas de los profesores, considerados como los expertos en el ámbito.
 - Identificar los elementos del programa que influyen en el cumplimiento de las características del perfil identificado.
 - Diseñar los objetivos de mejora.
- Desarrollar la metodología propuesta.
- Elaborar una propuesta de mejora de acuerdo a los resultados obtenidos.
- Elegir, estudiar y aplicar los métodos matemáticos adecuados.

Capítulo 3

MARCO CONCEPTUAL

Este capítulo tiene como objetivos:

- Revisar las metodologías de calidad más representativas en la actualidad y elegir la más adecuada para nuestro problema.
- Describir ampliamente la metodología de calidad elegida que sirva como guía para la propuesta.
- Estudiar los métodos matemáticos más usuales en el desarrollo de la metodología elegida.

3.1. METODOLOGÍAS DE CALIDAD LÍDERES EN LA ACTUALIDAD

Al revisar las tendencias y aceptación actuales en diversos ámbitos del uso de las metodologías de calidad, se han identificado a 3 de las líderes, estas son: Seis sigma, El despliegue de la función de calidad y la Gestión de la calidad total, de las cuales se expone una breve descripción con el objetivo de identificar la que mejor se ajuste para los fines que se persiguen.

Seis Sigma

Seis Sigma es una técnica de mejora continua que busca identificar las causas de los errores, defectos y retrasos en los diferentes procesos de las corporaciones o negocios, enfocándose en los aspectos que son críticos para el cliente, con el objetivo de mejorar la calidad y reducir los niveles de defectos [70].

Control total de la calidad

La Gestión de la Calidad Total (TQM: Total Quality Management), es básicamente una “filosofía” empresarial que se basa en la búsqueda de la satisfacción total del cliente. La Gestión de Calidad implica una actitud por parte de toda la compañía orientada a proporcionar valor al producto o servicio destinado al consumidor [77].

Despliegue de la Función de Calidad

El Despliegue de Función de Calidad (QFD) es una metodología de diseño de productos y servicios que recoge la voz del cliente y la traduce, a través de una secuencia de pasos sistematizados y ordenados, en características de diseño y operación; las mismas que satisfacen las demandas y expectativas del mercado. Su evolución ha convertido a QFD en una metodología capaz de sistematizar la información obtenida del cliente hasta llegar a definir las características del producto o servicio, adaptándolo a las necesidades y expectativas detectadas [39].

Para elegir la más adecuada, se realizó una revisión literaria de cada una de las metodologías y se extrajeron sus características en la tabla 3.1.

Estas metodologías se basan en métodos matemáticos, para diseñar o mejorar procesos. Aunque seis sigma parece una buena elección, una de sus características adicionales es que genera respuestas con duración a corto plazo, aspecto que para el trabajo es desafortunado, pues en un programa de maestría los resultados deben ser duraderos en al menos una generación o ciclo escolar ya que no se puede parar o reestructurar el programa en cualquier momento. Los elementos de seis sigma pueden estructurarse a través del enfoque de QFD y dado que lo que se pretende es diseñar un perfil de egreso deseable, esta metodología se puede considerar más apropiada porque además genera respuestas con tiempos de vida más largos, QFD se apoya al igual que seis sigma de métodos matemáticos los cuales se eligen según el problema a tratar y los objetivos específicos que se planteen dentro de la misma metodología. Por su parte la metodología de control total de calidad, al verse como una filosofía, no posee una estructura guía que ayude a abordar el problema, lo que requiere de mayor experiencia por parte de los investigadores para poderse aplicar.

Por lo anterior y debido a que para nuestros propósitos, necesitamos un mecanismo de planeación para el diseño de un perfil de egreso enfocado a los requerimientos necesarios, la implementación y control de los procesos adecuados a largo tiempo de acuerdo al funcionamiento del programa de maestría, utilizamos QFD.

Si traducimos algunos de los beneficios de QFD al ámbito educativo, podemos identificar:

Competitividad: Los servicios educativos desarrollados eficientemente, con alta calidad y que optimizan sus recursos aumentan la competitividad de la institución, debido a que los procesos eficientes optimizan los recursos y permiten a la institución alcanzar una mayor influencia en la sociedad en corto plazo, por su parte, la calidad proporciona prestigio y la distingue de las demás [12].

Diseño preventivo: Naturalmente, el diseño de un perfil de egreso se realiza en tres etapas genéricas, Definición, Diseño y Rediseño, de estas tres, a la parte de “rediseño” es a la que se le dedica más tiempo, esto es, se trabaja más en corregir los errores que se presentan, precisamente por no ponerle la atención adecuada a la fase de definición. QFD permite mejorar considerablemente la fase de definición y así prevenir y reducir la generación de errores por lo que se disminuye drásticamente la necesidad de rediseño [12].

QFD es el más adecuado para alcanzar los siguientes objetivos [62]:

- Definir las características del perfil de egreso que satisfacen a los clientes.
- Asignar, en formularios especialmente estructurados, toda la información que se considere necesaria para el desarrollo de un nuevo perfil o servicio educativo (una sintética

SEIS SIGMA	TQM	QFD
Una infraestructura de agentes de cambio enfocados en lineamientos de actividades interconectadas para la entrega de resultados; en lugar de una división de trabajo especializada.	Un área especializada dentro de la organización.	Toda la organización (equipo interdisciplinario).
Se enfoca en objetivos estratégicos y los aplica para costear, planear y otros indicadores clave de la empresa.	Se enfoca en la calidad.	Se enfoca en las necesidades de los clientes.
Dirigido hacia el beneficio palpable para un grupo mayor de socios (clientes, accionistas y empleados).	Motivado por un idealismo de calidad.	Busca la satisfacción de los clientes y superar a la competencia al menor costo.
Se asegura que la inversión produzca los rendimientos esperados.	Control débil del progreso para el logro de los objetivos.	Se guía en los requerimientos de los clientes para la planeación de la mejora.
Pocos recursos nuevos son creados para cambiar procesos clave del negocio y la organización misma.	El personal se emplea en deberes rutinarios (planeación, mejora y control).	Los empleados adquieren nuevas tareas.
Enfatiza la tasa de avance de las mejoras.	Enfatiza la solución de problemas.	Enfatiza la planeación de mejora.
Se enfoca en el desempeño de clase mundial, por ejemplo una tasa de error de 3.4 ppm.	Se enfoca en la implementación de estándares, por ejemplo ISO 9000.	Define las características de calidad.
Seis Sigma es un trabajo temporal que no desvía la trayectoria profesional de quienes lo realizan.	TQM es un trabajo de tiempo completo y requiere una trayectoria como experto en el área.	QFD establece una nueva cultura de calidad en toda la empresa.
Proporciona un subconjunto de herramientas y técnicas, así como una estructura claramente definida para usarlas y obtener resultados.	Proporciona un extenso conjunto de herramientas y técnicas pero sin una estructura bien definida para usarlos efectivamente.	Proporciona una estructura de planeación con un conjunto de posibles técnicas y herramientas para obtener los resultados.
Las metas fluyen desde el cliente y los objetivos estratégicos de la gerencia; las metas y sus mediciones se revisan a nivel de empresa para asegurar que no ocurra una suboptimización local.	Las metas son desarrolladas por el departamento de la calidad basado en los criterios de aseguramiento de la calidad y la suposición de que lo que es bueno para lograr la calidad es bueno para la organización.	Las metas se definen en conjunto con los clientes, la empresa y la comparación con la competencia.
Desarrollada por Directores Generales.	Desarrollada por Ingenieros.	Guiada por un equipo técnico y desarrollada por toda la empresa.
Busca una mezcla de resultados a corto y largo plazo establecidos por las demandas del mercado.	Se enfoca en resultados a largo plazo, los resultados esperados no están bien definidos.	Obtiene resultados con validez a largo plazo debido a que se mantienen las acciones de mejora permanentes en toda la empresa.

Tabla 3.1: Tabla de comparación de metodologías

herramienta, aunque rica en información).

- Llevar a cabo un análisis comparativo de los rendimientos del programa contra los de los competidores.
- Garantizar la coherencia entre las necesidades que los clientes manifiestan y las caracte-

terísticas que debe contener el perfil sin dejar de lado cualquier punto de vista.

- Asegurar que todos los responsables de cada paso del proceso se mantienen en constante información acerca de la relación entre la calidad de la salida de ese paso y la calidad del producto final.
- Reducir la necesidad de modificaciones y correcciones durante etapas avanzadas de desarrollo.
- Minimizar el tiempo asignado a la interacción con el cliente.
- Garantizar la plena coherencia entre la planificación del perfil y la planificación de los procesos para hacer que se cumplan.
- Aumentar la capacidad de la institución para reaccionar, de manera que los errores que pudieran derivarse de una interpretación errónea de las prioridades y los objetivos, son reducidos al mínimo.
- Disponer de la documentación que explique por sí misma el proyecto a medida que evoluciona.

3.2. DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD (QFD)

A continuación describiremos la metodología del Despliegue de la Función de la calidad, necesaria para que posteriormente sea adaptada para su aplicación en el problema de estudio.

La metodología consta de una estructura de matrices sucesivas llamadas “Casas” por la forma que poseen, que permiten transmitir “qué quieren los clientes” llamados “QUÉs” en “Como poder satisfacer estas necesidades” llamados “CÓMOs”.

En cuanto al modo de aplicar el QFD, Akao desarrolló un modelo genérico llamado la Matriz de Matrices, que poco a poco se fue adaptando hasta generar un modelo enfocado, llamado modelo de las cuatro fases que se convirtió en la base del enfoque del American Supplier Institute (ASI) y es el que usualmente se sigue. Como su nombre lo indica, está enfocado únicamente en cuatro etapas (planeamiento de producto, diseño de producto, planeamiento de procesos y planeamiento del control de procesos).

QFD traduce los requerimientos de los clientes hacia los elementos que se muestran en la figura 3.1

La estructura de planeación de QFD de cuatro matrices está constituida por:

- Las dos primeras matrices (casa de la calidad y características del perfil) se refieren a la planificación del producto y desarrollo del diseño.
- las siguientes dos se refieren a la elaboración, planificación de procesos y planificación del control.

Forma 1. Matriz de planificación del producto.

Esta matriz es el elemento más importante, es la base del desarrollo de la metodología, se denomina también Casa de la Calidad (HOQ: abreviatura del inglés House of Quality) por la forma

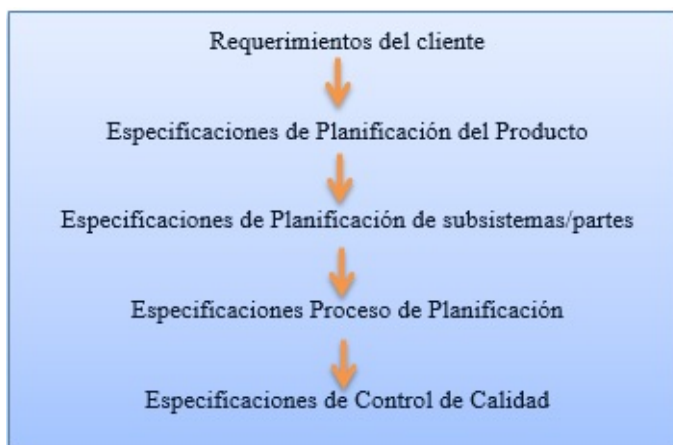


Figura 3.1: Objetivos en la estructura de QFD

que adquiere como una casa, su objetivo es traducir de manera adecuada los requerimientos de los clientes (QUÉs) obtenidos, en características del producto o servicio (CÓMOs), es decir: identificar las características de calidad capaces de satisfacer los deseos expresados por los clientes, para finalmente generar los valores objetivos que nos indican qué acciones tomar primero.

En esta matriz se siguen los objetivos siguientes:

- Se definen las características objetivas del producto a partir de las expectativas del cliente (QUÉs).
- Se obtienen los “CÓMOs” que son las especificaciones o atributos del producto.
- Se comparan los requisitos del cliente (requerimientos) con las características del producto (atributos).
- Define las relaciones ocurrientes, entre los dos elementos y sus prioridades recíprocas.
- Permite la evaluación comparativa.

Forma 2. Matriz de desarrollo del diseño.

Compara las características técnicas del producto o servicio con los requisitos de los componentes más importantes (subsistemas) en los que puede descomponerse (características de fundamentales) y que conformarán las características del diseño.

Forma 3. Matriz de planificación de procesos.

Se refiere a las características únicas de los subsistemas con sus respectivos procesos de ejecución (etapas críticas del proceso).

Forma 4. Matriz de planificación del control.

Define la inspección, parámetros de control de calidad y métodos para ser utilizados en el proceso de ejecución en cada etapa del procedimiento (pasos del proceso de control de calidad).

Se establece:

- Que cada paso crítico del proceso esté colocado en posición.
- Los parámetros de control de procesos.
- Los puntos de control.
- Los métodos de control.
- El tamaño de la muestra, frecuencias y métodos de verificación.

Dichas matrices están relacionadas en forma consecutiva como se ve en la Figura 3.2.

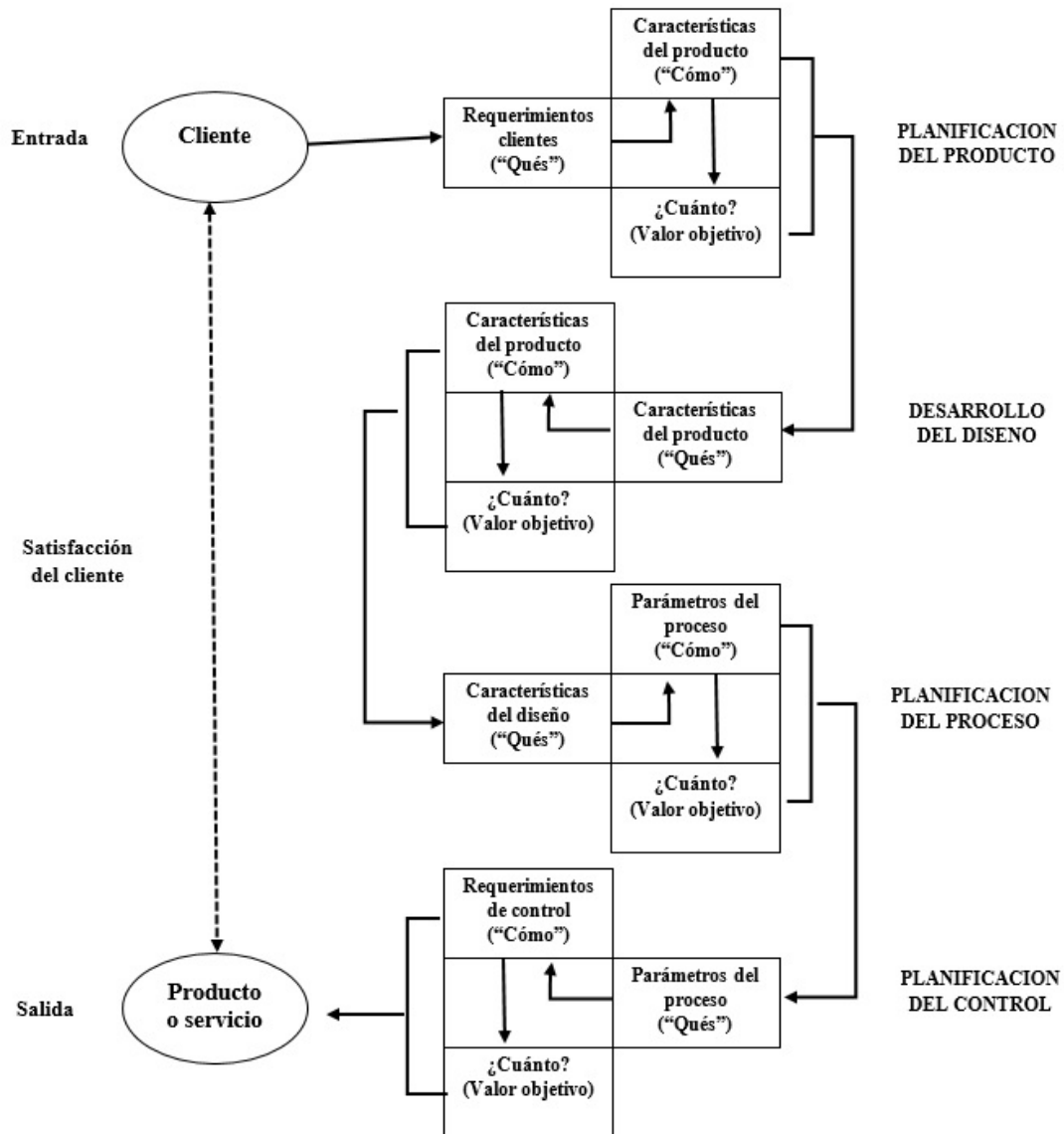


Figura 3.2: Gráfico de relación entre matrices

3.3. MÉTODOS MATEMÁTICOS DENTRO DE QFD

Esta sección está diseñada para mostrar los métodos matemáticos que se eligieron para llevar a cabo los objetivos en cada fase de la metodología de QFD.

3.3.1. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP)

El Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP), propuesto por Saaty en 1980, permite tomar decisiones multicriterio que se modela mediante una jerarquía, es decir, según Saaty, el método AHP es un modelo de decisión que interpreta los datos y la información directamente mediante la realización de juicios y medidas en una escala de razón dentro de una estructura jerárquica establecida. Es un método de selección de alternativas (estrategias, inversiones, etc.) en función de una serie de criterios o variables, las cuales suelen estar en conflicto.

El método de AHP se compone de tres etapas: (i) Modelización, (ii) Valoración y (iii) Priorización y síntesis, las cuales se exponen con sus fundamentos teóricos, dejando al final la demostración de los teoremas involucrados [75], [76], [64].

Etapa 1: Modelización

El método inicia modelando el problema como una jerarquía (Definición 3.10) en la que se fijan todos los criterios y alternativas relevantes para la resolución del problema según los conocimientos del decisor (Axioma 3.1). La modelación del problema se hace de esta forma al considerarse a las jerarquías y en general redes, como algo inherente a las neuronas del cerebro, esto es, cómo el cerebro modela problemas complejos descomponiéndolos en partes más sencillas. Este hecho es una de las principales características del método, de ahí el término “jerárquico” que aparece en su denominación.

Definición 3.1 *Sea H un conjunto parcialmente ordenado cuyo elemento mayor es b . H es una jerarquía si satisface las siguientes condiciones:*

1. *Existe una partición de H en conjuntos denominados niveles $\{L_k, k = 1, 2, \dots, h\}$, donde $L_1 = \{b\}$.*
2. *$x \in L_k$ implica que $x^- \subseteq L_{k+1}$, donde $x^- = \{y \mid x \text{ cubre a } y\}$, $k=1, 2, \dots, h-1$.*
3. *$x \in L_k$ implica que $x^+ \subseteq L_{k-1}$, donde $x^+ = \{y \mid y \text{ cubre a } x\}$, $k=2, 3, \dots, h$.*

Denotemos a \mathbb{A} como un conjunto finito de n elementos llamados alternativas. \mathbb{C} un conjunto de propiedades o atributos con respecto a los que se comparan los elementos de \mathbb{A} . Una propiedad es una característica que un objeto o individuo posee incluso si somos ignorantes de este hecho, mientras que un atributo es una característica que asignamos a un objeto. Aquí suponemos que las propiedades y los atributos son intercambiables, y en general nos referimos a ellos como criterios.

Al realizar la jerarquía se supone que un decisor tiene una ordenación, intuitiva, de un conjunto finito de alternativas \mathbb{A} con respecto al conocimiento a priori de los criterios \mathbb{C} y además, el decisor puede tener expectativas acerca de la ordenación, dichas expectativas son creencias acerca de la ordenación de las alternativas derivada del conocimiento a priori, lo que da origen

al axioma 3.1.

Axioma 3.1 Expectativas

Completez. $\mathbb{C} \subset H - L_h, \mathbb{A} = L_h$ Esto es, que cuando se toma una decisión, siempre se supone que la estructura jerárquica está completa. Esto es, que todas las alternativas y los criterios considerados relevantes para la resolución del problema están representados en la jerarquía.

Clasificación. Se preserva la clasificación independientemente de cuántas y cuáles otras alternativas puedan haber. Alternativamente, se puede permitir que la clasificación sea influenciada por el número y las medidas de las alternativas que sean agregadas o borradas del conjunto. Es decir, que la clasificación de las alternativas dependerá de las expectativas del decisor y de la naturaleza del problema de decisión.

En la jerarquía que se diseñe, en el vértice superior L_1 se sitúa la meta u objetivo que se pretende alcanzar. El problema de decisión consiste en elegir la alternativa que mejor contribuye a la consecución de la meta del nivel superior de la jerarquía.

En el siguiente nivel L_2 , en orden descendente desde la meta, se sitúan los criterios. Los criterios de decisión corresponden a aspectos tales como atributos, objetivos o parámetros que constituyen los ejes fundamentales a partir de los cuales el decisor justifica, transforma y argumenta sus preferencias. La selección adecuada de los criterios constituye una etapa fundamental en cualquier proceso de toma de decisión, ya que un planteamiento inadecuado de los mismos puede llevar a resultados poco satisfactorios o incluso a invalidar todo el proceso: se deben definir los criterios que son importantes en el problema.

Una vez definidos los criterios puede darse el caso en que éstos a su vez se puedan descomponer en otros subcriterios formando otra jerarquía descendente L_3 . Durante la construcción de esta jerarquía de criterios y subcriterios se debe analizar el problema en profundidad con el fin de representarlo de la forma más completa y global posible (aunque dejando abierta la posibilidad de algunos cambios en los elementos), considerar el entorno que rodea al problema, identificar los atributos que contribuyen a la solución y considerar a las personas interesadas en el problema creando una jerarquía con los niveles necesarios que expliquen el problema ($L_k, k = 2, \dots, h - 1$).

Finalmente, en el último nivel de la jerarquía L_h se sitúan las alternativas, que son el conjunto de posibles opciones definidas sobre las que el decisor realiza una decisión.

Etapa 2: Valoración

El problema clave que se plantea en este punto es responder a cómo se puede asignar un valor numérico a cada criterio (alternativa), que represente del modo más ajustado posible, la preferencia del decisor de un criterio (alternativa) frente a otro.

Para asignar estos valores, AHP utiliza los conceptos de valor propio, vector propio y realiza comparaciones entre pares de criterios.

Analizaremos este aspecto para comparación entre alternativas y posteriormente se expondrán algunos resultados para extender esta idea también para criterios.

Cuando se comparan dos elementos de \mathbb{A} con respecto a un criterio \mathcal{C} en \mathbb{C} , se dice que se realiza una comparación binaria. Sea $>_{\mathcal{C}}$ una relación binaria sobre \mathbb{A} representando “más preferido sobre” o “dominado” con respecto al criterio \mathcal{C} . Sea $\sim_{\mathcal{C}}$ la relación binaria “indiferente a” con respecto al criterio \mathcal{C} . Entonces, dados dos elementos $A_i, A_j \in \mathbb{A}$, ya sea $A_i >_{\mathcal{C}} A_j$ o $A_j >_{\mathcal{C}} A_i$ o $A_i \sim_{\mathcal{C}} A_j$, para todo \mathcal{C} en \mathbb{C} , usaremos $>_{\sim_{\mathcal{C}}}$ para indicar “más preferido sobre o indiferente a” con respecto al criterio \mathcal{C} en \mathbb{C} .

Se utiliza esta relación para derivar la noción de prioridad o importancia tanto con respecto a un criterio como a varios.

Según el problema de valoración planteado, se busca una escala que proporcione un valor a la comparación entre dos alternativas, esto es:

Sea \mathbb{B} el conjunto de las aplicaciones desde $\mathbb{A} \times \mathbb{A}$ en \mathbb{R}^+ . Sea $f : \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{B}$. Sea $P_{\mathcal{C}} \in f(\mathbb{C})$ para $\mathcal{C} \in \mathbb{C}$. $P_{\mathcal{C}}$ asigna un valor real positivo a cada par $(A_i, A_j) \in \mathbb{A} \times \mathbb{A}$. Sea $P_{\mathcal{C}}(A_i, A_j) = a_{ij} \in \mathbb{R}^+$, $A_i, A_j \in \mathbb{A}$. Para cada $\mathcal{C} \in \mathbb{C}$, la terna $(\mathbb{A} \times \mathbb{A}, \mathbb{R}^+, P_{\mathcal{C}})$ es una escala fundamental. Una escala fundamental es una aplicación de objetos en un sistema numérico.

AHP utiliza la comparación entre pares para obtener la escala fundamental a través de proporciones que represente las magnitudes de un conjunto de elementos, la comparación se realiza con respecto a la dominación (término genérico para expresar importancia o preferencia) (Definición 3.2). La idea de proporciones surge de cómo objetos o fenómenos físicos se contrastan para generar una medida de comparación entre ellos, así, en psicología se hace una analogía para generar medidas para cuestiones intangibles como lo es aquí, las sensaciones, percepciones, ideas o emociones, de igual manera, se realizan comparaciones para cada par de alternativas con respecto a cada criterio o subcriterio del nivel superior.

Definición 3.2 Para todo $A_i, A_j \in \mathbb{A}$ y $\mathcal{C} \in \mathbb{C}$
 $A_i >_{\mathcal{C}} A_j$ si y sólo si $P_{\mathcal{C}}(A_i, A_j) > 1$
 $A_i \sim_{\mathcal{C}} A_j$ si y sólo si $P_{\mathcal{C}}(A_i, A_j) = 1$

Si $A_i >_{\mathcal{C}} A_j$ se dice que A_i domina a A_j con respecto a $\mathcal{C} \in \mathbb{C}$. $P_{\mathcal{C}}$ representa la intensidad o fuerza de la preferencia de una alternativa sobre otra.

Notemos que cada vez que hacemos comparaciones entre pares, debemos tener en cuenta los dos miembros de la pareja para juzgar el valor relativo. El que se considera dominado se utiliza como la unidad para el criterio en cuestión, la medida de la otra alternativa se calcula entonces como un múltiplo no necesariamente entero de esa unidad. Así, por ejemplo, si una piedra se juzga que es cinco veces más pesada que otra, entonces la otra es automáticamente una quinta tan pesada como la primera, ya que participó en la toma de la primera sentencia lo que da lugar al axioma de reciprocidad (axioma 3.2) fundamental en AHP.

Axioma 3.2 Reciprocidad

Para todo $A_i, A_j \in \mathbb{A}$ y $\mathcal{C} \in \mathbb{C}$, se tiene: $P_{\mathcal{C}}(A_i, A_j) = \frac{1}{P_{\mathcal{C}}(A_j, A_i)}$.

Definición 3.3 A una matriz $M = (a_{ij})$ con la propiedad $a_{ij} = 1/a_{ji}$ para todo i, j y $a_{ij} > 0$ se le llama matriz recíproca positiva (*positive reciprocal matrix*).

Si llamamos $M = (a_{ij}) = (P_C(A_i, A_j))$ a la matriz de comparaciones entre pares de las alternativas con respecto al criterio $C \in \mathbb{C}$. Por el Axioma 3.2, M es una matriz recíproca positiva.

Observemos que si en la modelización del problema de decisión como una jerarquía se ha considerado la descomposición de algunos o todos los criterios en subcriterios, deberán realizarse todas las comparaciones entre subcriterios respecto al criterio inmediatamente superior en la jerarquía.

De dichas comparaciones entre pares es que surge P_C . Saaty, autor del método propone una escala fundamental (Tabla 3.2), la cual representa las percepciones de la gente cuando efectúa comparaciones de aspectos intangibles, esta escala está constituida por un rango de valores entre $1/9$ y 9 (Las preferencias se representan por medio de una escala limitada), evitando así distorsionar nuestra capacidad perceptiva ante cambios muy pequeños o muy grandes que no permitan una estimación adecuada, aspecto que podría ocurrir si se cuenta con un rango muy amplio o en general de cero a infinito. Además, para lograr esta acuracidad, los elementos comparados deben pertenecer a grupos homogéneos o por lo menos relativamente próximos. La homogeneidad es esencial para comparar cosas similares, debido a que la mente tiende a cometer grandes errores en la comparación de elementos muy dispares. Por ejemplo, no podemos comparar un grano de arena con una naranja de acuerdo al tamaño. Cuando la disparidad es grande, los elementos se colocan en componentes separados de tamaño comparable, dando lugar a la idea de los niveles y su descomposición. Esto puede formalizarse de la siguiente manera:

Definición 3.4 Dado un valor positivo real $\rho \geq 1$, un conjunto no vacío $x^- \subseteq L_{k+1}$ se dice ρ -homogéneo con respecto a $x \in L_k$ si para cada par de elementos $y_1, y_2 \in x^-$, $1/\rho \leq P_C(y_1, y_2) \leq \rho$. En particular, el axioma de reciprocidad implica que $P_C(y_i, y_i) = 1$.

Axioma 3.3 Homogeneidad

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

Saaty menciona que nuestra habilidad de realizar distinciones cualitativas se representa bien con cinco intensidades: igual, moderada, fuerte, muy fuerte y extrema y suelen utilizarse situaciones intermedias para realizar compromiso entre los valores adyacentes, esto es, cuando se necesite de mayor precisión con lo que se genera un mayor refinamiento, como se muestra finalmente en la tabla 3.2.

La escala fundamental tiene un origen psicológico que se basa en los trabajos de Weber y Fechner. Los coeficientes $1, 2, 3, \dots$ surgen de la ley de Weber-Fechner entre estímulos y sensaciones. Incluso mencionan que para medir aspectos tangibles e intangibles, el cerebro humano responde de manera similar.

La ley de Weber (1846) establece que para poder percibir una modificación o cambio (Δs) en cualquier estímulo (s), es preciso que éste supere un porcentaje del valor inicial para poder distinguir entre s y $s + \Delta s$. Esta ley es cierta cuando la variación es pequeña respecto al valor del estímulo, pero suele fallar cuando el estímulo es muy grande o muy pequeño.

Intensidad o importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
2	Débilmente más importante	
3	Moderadamente más importante	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
4	Moderadamente más importante mas un plus	
5	Fuertemente más importante	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
6	Fuertemente más importante mas un plus	
7	Mucho más fuerte la importancia	Un elemento domina fuertemente. Su dominación está probada en práctica
8	Muy, muy fuerte	
9	Extrema importancia	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.
Recíprocos	Si el elemento i tiene uno de los números no nulos anteriores asignado en comparación con el elemento j , j entonces tiene el valor inverso en comparación con i	Una suposición razonable

Tabla 3.2: Escala fundamental

En 1860 Fechner, basándose en la ley de Weber, sugiere una relación geométrica para los incrementos sucesivos en los estímulos, si se denota al primero de ellos por s_0 y sea $r = \Delta s/s$, el siguiente estímulo está dado por:

$$s_1 = s_0 + \Delta s_0 = s_0 + \frac{\Delta s_0}{s_0} s_0 = s_0(1 + r) = s_0 \alpha \quad (3.1)$$

Similarmente

$$s_2 = s_1 + \Delta s_1 = s_0(1 + r)^2 \equiv s_0 \alpha^2 \quad (3.2)$$

En general

$$s_n = s_{n-1}\alpha = s_0\alpha^n \quad (3.3)$$

Fechner notó una relación aritmética para las sensaciones, pues si resolvemos 3.3 para n , tenemos:

$$n = \frac{\log s_n - \log s_0}{\log \alpha} \quad (3.4)$$

lo que indica que la sensación es una función lineal del logaritmo de los estímulos.

Si N denota la sensación y s el estímulo, la ley de Weber-Fechner viene dada por:

$$N = a \log s + b, a \neq 0 \quad (3.5)$$

Trasladando estas ideas a las comparaciones entre pares, los estímulos surgen de esta manera, lo que interesa es responder cuáles valores están en forma de proporciones, entonces $b=0$, con lo que se tiene que $\log s_0 = 0$ o $s_0 = 1$ y las sensaciones asociadas a los sucesivos estímulos ($s_0 = 1, s_1 = \alpha, s_2 = \alpha^2, \dots$) son: $N_0 = 0, N_1 = a \log \alpha, N_2 = 2a \log \alpha, \dots, N_n = na \log \alpha$. Dividiendo las respuestas N_i por N_1 , se obtiene la secuencia de números absolutos 1,2,3,... de la escala fundamental (1-9).

La parte “pragmática” de la escala incluye eliminar el cero y el infinito en el proceso de cálculo y la adecuación de esos dígitos con la tradición humana de contar con los diez dedos. Como ya se ha indicado, los humanos suelen perder precisión en sus respuestas cuando se realizan comparaciones en el entorno de esos dos valores (0 e ∞). Por otra parte, los valores 1,3,5,7,9 pueden considerarse como las marcas de clase de los intervalos (0,2], (2,4], (4,6], (6,8] y (8,10], que responden a la forma de contar más elemental (diez dedos).

Además de la justificación teórica de la escala fundamental (argumento psicológico), la efectividad de esta escala ha sido validada empíricamente aplicándola a diferentes situaciones reales con aspectos tangibles (superficie de figuras, intensidades de luz, distancias entre ciudades) para las que se ha comportado adecuadamente.

Etapa 3: Priorización y síntesis

El objetivo es obtener una escala de dominación relativa (u ordenación) de las alternativas a partir de las comparaciones por pares, para ello se obtienen las diferentes prioridades consideradas en la resolución del problema: prioridades locales, prioridades globales y prioridades totales.

Prioridades locales

Las prioridades locales se obtienen a través de una escala derivada que asigna a una matriz de comparaciones entre pares un vector de valores que serán las prioridades de los elementos que se comparan (Definición 3.5).

Definición 3.5 Sea $R_{M(n)}$ el conjunto de las matrices $n \times n$ recíprocas positivas $M = (a_{ij}) = (P_C(A_i, A_j))$ para todo $C \in \mathcal{C}$. Sea $\Psi : R_{M(n)} \rightarrow [0,1]^n$, para $M \in R_{M(n)}$, $\Psi(M)$ es un vector n -dimensional cuyas componentes caen en el intervalo $[0,1]$. La terna $(R_{M(n)}, [0,1]^n, \Psi)$ es una escala derivada. Una escala derivada es una aplicación entre dos sistemas relacionales numéricos.

Observación: Es importante señalar que el orden de clasificación implicado por la escala derivada Ψ puede no coincidir con el orden representado por las comparaciones entre pares. Sea $\Psi_i(M)$ el componente i de $\Psi(M)$ que denota la dominancia relativa de la alternativa i . Por definición, para $A_i, A_j \in \mathbb{A}$, $A_i >_{\mathcal{C}} A_j$ implica $P_{\mathcal{C}}(A_i, A_j) > 1$. Sin embargo, si $P_{\mathcal{C}}(A_i, A_j) > 1$, la escala derivada podría implicar que $\Psi_j(M) > \Psi_i(M)$. Esto ocurre si la fila dominante no se mantiene, es decir, para $A_i, A_j \in \mathbb{A}$ y $\mathcal{C} \in \mathcal{C}$, $P_{\mathcal{C}}(A_i, A_j) \geq P_{\mathcal{C}}(A_j, A_k)$ no se cumple para toda $A_k \in \mathbb{A}$. En otras palabras, puede suceder que los $P_{\mathcal{C}}(A_i, A_j) > 1$, y para alguna $A_k \in \mathbb{A}$ tenemos $P_{\mathcal{C}}(A_i, A_k) < P_{\mathcal{C}}(A_j, A_k)$, esto es, debe mantenerse la transitividad.

Una condición más restrictiva válida para la escala en forma de razones es la siguiente:

Definición 3.6 La aplicación $P_{\mathcal{C}}$ se dice que es consistente si y sólo si:

$$P_{\mathcal{C}}(A_i, A_j)P_{\mathcal{C}}(A_j, A_k) = P_{\mathcal{C}}(A_i, A_k) \text{ para todo } i, j \text{ y } k.$$

De forma similar se dice que la matriz M es consistente si $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$ para todo i, j y k .

Notemos que la transitividad clásica en conjuntos ordenados significa que si $i \geq j$, $j \geq k$ implica $i \geq k$. Debido a que aquí se requiere que $a_{ij} \geq 1$ para $j \geq i$ (definición 3.2), consistencia implica transitividad porque si $i \geq j$, entonces $a_{ij} \geq 1$, $j \geq k$, entonces $a_{jk} \geq 1$ y de la consistencia tenemos $a_{ij}a_{jk} = a_{ik} \geq 1$ y por lo tanto $i \geq k$. Por consiguiente, la transitividad es una condición necesaria para la consistencia, aunque no suficiente (ej. $a_{ij} = 2$, $a_{jk} = 3$, $a_{ik} = 4$).

Después de que el decisor establece las comparaciones entre pares, lo que hace es construir una matriz M que en general no es totalmente consistente, pues se forma a partir de los juicios del decisor y normalmente puede no tener esta noción de consistencia tan exacta en sus juicios, y se le llama matriz de perturbaciones.

Si $P_{\mathcal{C}}$ es consistente, entonces el Axioma 3.2 se cumple automáticamente y la ordenación inducida por Ψ coincide con las comparaciones pareadas. Esto es, la consistencia es necesaria y suficiente para que M tenga la forma de $W = (w_i/w_j)$, donde w_j es la magnitud que se mide: pesos de los criterios. Pues si los pesos $(w_i, i = 1, 2, \dots, n)$ fueran conocidos, la matriz de comparaciones entre pares sería la siguiente:

$$W = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

Si se quisiera obtener el vector de pesos de prioridades locales $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ a partir de esta matriz se debe resolver el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} = \lambda \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

La matriz W es consistente, pues su rango es igual a 1 (Teorema 3.7) debido a que cada fila es múltiplo constante de la primera. Por ello esta matriz tiene un único valor propio distinto

de cero. La ecuación anterior se puede poner de la forma $W \cdot w = \lambda \cdot w$. El valor propio de W distinto de cero es igual a la dimensión n de la matriz y w es el vector propio asociado. Y de ella es posible obtener la función de dominancia relativa (Teorema 3.8). El problema se vuelve simple para el caso de matrices totalmente consistentes como lo es W , incluso se puede observar que la suma de los elementos de la matriz para la columna j se puede escribir como:

$$\frac{1}{w_j} \cdot \sum_{i=1}^n w_i = \frac{1}{w_j} \quad (3.8)$$

Por tanto si se normaliza la matriz W mediante la suma de las columnas, en cada una de ellas se obtiene el vector w .

No obstante, M es una matriz inconsistente, sin embargo, en perturbaciones pequeñas, esta matriz inconsistente M constituye una buena aproximación a_{ij} de las razones (teorema 3.11) además, su valor propio principal λ_{max} y el vector propio asociado w' son buenas aproximaciones, esto es w' es una aproximación al vector de prioridades w (Teoremas 3.9 y 3.10). Por lo anterior AHP utiliza el método del vector propio principal por la derecha para generar la escala derivada. Esto es, resolver el sistema de ecuaciones:

$$Mw' = \lambda_{max}w', \text{ con } \sum_j w'_j = 1 \quad (3.9)$$

Hasta aquí se llega al punto de preguntarse ¿Qué tanta inconsistencia es aceptable, es decir, que tanto se puede alejar el valor a_{ij} de la razón, de tal manera que el vector de prioridades calculado w' sea una buena aproximación al vector de prioridades w ? AHP usa al número $\lambda_{max} - n$ para obtener la medida en que se aleja a_{ij} de la w_i/w_j , esto puede verse en los teoremas desarrollados a continuación. Este suceso de inconsistencia está vinculado con la forma en cómo el cerebro trabaja con aspectos intangibles, surge con la necesidad de la redundancia en los juicios para mejorar su validez en el problema real.

Teorema 3.1 Sea $M \in R_{M(n)}$. Sea λ_{max} el valor propio principal de M , y sea w' su correspondiente vector propio por la derecha con $\sum_{i=1}^n w'_i = 1$, entonces $\lambda_{max} \geq n$.

DEMOSTRACIÓN

Sea $M = (a_{ij}) \in R_{M(n)}$ entonces $a_{ii} = 1$ y $a_{ij} = 1/a_{ji} \forall i, j = 1, \dots, n$, sea $w' = (w'_i)$ el vector propio principal por la derecha de M y sea $D = \text{diag}(w'_1, \dots, w'_n)$ matriz diagonal. Entonces:

$$E = D^{-1}MD = (a_{ij}w'_j/w'_i) = (\varepsilon_{ij}) \quad (3.10)$$

Se puede asumir que todas las perturbaciones de interés pueden ser reducidas a la forma $a_{ij} = (w'_i/w'_j)\varepsilon_{ij}$ (la consistencia ocurre cuando $\varepsilon_{ij} = 1$).

Entonces E es similar a M por construcción y además es una matriz recíproca positiva pues:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{a_{ij}w'_j}{w'_i} = \left(\frac{w'_i}{a_{ij}w'_j} \right)^{-1} = \left(\frac{a_{ji}w'_i}{w'_j} \right)^{-1} = (\varepsilon_{ji})^{-1} = \frac{1}{\varepsilon_{ji}} \quad (3.11)$$

Además, todas las sumas de las filas de E son iguales al valor propio principal de M , esto es:

$$\sum_{j=1}^n \varepsilon_{ij} = \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij} w'_j}{w'_i} = \frac{(Mw')_i}{w'_i} = \frac{\lambda_{max} w'_i}{w'_i} = \lambda_{max} \quad (3.12)$$

y haciendo

$$n\lambda_{max} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n \varepsilon_{ij} \right) = \sum_{j=1}^n \varepsilon_{ii} + \sum_{i,j=1; j>i} (\varepsilon_{ij} + \varepsilon_{ji}) = n + \sum_{i,j=1; j>i} (\varepsilon_{ij} + \varepsilon_{ij}^{-1}) \quad (3.13)$$

$$\geq n + \sum_{i,j=1; j>i} 2 = n + 2 \frac{n^2 - n}{2} = n^2 \quad (3.14)$$

$$\therefore \lambda_{max} \geq n \quad (3.15)$$

la desigualdad anterior se verifica debido a que $x + 1/x \geq 2$ para todo $x > 0$ y se da la igualdad si $x = 1$. \square

Observación: Tenemos entonces que $\lambda_{max} = n$ sí y sólo si todos los $\varepsilon_{ij} = 1$, lo cual es equivalente a tener que todos los $a_{ij} = w'_i/w'_j$.

El argumento anterior prueba que la matriz recíproca M tiene $\lambda_{max} \geq n$ y se cumple la igualdad sí y sólo si M es consistente, que es lo que dice el teorema 3.2

Teorema 3.2 (Consistencia y el valor propio principal) *Sea $M \in R_{M(n)}$. $M \in R_{C(n)}$ sí y sólo si $\lambda_{max} = n$.*

Teorema 3.3 *Sea $M \in R_{M(n)}$. Sea λ_{max} el valor propio principal de M , y sea w' su correspondiente vector propio por la derecha con $\sum_{i=1}^n w'_i = 1$, la expresión $\mu = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$ es una medida de la distancia media a la consistencia.*

DEMOSTRACIÓN

Observemos que la *traza*(M) = n y es la suma de todos los valores propios de M , si denotamos a los valores propios de M que son distintos de λ_{max} por $\lambda_2, \dots, \lambda_n$, definimos a μ como:

$$\mu = -\frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n \lambda_i \quad (3.16)$$

que es el promedio de los valores propios no principales de M y vemos que

$$n = \lambda_{max} + \sum_{i=2}^n \lambda_i \Rightarrow n - \lambda_{max} = \sum_{i=2}^n \lambda_i \Rightarrow \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} = -\frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n \lambda_i = \mu \quad (3.17)$$

Para $M \in R_{C(n)} \subset R_{M(n)}$, por el teorema 3.2, se tiene que $\lambda_{max} = n$ y por lo tanto $\mu = 0$.

Para $M \in R_{M(n)} - R_{C(n)}$ y por 3.13 se tiene:

$$\mu = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = -1 + \frac{1}{n(n - 1)} \sum_{1 \leq i < j \leq n} (\varepsilon_{ij} + \varepsilon_{ij}^{-1}) \tag{3.18}$$

Cuando $\varepsilon_{ij} \rightarrow 1$, es decir, cuando la consistencia se aproxima, $\mu \rightarrow 0$. Además μ es convexo en ε_{ij} , pues $(\varepsilon_{ij} + \varepsilon_{ij}^{-1})$ es convexo y tiene un mínimo en $\varepsilon_{ij} = 1, i, j = 1, 2, \dots, n$. En consecuencia, μ es pequeño o grande dependiendo de si ε_{ij} esta cerca o lejos de la unidad, respectivamente, esto es, cerca o lejos de la consistencia, y el resultado se sigue. \square

Así un *índice de consistencia* de una matriz de comparaciones esta dado por:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{3.19}$$

De esta manera, para evaluar la consistencia del decisor se calcula el denominado ratio de consistencia (RC), que viene dada como el cociente entre el índice de consistencia (IC) y el índice de consistencia aleatorio (ICA), para medir proporcionalmente qué tan consistente es la matriz del problema en comparación con una matriz creada aleatoria, esto es:

$$RC = IC/ICA \tag{3.20}$$

Donde el ICA es el índice de consistencia medio de 100 000 matrices recíprocas de orden n simuladas aleatoriamente con los juicios en la escala fundamental [64]. En la Tabla 3.3 se muestran los diferentes ICA para diversos n .

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ICA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

Tabla 3.3: Índices de consistencia

Sobre una escala de cero a uno, la inconsistencia total debe estar alrededor del 10% (por convención) pues si se considerara más pequeña, esto trivializaría el impacto de la inconsistencia.

Si la razón de consistencia supera ese umbral se recomienda revisar los juicios, corrigiendo aquél que más se separa de la razón dada por las prioridades relativas correspondientes.

Después de verificar consistencia, para obtener las prioridades locales, esto es, las prioridades de los elementos que salen de un nodo común, las nociones de escalas fundamentales y derivados se pueden extender para $x \in L_k, x^- \in L_{k+1}$ sustituyendo \mathbb{C} y \mathbb{A} , respectivamente a partir de la definición de jerarquía (Definición 3.10). La escala derivada resultante de la comparación de los elementos en x^- con respecto a x se llama una *escala derivada local o prioridades locales*. Aquí hay alternativas irrelevantes incluidas en las comparaciones, y tales alternativas se supone que recibirán el valor de cero en la escala derivada.

Dados $L_k, L_{k+1} \subseteq H$, denotaremos la escala local derivada para $y \in x^-$ y $x \in L_k$ por $\Psi_{k+1}(y|x), k = 2, 3, \dots, h-1$. Sin pérdida de la generalidad se puede suponer que $\sum_{y \in x^-} \Psi_{k+1}(y|x) = 1$. Las columnas de la matriz $\Psi_k(L_k|L_{k-1})$ son escalas locales derivadas de los elementos en L_k con respecto a los elementos en L_{k-1} .

Definición 3.7 Un conjunto \mathbb{A} se dice dependiente externo, o exterior, de un conjunto \mathbb{C} si se puede definir una escala fundamental en \mathbb{A} con respecto a todo elemento $C \in \mathbb{C}$.

La dependencia exterior refleja la dependencia de los elementos de un nivel respecto del nodo del nivel superior del que salen (dependencia de los elementos inferiores de la jerarquía respecto de los superiores). De esta manera se pueden hacer comparaciones entre ellos. Los pasos se repiten hacia arriba en la jerarquía a través de cada par de niveles adyacentes hasta el elemento superior, el foco o meta.

Los elementos en un nivel pueden depender de algún otro con respecto a una propiedad en otro nivel. Esto se formalizará de la siguiente manera:

Definición 3.8 Sea \mathbb{A} dependiente exterior de \mathbb{C} . Los elementos de \mathbb{A} se dice que son dependientes internos, o interiores, con respecto a $C \in \mathbb{C}$, si para algún $A \in \mathbb{A}$, A es dependiente exterior de \mathbb{A}

Axioma 3.4 Sea H una jerarquía con niveles L_1, L_2, \dots, L_h . Para cada L_k , $k = 1, 2, \dots, h - 1$,

1. L_{k+1} es dependiente exterior/externo de L_k .
2. L_{k+1} es no dependiente interior/interno con respecto a todos los $x \in L_k$.
3. L_k es no dependiente exterior/externo de L_{k+1} .

Este último axioma nos dice que cuando se expresan preferencias, se asume que los criterios son independientes de las propiedades de las alternativas.

Prioridades globales.

Para las prioridades globales que son las que nos dan la prioridad de los elementos de un nivel con respecto a la meta global del problema, se obtienen a través del principio de composición jerárquica en el que se conjugan las prioridades locales y globales ya obtenidas por cada nivel de la jerarquía.

PRINCIPIO DE COMPOSICIÓN JERÁRQUICA

Si se verifica el Axioma 3.4, la escala global derivada (ordenación) de cualquier elemento en H se obtiene de sus componentes en el correspondiente vector como sigue:

$$\begin{aligned} \Psi_1(b) &= 1 \\ \Psi_2(L_2) &= \Psi_2(b^-|b) \\ &\vdots \\ \Psi_k(L_k) &= \Psi_k(L_k|L_{k-1})\Psi_{k-1}(L_{k-1}), k = 3, \dots, h \end{aligned} \tag{3.21}$$

Si se omite el Axioma 3.4, el Principio de Composición Jerárquica deja de verificarse debido a que la dependencia exterior e interior entre niveles o componentes que se necesitan no forman una jerarquía.

Prioridades finales.

El proceso de cálculo termina obteniendo para cada alternativa comparada en el problema su prioridad final en el mismo. Para obtener la prioridad final o total de una alternativa se agregan las prioridades globales obtenidas para esa alternativa en los diferentes caminos que la une con la meta global (misión). El método habitualmente empleado en AHP para la agregación es el aditivo aunque también se pueden emplear otros métodos como ELECTRE, PROMETHEE o TOPSIS.

El algoritmo puede resumirse como se muestra en la figura 3.3:

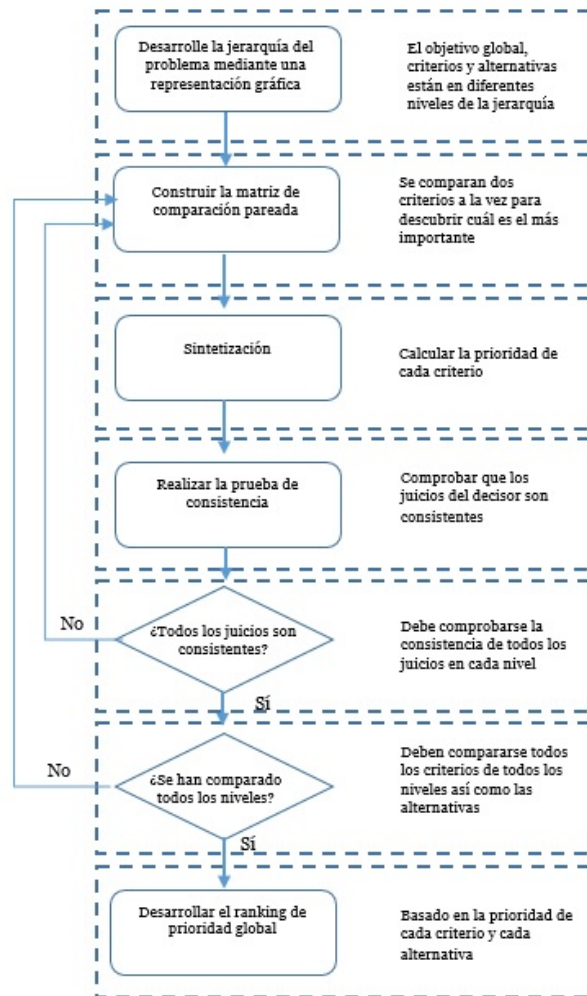


Figura 3.3: Diagrama de flujo del proceso analítico jerárquico (AHP)

La metodología expuesta es la básica para un decisor, cuando se trata de un grupo de decisores como es el caso en la presente tesis, se tiene que buscar una solución única que refleje las opiniones de todos.

Debemos tomar en cuenta que para realizar la agregación de juicios individuales, la función $f(x_1, \dots, x_n)$ para la síntesis de los juicios dictados por los n jueces debe satisfacer:

Condición de separabilidad (S): $f(x_1, \dots, x_n) = g(x_1) \cdots g(x_n)$, para todo x_1, \dots, x_n en un intervalo P de números positivos, donde g es una función de transformación de P a un intervalo adecuado J y es continua, asociativa y con operación cancelativa. ((S) significa que las influencias de los juicios individuales pueden ser separados como anteriormente.)

Condición de unanimidad (U): $f(x, \dots, x) = x$ para todo x en P . ((U) significa que si todos los individuos dan el mismo juicio x , entonces el juicio sintetizado debería ser también el mismo.)

Condición de homogeneidad (H): $f(ux_1, \dots, ux_n) = uf(x_1, \dots, x_n)$ donde $u > 0$ y x_k, ux_k ($k = 1, 2, \dots, n$) están todos en P . (Para juicios de relación (H) significa que si todos los individuos juzgan una relación u veces más grande que otra relación, entonces el juicio sintetizado debería también ser u veces mayor.)

Condiciones de Potencias (P_P): $f(x_1^p, \dots, x_n^p) = f^p(x_1, \dots, x_n)$. ((P_2), por ejemplo, significa que si los k -ésimos juicios individuales de la longitud de un lado de un cuadrado son x_k , el juicio sintetizado sobre el área de ese cuadrado será dada por el cuadrado de los juicios sintetizados de la longitud de su lado.)

Caso especial ($R = P_{-1}$):

$$f\left(\frac{1}{x_1}, \dots, \frac{1}{x_n}\right) = \frac{1}{f(x_1, \dots, x_n)} \quad (3.22)$$

((R) es de particular importancia en los juicios de relación. Esto significa que el valor sintetizado del recíproco de los juicios individuales debe ser el recíproco del valor sintetizado de los juicios originales)

Existen diferentes técnicas para integrar las valoraciones de cada experto para obtener la solución única. Un procedimiento aceptable, sencillo y rápido es la media geométrica, debido a que se ha comprobado que cumple dichas condiciones como puede verse en el siguiente teorema:

Teorema 3.4 *Las funciones sintetizadoras separables generales (S) que satisfacen las condiciones de unanimidad (U) y homogeneidad (H) son la media geométrica y la media cuadrática. Si, además, la propiedad recíproca (R) es asumida incluso para una sola n -ada de los juicios de n individuos, donde no todos los x_k son iguales, entonces sólo la media geométrica satisface todas las condiciones anteriores.*

DEMOSTRACIÓN

Sea f la función para la síntesis de los juicios dictados por los n jueces, como f satisface la condición de separabilidad de la siguiente manera:

$$f(x_1, \dots, x_n) = g(x_1) \circ \cdots \circ g(x_n) \quad (3.23)$$

donde \circ es una operación continua, asociativa y conmutativa. Las variables x_1, \dots, x_n toman valores en un intervalo adecuado P de números positivos (0 podría ser permitido aquí pero será excluido por un requisito posterior).

Supondremos que el rango $Q = g(P)$ es también un intervalo apropiado (esto se satisface por ejemplo si g es continua y no constante).

Podríamos suponer que (Q, \circ) es un grupo pero supongamos solo que \circ es (asociativa) cancelativa. Se ha demostrado en [1] que todos los operadores cancelativos y asociativos continuos en un intervalo real Q tienen la forma:

$$y \circ z = \phi^{-1}[\phi(y) + \phi(z)] \quad (y, z \in Q) \quad (3.24)$$

donde $\phi : Q \rightarrow R$ es una función arbitraria continua estrictamente monótona, Q tiene que ser abierto o semi-abierto y

$$R = (-\infty, \infty) \circ (-\infty, d) \circ (-\infty, d] \circ [e, \infty) \circ (e, \infty), \quad (d \leq 0 \leq e) \quad (3.25)$$

Combinando con (3.23) y por inducción se tiene:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = g(x_1) \circ g(x_2) \circ \dots \circ g(x_n) = \phi^{-1}(\sum_{k=1}^n \phi[g(x_k)]) \quad (3.26)$$

$(x_k \in P, k = 1, 2, \dots, n)$

La siguiente suposición es mas natural: si todos los juicios tienen el mismo valor x entonces, el juicio sintetizado también debería ser x , esto es:

$$f(x, \dots, x) = x \quad (x \in P) \quad (3.27)$$

Combinando con (3.26) se obtiene $\phi(x) = n\phi[g(x)]$, que es,

$$g(x) = \phi^{-1} \left[\frac{1}{n} \phi(x) \right] \quad (x \in P), \quad (3.28)$$

de modo que llevandolo a (3.26) se convierte en la media cuasi-aritmética

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \phi^{-1} \left[\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \phi(x_k) \right] \quad (x_k \in P, k = 1, 2, \dots, n). \quad (3.29)$$

Adicionalmente supongamos que la síntesis de los recíprocos de x_1, x_2, \dots, x_n conduce al recíproco de $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, esto es:

$$f\left(\frac{1}{x_1}, \frac{1}{x_2}, \dots, \frac{1}{x_n}\right) = \frac{1}{f(x_1, x_2, \dots, x_n)} \quad (3.30)$$

donde x_k y $1/x_k$ ($k = 1, 2, \dots, n$) están en P . Entonces P debe contener con cada elemento a su recíproco, en particular, P contiene al 1 y no puede contener al 0 o ser semi-cerrado. También por (3.28)

$$R = \phi(Q) = \phi[g(P)] = \frac{1}{n}\phi(P)$$

y ϕ ahora mapea a P sobre nR . Entonces $R = (1/n)\phi(P)$ tiene la misma propiedad de apertura que P (ya sea cerrado o abierto). Si (3.25) prevalece, R no es cerrado por lo que:

$$R = (-\infty, \infty) \circ (-\infty, d) \circ (e, \infty) \quad (d \leq 0 \leq e) \quad (3.31)$$

y P es abierto también.

Para la prueba anterior requerimos que f satisfaga lo siguiente: Que exista una función continua y estrictamente monótona $\phi : P \rightarrow nR$ tal que (3.29) y (3.30) se cumplan para todo $x_1, x_2, \dots, x_n \in P$. Aquí P es uno de los intervalos de (3.31), P es un intervalo abierto de números positivos y contiene con todos sus elementos a sus recíprocos, en particular contiene al 1. (Esta simetría y el hecho de que P y R son ambos cerrados o ambos abiertos, se mantiene incluso si no tenemos a (3.31). Podemos unir a (3.29) y (3.30) en:

$$\phi^{-1} \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \phi \left(\frac{1}{x_k} \right) \right) = \frac{1}{\phi^{-1} \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \phi(x_k) \right)} \quad (3.32)$$

Uno podría pensar que la media geométrica es la única solución de (3.23), (3.24), (3.27) y (3.30), en particular de (3.29) y (3.30) y entonces $\phi(x) = a \log x + b$ ($x \in P$) con $a \neq 0$, pero a y b siendo constantes reales arbitrarias es sólo solución de (3.32). Sin embargo, las condiciones para la conjetura de la media geométrica nunca habían sido establecidas de antemano.

Para encontrar la solución general de (3.29) y (3.30) o equivalentemente de (3.32) es conveniente introducir la siguiente notación:

$$t_k = \log x_k \in P' = \log P, \quad \psi(t_k) = \phi(\exp t_k) \in R' = \log(nR) \quad (3.33)$$

Así (3.32) va sobre

$$\psi^{-1} \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \psi(-t_k) \right) = -\psi^{-1} \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \psi(t_k) \right) \quad (t_k \in P'). \quad (3.34)$$

En consecuencia de las propiedades de P , el intervalo abierto (o cerrado) apropiado P' es simétrico con respecto al origen. También (3.29) es transformado por (3.33) en

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \exp \psi^{-1} \left[\sum_{k=1}^n \frac{1}{n} \psi(\log(x_k)) \right], \quad x_k \in P \quad (3.35)$$

En particular para $n = 2$ (3.34), si $t_1 = t, t_2 = u$

$$\psi^{-1} \left(\frac{\psi(-t) + \psi(-u)}{2} \right) = -\psi^{-1} \left(\frac{\psi(t) + \psi(u)}{2} \right) \quad (3.36)$$

Si definimos

$$G(t, u) := \psi^{-1} \left(\frac{\psi(t) + \psi(u)}{2} \right) \quad (3.37)$$

se tiene

$$G(-t, -u) = -G(t, u). \quad (3.38)$$

Claramente cada función impar (continua y estrictamente monótona) ψ_0 satisface (3.34). Además si ψ satisface (3.34), también lo satisface cada $a\psi + b$ con $a \neq 0$ arbitrario. Vamos a demostrar que éstas son las únicas opciones que tenemos. En realidad, se prueba el siguiente teorema, que es algo más general (P' cerrado es ahora también permisible).

Teorema 3.5 *La solución general continua de (3.34), estrictamente monótona para un $n \geq 0$ fijo (en particular $n=2$) sobre un intervalo P' (cerrado o abierto, simétrico con respecto a 0) está dada por*

$$\psi(t) = a\psi_0(t) + b \tag{3.39}$$

donde ψ_0 es una función impar, continua, estrictamente monótona, arbitraria, mientras que $a \neq 0$, pero además a y b son constantes arbitrarias.

Por (3.35) se obtiene lo siguiente:

Corolario 3.1 *La solución general de (3.29) y (3.30) (para un $n \geq 2$ fijo) sobre un intervalo P (cerrado o abierto, tal que $x \in P \Rightarrow 1/x \in P$) está dado por:*

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \exp \psi_0^{-1} \left[\sum_{k=1}^n \frac{1}{n} \psi_0(\log x_k) \right] \quad (x \in P)$$

donde ψ_0 es una función impar continua estrictamente monótona.

Por ejemplo:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \exp \left[\left(\sum_{k=1}^n \frac{1}{n} \log^3 x_k \right)^{1/3} \right], \quad \phi(x) = \log^3 x \tag{3.40}$$

Por supuesto, en (3.40), $\psi_0(t) = t^3$, mientras que para la media geométrica $\psi_0(t) = t$.

DEMOSTRACIÓN DEL TEOREMA (3.5)

Bajo las condiciones del teorema, es claro que (3.39) satisface (3.34)(para todo n). Para probar la inversa nos enfrentamos por primera vez con el caso donde $P' = [-c, c]$ es un intervalo cerrado. Como hemos visto, si ψ satisface (3.34) (en particular para $n = 2$), también lo hace $a\psi + b$.

Mediante la elección apropiada de b podemos lograr que el nuevo ψ tenga valores del mismo valor absoluto pero signos opuestos en c y $-c$, en efecto,

$$\psi_0(x) = \psi(x) - \frac{\psi(c) + \psi(-c)}{2} \tag{3.41}$$

satisface

$$\psi_0(-c) = -\psi_0(c) \tag{3.42}$$

El rango de ψ_0 es ahora $R_0 = [-c, c]$ donde $C = \psi_0(c)$.

Probemos que esta ψ_0 es impar. En realidad es más fácil probar esto para la función inversa

$$\Psi = \psi_0^{-1} \tag{3.43}$$

de ψ_0 , la cual es también continua y estrictamente monótona. Por supuesto si Ψ es impar, también lo es ψ_0 y viceversa. Como $\psi_0(c) = C$, de (3.42) se obtiene

$$\Psi(-C) = -\Psi(C) \tag{3.44}$$

Por otra parte, (3.37) se va a

$$\Psi \left(\frac{x+y}{2} \right) = G(\Psi(x), \Psi(y)) \quad (x, y \in R_0) \tag{3.45}$$

Esto y (3.38) prueban que

$$\Psi(-x) = -\Psi(x) \text{ y } \Psi(-y) = -\Psi(y)$$

$$\text{implican } \Psi\left(-\frac{x+y}{2}\right) = -\Psi\left(\frac{x+y}{2}\right)$$

En vista de (3.44) se tiene entonces que

$$\Psi(-D) = -\Psi(D)$$

se satisface para $D = C, -C, 0 = (C + (-C))/2$ (implicando $\Psi(0) = 0$), para $D = -\frac{1}{2}C = (-C + 0)/2$, $\frac{1}{2}C = (0 + C)/2$, $-\frac{3}{4}C = \frac{1}{2}[(-C) + (-\frac{1}{2}C)]$, $-\frac{1}{4}C = \frac{1}{2}(-\frac{1}{2}C + 0)$, $\frac{1}{4}C = \frac{1}{2}(0 + \frac{1}{2}C)$, $\frac{3}{4}C = \frac{1}{2}(\frac{1}{2}C + C)$, ..., en general para todo $D = d_n C$, donde $d_n \in [-1, 1]$ es una fracción diática (fracción cuyo denominador es una potencia de 2). Como Ψ es continua, se tiene también que

$$\Psi(-x) = -\Psi(x) \text{ para todo real } x \in R_0 = [-C, C],$$

esto es, Ψ es impar como se había afirmado. Entonces $\psi_0 = \Psi^{-1}$ es impar también, (en particular $\psi_0(0) = 0$ y con (3.41) el teorema (3.5) se prueba en el caso donde P' es cerrado.

Si P' es abierto (ya sea finito o infinito), se toma una sucesión de intervalos cerrados $[-c_n, c_n]$ que tiendan a P' ($n = 1, 2, \dots$). Se construye la función impar ψ_1 sobre $[-c_1, c_1]$ como ψ_0 fue construida anteriormente sobre $[-c, c]$. Si ya se tienen ψ_n , se construye ψ_{n+1} (también impar) de la misma manera pero sobre $[-c_{n+1}, c_{n+1}]$. Todavía se tiene un factor arbitrario a en (3.39) (en (3.41) hemos especificado sólo a b), éste se elige tal que $\psi_{n+1}(c_n) = \psi_n(c_n)$ ($a \neq 0$ porque $\psi_n(0) = 0$ y ψ_n es estrictamente monótona, por lo tanto $\psi_n(c_n) \neq 0$ y además $\psi_{n+1}(c_n) \neq 0$). Como tanto ψ_n como ψ_{n+1} son impares, $\psi_{n+1}(-c_n) = \psi_n(-c_n)$ y por la construcción anterior $\psi_{n+1}(t) = \psi_n(t)$ para todo $t \in [-c_n, c_n]$ por lo tanto ψ_{n+1} es una extensión de ψ_n . La función continua y estrictamente monótona $\psi_0 : P' \rightarrow R_\infty$ (R_∞ abierto, simétrico con respecto a 0) la cual es el límite de ψ_n , es la función impar que con (3.41) fundamenta el teorema (3.5) en este caso también. \square

El corolario del teorema (3.5) y el ejemplo (3.40) muestran que nuestras condiciones aún permiten formas bastantes inusuales para sintetizar juicios. Reemplazando la propiedad recíproca (3.30) por el requisito de homogeneidad, que también parece bastante natural, da funciones sintetizadoras más familiares y la combinación de las dos condiciones finalmente reduce de hecho a una sola función de síntesis posible: la *media geométrica*.

La condición de *homogeneidad* establece

$$f(sx_1, sx_2, \dots, sx_n) = sf(x_1, x_2, \dots, x_n), \text{ siempre que } s > 0 \text{ y } x_k, sx_k \in P \quad (3.46)$$

$$(k = 1, 2, \dots, n).$$

Si las variables fueran medidas (pesos, longitudes, dinero, etc.) esta homogeneidad significaría que la sintetización de las sentencias es invariante bajo cambios de escala o unidad, digamos de dólares a pesos, de pies a metros o de libras a kilogramos. Sin embargo, nosotros interpretamos a las variables como proporciones y esto hace automática la invarianza bajo el cambio de escalas o unidades. En este contexto, la homogeneidad significa que, si cada uno de los jueces individuales da a una segunda proporción s veces tan grande como la primera, entonces el juicio sintetizado en la segunda, debe ser s veces tan grande como la primera. Se ha demostrado en [1] que entre las *medias cuasi aritméticas* (3.29) sólo la *media ponderada*

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k^p \right)^{1/p} \quad (p \neq 0) \quad (3.47)$$

(incluida la media aritmética para $p=1$, la media cuadrática $p=2$ y la media armónica para $p=-1$) y la media geométrica

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{k=1}^n x_k^{1/n} \quad (3.48)$$

$(x_1, x_2, \dots, x_n \in P)$ satisfacen (3.46).

Note también que (3.30) y (3.46) implican (3.27), porque $x_1 = x_2 = \dots = x_n = 1$ en (3.30) da $f(1, 1, \dots, 1) = 1$ (-1 se excluye ya que por (3.29), los valores de f se encuentran en P) y (3.46) produce entonces $f(x, x, \dots, x) = x$ pero esto es (3.27). Puesto que es fácil comprobar que (3.47) no satisface la propiedad recíproca y (3.48) sí, hemos probado:

Teorema 3.6 *La única solución de (3.29), (3.30) y (3.46) para $n \geq 2$ fijo, está dada por (3.48)* \square

Observación: De manera general, la demostración del teorema anterior se basa en analizar cómo deben de ser las funciones de sintetización de juicios que cumplan las propiedades (S), (U) y (H) descritas anteriormente, identificando a la media ponderada y a la media geométrica como las únicas funciones posibles, pero agregando la propiedad de potencias (P) (que en este teorema solo se considera para $p = -1$ que es el que interesa para cuando los juicios se realizan a través de comparaciones entre pares como es nuestro caso) solo la media geométrica sobrevive.

RESULTADOS DENTRO DE AHP

Teorema 3.7 (Consistencia y rango) *Sea $M \in R_{M(n)}$, $M \in R_{C(n)}$ si y sólo si $\text{rango}(M) = 1$.*

DEMOSTRACIÓN

Si $M \in R_{C(n)}$, entonces $a_{ij}a_{jk} = a_{ik}$ para todo i, j y k . Por lo tanto, dada una fila de M , $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$, todas las otras filas pueden ser obtenidas de ésta, por medio de la relación $a_{jk} = a_{ik}/a_{ij}$ y $\text{rango}(M) = 1$.

Se supone ahora que $\text{rango}(M) = 1$. Dada una fila a_{jh} $j \neq i$, ($h = 1, 2, \dots, n$), $a_{jk} = Na_{ih}$ ($h = 1, 2, \dots, n$) donde N es una constante positiva. Además, para cualquier matriz recíproca, $a_{ii} = 1$ ($i = 1, 2, \dots, n$). Entonces, para $i = h$ se tiene que $a_{ji} = Na_{ii} = N$ y $a_{jh} = a_{ji}a_{ih}$ para todo i, j y k , y por lo tanto M es consistente. \square

Teorema 3.8 (Razones y consistencia) *Sea $M = (a_{ij}) \in R_{C(n)}$. Existe una función $\Psi = (\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_n)$, $\Psi : R_{C(n)} \rightarrow [0, 1]^n$ tal que:*

1. $a_{ij} = \Psi_i(M)/\Psi_j(M)$,
2. La dominación relativa de la i -ésima alternativa, $\Psi_i(M)$, es la i -ésima componente del vector propio principal por la derecha de M ,
3. Dadas dos alternativas $A_i, A_j \in \mathbb{A}$ $A_i >_{\sim C} A_j$ si y sólo si $\Psi_i(M) \geq \Psi_j(M)$.

DEMOSTRACIÓN

$M \in R_{C(n)}$ implica que $a_{ij} = a_{ik}a_{jk}^{-1}$ para todo k y cada i, j . Además por el teorema 3.7 tenemos que $\text{rango}(M) = 1$ y podemos escribir $a_{ij} = x_i/x_j$, donde $x_i, x_j > 0$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$). Multiplicando M por el vector $x^t = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, se tiene $Mx = nx$. Dividiendo ambos lados de la expresión por $\sum_{i=1}^n x_i$ y escribiendo $w = x/\sum_{i=1}^n x_i$, se tiene $Mw = nw$ y $\sum_{i=1}^n w_i = 1$. Por el teorema 3.2, n es el valor propio real positivo más grande de M y w es su correspondiente vector propio por la derecha. Como $a_{ij} = x_i/x_j = w_i/w_j$ para todo i y j , se tiene que $\Psi_i(M) = w_i$, $i = 1, 2, \dots, n$ y los puntos 1 y 2 del enunciado se siguen.

Por el axioma 3.2, para $M \in R_{C(n)}$, $A_i >_{\sim C} A_j$, si y sólo si $a_{ij} > 1$ para todo i y j , que es equivalente a decir que $\Psi_i(M) \geq \Psi_j(M)$ para todo i, j . \square

Observación: Se ha probado la existencia de una única solución en el caso consistente. Un resultado similar se sigue usando el argumento de perturbación dado en el siguiente teorema.

Teorema 3.9 *Sea $M \in R_{C(n)}$, y sean $\lambda_1 = n$ y $\lambda_2 = 0$ los valores propios de M con multiplicidades 1 y $(n-1)$ respectivamente. Dado $\varepsilon > 0$, existe $\delta = \delta(\varepsilon) > 0$ tal que si $|a_{ij} + \tau_{ij} - a_{ij}| = |\tau_{ij}| \leq \delta$ para $i, j = 1, 2, \dots, n$, la matriz $B = (a_{ij} + \tau_{ij})$ tiene exactamente 1 y $(n-1)$ valores propios en los círculos $|\mu - n| < \varepsilon$ y $|\mu - 0| < \varepsilon$, respectivamente.*

DEMOSTRACIÓN

Sea $\varepsilon_0 = n/2$ y $\varepsilon < n/2$. Los círculos $c_1 : |\mu - n| = \varepsilon$ y $c_2 : |\mu - 0| < \varepsilon$ son disjuntos. Sea $f(\mu, M)$ el polinomio característico de M . Sea $r_j = \min|f(\mu, M)|$ para μ en c_j . Note que $\min|f(\mu, M)|$ está definido porque f es una función continua de μ y $r_j > 0$ debido a que las raíces de $f(\mu, M) = 0$ son los centros de los círculos.

$f(\mu, B)$ es una función continua de las $1 + n^2$ variables μ y $a_{ij} + \tau_{ij}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ y para algún $\delta > 0$. Si $|\tau_{ij}| \leq \delta$, $i, j = 1, 2, \dots, n$ entonces $f(\mu, B) \neq 0$ para μ en algún c_j , $j = 1, 2$.

De la teoría de funciones de variable compleja, el número de raíces μ de $f(\mu, B) = 0$ que se encuentran en el interior de c_j , $j = 1, 2$ está dada por

$$n_j(B) = \frac{1}{2\pi i} \int_{c_j} \frac{f'(\mu, B)}{f(\mu, B)} d\mu, j = 1, 2 \quad (3.49)$$

este número es también una función continua de n^2 variables $a_{ij} + \tau_{ij}$ con $a_{ij} + \tau_{ij} - a_{ij} \leq \delta$.

Para $B = M$ se tiene que $n_1(M) = 1$ y $n_2(M) = n - 1$. Como $n_j(B)$, $j = 1, 2$ es continua, no puede saltar de $n_j(M)$ a $n_j(B)$ y por lo tanto las dos deben ser iguales y tener los mismos valores $n_1(B) = 1$ y $n_2(B) = n - 1$ para todo B con $|a_{ij} + \tau_{ij} - a_{ij}| \leq \delta$, $i, j = 1, 2, \dots, n$. \square

Teorema 3.10 (Perturbación del caso consistente) *Sea $M \in R_{C(n)}$ y sea w su vector propio principal por la derecha. Sea $\Delta M = (\delta_{ij})$ una matriz de perturbaciones de los valores de M tal que $M' = M + \Delta M \in R_{M(n)}$, y sea w' su vector propio principal por la derecha. Dado $\varepsilon > 0$, existe un $\delta > 0$ tal que si $|\delta_{ij}| \leq \delta$ para todo i y j , entonces $|w'_i - w_i| \leq \varepsilon$ para todo $i = 1, 2, \dots, n$.*

DEMOSTRACIÓN

Por el teorema 3.9, dado $\varepsilon > 0$, existe un $\delta > 0$ tal que si $|\delta_{ij}| < \delta$ para todo i y j , el valor propio principal de M' satisface $|\lambda_{max} - n| \leq \varepsilon$. Sea $\Delta M = \tau B$. Wilkinson (1965) ha probado que para un τ suficientemente pequeño, λ_{max} puede ser dado por una serie de potencias convergente $\lambda_{max} = n + k_1\tau + k_2\tau^2 + \dots$. Ahora $\lambda_{max} \rightarrow n$ cuando $\tau \rightarrow 0$ y $|\lambda_{max} - n| = o(\tau) \leq \varepsilon$.

Sea w el correspondiente vector propio del valor propio principal n de M . Como n es un valor propio con multiplicidad 1, $(M - nI)$ tiene al menos un *menor* no nulo de orden $(n - 1)$. Supongamos sin pérdida de la generalidad, que este *menor* se encuentra en las primeras $(n - 1)$ filas de $(M - nI)$. De la teoría de ecuaciones lineales, los componentes de w pueden llevarse a la forma $(M_{n1}, M_{n2}, \dots, M_{nn})$ donde M_{ni} denota el cofactor de los (n, i) elementos de $(M - nI)$, y es un polinomio en n de grado no mayor a $(n - 1)$.

Los componentes de w' son polinomios en λ_{max} y τ , como la expansión en serie de potencias de λ_{max} es convergente para todo τ suficientemente pequeño, cada componente de w' esta representado por una serie de potencias en τ convergente. Se tiene $w' = w + \tau z_1 + \tau^2 z_2 + \dots$ y $|w' - w| = o(\tau) \leq \varepsilon$. \square

Observación: De los teoremas 3.9 y 3.10 se sigue que una pequeña perturbación M' de M transforma el problema de valor propio $(M - nI)w = 0$ en el problema de valor propio $(M' - \lambda_{max}I)w' = 0$

Teorema 3.11 (Estimación de razones) . Sea $M \in R_{M(n)}$, y sea w su vector propio principal por la derecha. Sean $\epsilon_{ij} = a_{ij}w_j/w_i$ para todo i y j , y sea $1 - \tau < \epsilon_{ij} < 1 + \tau, \tau > 0$, para todo i y j . Dados $\varepsilon > 0$ y $\tau < \varepsilon$, existe un $\delta > 0$ tal que para todo $(x_1, x_2, \dots, x_n), x_i > 0, i = 1, 2, \dots, n$, si se verifica

$$1 - \delta < \frac{a_{ij}}{x_i/x_j} < 1 + \delta, \forall i, j, \tag{3.50}$$

entonces

$$1 - \varepsilon < \frac{w_i/w_j}{x_i/x_j} < 1 + \varepsilon, \forall i, j, \tag{3.51}$$

DEMOSTRACIÓN

Sustituyendo a w_i/w_j por $a_{ij}\epsilon_{ij}^{-1}$ en 3.51 se tiene

$$\left| \frac{w_i/w_j}{x_i/x_j - 1} \right| = \left| \frac{1}{\epsilon_{ij}} \frac{a_{ij}}{x_i/x_j} - 1 \right| \leq \frac{1}{\epsilon_{ij}} \left| \frac{a_{ij}}{x_i/x_j} - 1 \right| + \left| \frac{1}{\epsilon_{ij}} - 1 \right|. \tag{3.52}$$

Por definición $\epsilon_{ij} = 1/\epsilon_{ji}$ para todo i y j , y así

$$\left| \frac{w_i/w_j}{x_i/x_j - 1} \right| \leq \epsilon_{ji} \left| \frac{a_{ij}}{x_i/x_j} - 1 \right| + |\epsilon_{ji} - 1| < (1 + \tau)\delta + \tau. \tag{3.53}$$

Dado $\varepsilon > 0$ y $0 < \tau < \varepsilon$, existe un $\delta = (\varepsilon - \tau)/(1 + \tau) > 0$ tal que 3.50 implica 3.51. \square

Observación: Este teorema dice que si los coeficientes de la comparación entre pares a_{ij} estan cerca de una relación subyacente x_i/x_j entonces también lo está w_i/w_j y puede ser usada como una aproximación para ella.

3.3.2. “LEY DEL JUICIO COMPARATIVO” DE THURSTONE

Otra de las herramientas sugeridas para llevar a cabo el proceso de priorización de los Requerimientos de los clientes es la basada en la llamada “Ley del Juicio Comparativo” (LJC) de Thurstone, que se expone en [40] donde se hace una presentación que aplicada a QFD puede ser útil para los propósitos que se persiguen, este método consiste en llevar los juicios de los clientes de una escala pedida de 5 puntos a una estrategia que consideran más realista en la que sólo se hace una comparación binaria entre requerimientos para decidir cuál es más importante y hacer un ranking de ordenación, sin una medida de proporción subjetiva difícil de descifrar, para posteriormente ubicar la importancia de los clientes en una escala continua propuesta por el método.

El método, pretende combinar una recolección de datos más simple con un soporte teórico matemático sustentable y se basa en transformar las preferencias individuales en una escala psicológica continua, derivando grupos de valores de la escala a partir de datos dispersos de elecciones individuales.

La LJC es un modelo matemático para estimar la escala de valores basado en opciones binarias entre estímulos, las opciones están medidas por un proceso discriminatorio, que se define como el proceso mediante el cual un individuo se identifica, distingue o reacciona a los estímulos, esto para poder comparar dos criterios y tomar una decisión sobre la preferencia de alguno de ellos. La idea puede llevarse a QFD refiriéndose a los estímulos como los R (Requerimientos o necesidades de los clientes) y la escala de valores estimados serán sus prioridades, es decir, cada R poseerá un nivel de importancia o preferencia determinado en una escala continua en $(-\infty, \infty)$.

Si se encuesta a los jueces sobre el nivel de preferencia de cada uno de los R , se supone que, para cada i -ésimo R , la preferencia se distribuye normalmente, es decir, $R_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$, siendo μ_i y σ_i^2 la media y la varianza desconocidas, donde por supuesto R_i representa la preferencia del requerimiento i . Se realiza esta suposición al considerar un tamaño de muestra grande y porque al realizar las valoraciones, los sujetos deben tener juicios cercanos por ser decisores con características homogéneas.

En el método se elige a la *media* como la representante de la sintetización de los juicios de la preferencia, (recordemos que en el teorema 3.4 se realizó un análisis sobre este tipo de funciones de sintetización de juicios) y esta es la que se busca estimar.

Aquí, en lugar de muestrear la preferencia de cada requisito frente a todos, en el método estándar de escalamiento de Thurstone, se utiliza el enfoque de comparación entre pares para recopilar datos de respuesta, lo que comparte con AHP por la cuestión psicológica del pensamiento humano y los estímulos, como ya se comentó. Este enfoque obliga a los encuestados a expresar su preferencia de un R sobre otro (es decir, se les pide clasificar los R dos a la vez en lugar de todos a la vez), con lo que se generan

$$\binom{n}{2} = \frac{n \cdot (n - 1)}{2} \quad (3.54)$$

comparaciones, siendo n el número de R s de interés. Una alternativa práctica a este procedimiento es la que proponen Franceschini y Maisano en [40], que establece que los encuestados den una puntuación a cada R según su importancia en una escala de 5 niveles y a partir de ahí, generar un ranking de los requerimientos, esto evita el complejo y tedioso procedimiento, se utiliza esta escala subjetiva para posteriormente generar la escala absoluta con la característica

de normalidad ya comentada.

Observación: La escala de niveles propuesta se utiliza subjetivamente, ya que no hay preferencia absoluta compartida por todos los encuestados y sólo se utiliza para generar un ranking. Por ejemplo, algunos encuestados tienden a asignar valores altos de importancia a todas las características, mientras que otros tenderán a asignar valores inferiores. Por ejemplo, consideremos las votaciones sobre tres R_s (es decir, R_1 , R_2 y R_3) por dos encuestados ficticios (A y B). Estas calificaciones en una escala de 5 niveles son, respectivamente, A: 3, 2, 1, y B: 5, 4, 2. A pesar de que las posiciones relativas son idénticas (es decir, $R_1 > R_2 > R_3$), los juicios por A se concentran en los niveles más bajos de la escala, mientras que los del B en las más altas. Por esta razón, es cuestionable el agregar juicios por diferentes encuestados a través de medidas de tendencia central, tales como la mediana o el valor medio.

A partir del ranking generado, se establece para cada requisito i, j , cuál es el más preferido, eligiendo sólo entre los eventos $\{R_{ij} > 0\}$, $\{R_{ij} = 0\}$ y $\{R_{ij} < 0\}$ donde $R_{ij} = R_i - R_j$ representa la diferencia de la preferencia del requerimiento i frente al j . De esta manera, el evento $\{R_{ij} > 0\}$ indica que el requisito i es más preferido que el j , $\{R_{ij} = 0\}$ indica que el requisito i es igualmente preferido que el j y $\{R_{ij} < 0\}$ indica que el requisito i es menos preferido que el j . Se busca estimar la proporción de jueces en cada posición, es decir, $P(R_{ij} > 0)$, $P(R_{ij} = 0)$, $P(R_{ij} < 0)$, para ello se toma una muestra de tamaño N y se elige como estimador a $p_{ij} = f_{ij}/N$ donde f_{ij} representan el número de veces que el requisito i fue preferido a j . (Un análisis que se omite en el método que nos ayudaría a saber cuánta confianza podemos tener en los resultados sería calcular el error de estimación con un nivel de confianza determinado).

Si μ_i y μ_j corresponden a los valores de escala (desconocidos) de R_i y R_j respectivamente, con σ_i^2 y σ_j^2 sus varianzas (desconocidas) que pueden ser diferentes para los distintos R_s (Ver figura 3.4) entonces la diferencia $R_{ij} = R_i - R_j$, tiene una distribución normal con parámetros:

- $\mu_{ij} = \mu_i - \mu_j$
- $\sigma_{ij} = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2 \cdot \rho_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j}$

ρ_{ij} denota la correlación (desconocida) entre los pares del proceso discriminatorio R_i y R_j .

De la variable R_{ij} , estandarizando se tiene a

$$z_{ij} = \frac{R_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \sim N(0, 1) \quad (3.55)$$

Observemos que

$$1 - p_{ij} = P(R_{ij} \leq 0) = P\left(\frac{R_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \leq -\frac{\mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) = P\left(z_{ij} \leq -\frac{\mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) \quad (3.56)$$

$$\Rightarrow \Phi^{-1}(1 - p_{ij}) = z_{ij}, \quad z_{ij} = -\frac{\mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \quad (3.57)$$

donde Φ es la función de distribución acumulada de la distribución normal estándar.

Así,

$$\mu_{ij} = \mu_i - \mu_j = -z_{ij} \cdot \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2 - 2 \cdot \rho_{ij} \cdot \sigma_i \cdot \sigma_j} \quad (3.58)$$

Si tomamos el área bajo la curva de la distribución de R_{ij} y dibujamos una línea vertical que pasa por el punto tal que $R_{ij} = R_i - R_j = 0$ (Ver figura 3.4), el área a la derecha de la línea representa la proporción observada de veces (p_{ij}) que $R_{ij} \geq 0$, ($P(R_{ij} \geq 0)$) lo que nos dice la proporción en que el requerimiento i -ésimo es preferido al j -ésimo, por supuesto, el área de la izquierda representa la proporción complementaria ($1 - p_{ij}$).

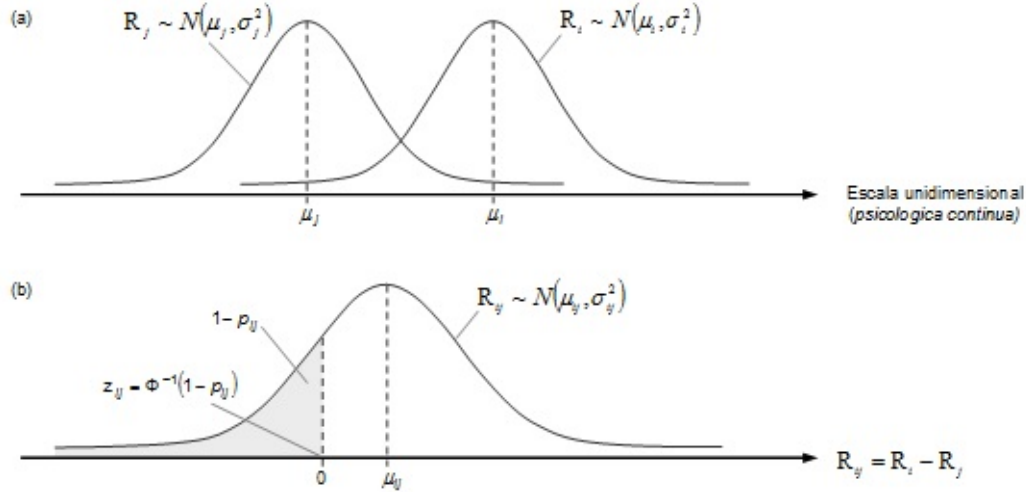


Figura 3.4: (a) la distribución teórica del proceso discriminatorio para dos R s (es decir, R_i y R_j). (b) Relación de $R_{ij} = R_i - R_j$ y z_{ij} .

Notemos que cuando comparamos a un requerimiento con sí mismo $\mu_i - \mu_i = 0$ y como queremos obtener a partir de este resultado a z_{ij} usando la función Φ^{-1} debe tomarse en cuenta aparte de los supuestos antes mencionados, las siguientes hipótesis:

- Los R s son juzgados de manera diferente por los sujetos; si todos los sujetos expresaran la misma preferencia para cada resultado, el modelo no sería viable (proporciones de 1.00 y 0.00 no se pueden utilizar porque los valores z correspondientes a estas proporciones son $\pm\infty$). Un enfoque simplificado para hacer frente a este problema es que asocian valores de $p_{ij} \leq 0.001$ con $z_{ij} = \Phi^{-1}(1 - 0.001) = 3.09$ y valores de $p_{ij} \geq 0.999$ con $z_{ij} = \Phi^{-1}(1 - 0.999) = -3.09$.
- Como suposición adicional práctica, se supone que las desviaciones estándar de los R s son todas iguales ($\sigma_i = \sigma_j = \dots = \sigma$). Por lo tanto la ecuación 3.58 se convierte en:

$$\mu_{ij} = -z_{ij} \cdot \sqrt{2 \cdot \sigma^2 \cdot (1 - \rho_{ij})} \quad (3.59)$$

- Thurstone establece que, una comparación pareada no influye en otra de estas comparaciones pareadas, por lo que es probable que la correlación ρ_{ij} sea muy baja y, posiblemente, incluso cero. Además, la hipótesis de que las correlaciones son todos iguales a cero es relativamente segura cuando (1) el conjunto de criterios es más bien variado y (2) el grupo de los encuestados no es demasiado pequeño. Dado que, en el caso de priorización de los

R_s en QFD, ambas condiciones son en general satisfechas, parece razonable suponer que $\rho_{ij} = \rho = 0, \forall i, j$.

Entonces, bajo esta suposición hemos hecho que $\sqrt{2 \cdot \sigma^2 \cdot (1 - \rho)}$ ($\sqrt{2 \cdot \sigma^2}$ en el caso de que ρ sea asumido como cero) sea una constante y el factor de escala común de los diversos pares de medias aritméticas de R_s . Sin pérdida de generalidad, este factor de escala común se establece en 1, de modo que:

$$\mu_{ij} = \mu_i - \mu_j = -z_{ij} \quad (3.60)$$

Ahora regresando a nuestro problema inicial que era estimar el valor de las μ_i notemos que

$$\sum_{i=1}^n z_{ij} = \sum_{i=1}^n \mu_j - \mu_i = n \cdot \mu_j - \sum_{i=1}^n \mu_i \quad (3.61)$$

Donde el primer término de la derecha es la suma de los valores de escala del j -ésimo R y el segundo término es la suma de los valores de la escala de todos los n R sobre la continuidad psicológica.

Dividiendo ambos lados de la ecuación por n , se tiene:

$$\bar{z}_{.j} = \frac{\sum_{i=1}^n z_{ij}}{n} = \mu_j - \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i}{n} = \mu_j - \mu \quad (3.62)$$

Siendo:

μ la media aritmética de los (n) valores μ_i .
 μ_i el valor medio del j -ésimo R .

Así vemos que la media de los valores de z_{ij} corriendo a i (comparación del requisito j con todos los demás) expresa el valor medio del j -ésimo R en términos de su desviación de la media de todos los valores μ_i (es decir, μ). Este procedimiento lo aplica Thurstone a cada requerimiento j , y utiliza este valor como su valor de escala, y no específicamente la estimación de μ_j como lo era desde un principio.

Como comprobación en cálculos, se observa que la suma de los valores de la escala es igual a cero.

$$\sum_{j=1}^n \bar{z}_{.j} = \sum_{j=1}^n \mu_j - \sum_{j=1}^n \mu = n\mu - n\mu = 0 \quad (3.63)$$

Según el análisis anterior, los pasos generales del procedimiento de Thurstone junto con la aportación de Franceschini y Maisano son los siguientes:

1. Los encuestados asignan a los R_s una puntuación de importancia en una escala de 5 puntos, 1-nada importante a 5-Muy importante. Se propone esta escala por ser simple e intuitiva para el encuestado, aunque por ser tan limitada puede llevar a obtener R_s con niveles de importancia idénticos. Este problema puede resolverse utilizando una escala más amplia.
2. Por cada encuestado, se genera un ranking de requerimientos en base a los datos del punto 1 en los que se pueden dar sólo los siguientes casos, para R_i y R_j :

- $R_i \sim R_j$: R_i es indiferente o igual de importante que R_j .
 - $R_i > R_j$: R_i es preferible o más importante que R_j .
 - $R_i < R_j$: R_j es preferible o más importante que R_i .
3. Cada uno de los rankings del paso 2 es transformado en datos de comparación entre pares reportada en forma de una matriz “binaria”, las filas y columnas representan a cada uno de los R s cuyas entradas son definidas por:
- 0.5 si $R_i \sim R_j$, es decir, cuando el R de la i -ésima fila y el R de la j -ésima columna tienen un nivel de importancia idéntico.
 - 1 si $R_i > R_j$, es decir, cuando el R de la i -ésima fila es más preferido que el R representado por la j -ésima columna.
 - 0 si $R_i < R_j$, es decir, cuando el R de la i -ésima fila es menos preferido que el R representado por la j -ésima columna.

Con esto, se generan tantas matrices como número de encuestados, digamos N .

4. Se genera una única matriz de frecuencias F cuyos elementos generales f_{ij} representan el número de veces que R_i fue preferido a R_j .
5. Se construye una matriz P a partir de F , cuyos elementos son los p_{ij} interpretandolo en términos probabilísticos como $p_{ij} = P(R_{ij} \geq 0)$
6. Se calcula ahora una matriz Z usando la matriz P aplicando la función Φ^{-1} .
7. Ahora estamos en posición de obtener el valor de importancia de los R s, esto es, los valores de la escala de Thurstone que son obtenidos a partir de los elementos de la matriz Z calculando los $\bar{z}_{.j}$
8. Los R s con valores negativos en la escala están juzgados a ser menos favorables que la media de los valores de la escala de todos los R s y aquellos con valores de escala positivos son juzgados a ser más favorable que la media. Como el origen de la escala - se toma como la media de los valores de la escala de los CRs en el continuo psicológico - es arbitrario, se puede aplicar una transformación de escala admisible (es decir, una función lineal monótonamente creciente), a fin de obtener valores numéricos más fácil de manejar. Esto no cambiará la posición relativa de los valores de la escala en el continuo psicológico, aspecto útil para QFD en donde es usual utilizar una escala del 1 al 5. Por ejemplo una transformación para llevar los valores de escala al intervalo $[1,5]$ es

$$\frac{\mu'_j - 1}{5 - 1} = \frac{\mu_j - \text{mín}(\mu_j)}{\text{máx}(\mu_j) - \text{mín}(\mu_j)} \quad (3.64)$$

Donde:

μ_j es el valor de escala relacionado con el j -ésimo R , resultante de la escala de Thurstone.
 μ'_j es el valor de la escala transformada relacionada con el j -ésimo R en la escala de intervalo $[1,5]$.

Esta transformación no es más que una función lineal monótona creciente del tipo:

$$\mu'_j = a + b \cdot \mu_j \quad (3.65)$$

donde:

$$a = \frac{\text{máx}(\mu_j - 5 \cdot \text{mín}(\mu_j))}{\text{máx}(\mu_j - \text{mín}(\mu_j))} \quad y \quad b = \frac{4}{\text{máx}(\mu_j - \text{mín}(\mu_j))} > 0 \quad (3.66)$$

Este procedimiento puede verse gráficamente en la figura 3.5 donde se muestra como los R conservan su proximidad entre sí después del escalamiento en un ejemplo dado.

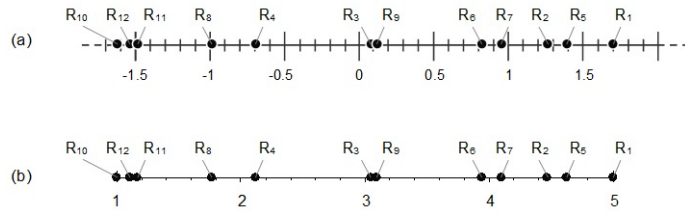


Figura 3.5: Resultado de la escala de Thurstone antes (a) y después (b) de la transformación de escala.

3.3.3. MÉTODO ELECTRE II

ELECTRE (La eliminación y la elección que refleja la realidad). Los métodos ELECTRE pertenecen a los métodos de sobreclasificación. Constituyen una de las principales ramas de esta familia a pesar de su relativa complejidad (debido a muchos parámetros técnicos y un complejo algoritmo).

Los métodos de sobreclasificación se basan en comparaciones entre pares de opciones. Esto significa que cada opción se compara con todas las opciones. Esto se calcula usualmente por medio de un software (Electre III-IV). Sobre la base de estas comparaciones por parejas, recomendaciones finales se pueden extraer. La principal característica y ventaja de los métodos ELECTRE es que evitan la compensación entre los criterios y cualquier proceso de normalización, lo que distorsiona la de los datos originales. A partir de 1965 han surgido una serie larga de métodos y desarrollo de investigación con el fin de hacer frente a nuevos métodos de decisión. Ellos pueden clasificarse según el tipo de problema a resolver (ver la Tabla 3.4).

Los métodos ELECTRE son relevantes cuando se enfrentan a problemas de decisión con más de dos criterios, y si al menos satisface una de las siguientes condiciones [36]:

- Los rendimientos de los criterios son expresados en unidades diferentes (ej., duración, peso, precio, color, etc.) y el que toma las decisiones quiere evitar definir una escala común, que sea difícil y compleja.
- Los problemas no toleran un efecto de compensación (ej., el débil desempeño por la demora de tiempo no puede ser compensada por la buena calidad).
- Hay una necesidad de utilizar indiferencia y umbrales de preferencia, tales que las pequeñas diferencias pueden ser insignificantes, aunque la suma de pequeñas diferencias es decisiva (por ejemplo somos indiferentes a un grano adicional de azúcar en una taza de té, pero no para 100 granos de azúcar adicional).

Problema de decisión	Método	Software
Problema de elección	ELECTRE I	-
	ELECTRE Iv	-
	ELECTRE Is	Electre Is
Problema de clasificación	ELECTRE II	-
	ELECTRE III	ELECTRE III- ELEC- TRE IV
	ELECTRE IV	ELECTRE III- ELEC- TRE IV
	ELECTRE-Tri-B	ELECTRE-Tri
	ELECTRE-Tri.C	IRIS
Problema de obtención	Obtención de los pesos en ELECTRE	SRF, IRIS
	Obtención para ELECTRE -Tri: método IRIS y otros métodos de obtención	Electre Tri Assistant

Tabla 3.4: Vista general de los diferentes métodos ELECTRE.

- Las opciones son evaluadas sobre una escala que presenta un orden o sobre una escala de intervalo débil (por ejemplo una temperatura de 60°F es 30°F más de 30°F, pero no puede decirse que es dos veces tan caliente como 30°F, porque las variables de intervalo no tienen un verdadero punto cero).

ELECTRE II

El método ELECTRE II trata el problema de ordenación que consiste en plantear el problema en términos de ordenación de un conjunto de alternativas o de algunas de ellas. Trata de dotar al conjunto de alternativas de las acciones potenciales, utilizando las relaciones de orden sobre cada uno de los criterios, de una estructura de preorden total a fin de facilitar la elección; más claramente, el objeto de ELECTRE II es ordenar las acciones potenciales, de mejor a peor, tolerando las que queden por igual, esto se hace a partir de pruebas de concordancia y de no-discordancia distinguiendo dos tipos de sobreclasificaciones o preferencias, fuertes y débiles [31].

Se parte de:

- Un conjunto $A = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n\}$ de posibles alternativas. (Estas alternativas no son necesariamente excluyentes, es decir, que se pueden poner en marcha de forma conjunta.)
- $g = 1, 2, \dots, j, \dots, m$ un conjunto coherente de criterios.
- $g_j(a)$ se llama el desempeño j-ésimo de una alternativa genérica a . No es restrictivo suponer que $\forall a' \in A$ y $a \in A$, $g_j(a') \geq g_j(a) \Rightarrow a'$ es al menos tan bueno como a si consideramos

sólo el punto de vista reflejado por el j -ésimo criterio.

- w_j el peso (parámetro de importancia) del criterio j .

Definimos:

- $J^+(a_i, a_k) = \{j \in g | g_j(a_i) > g_j(a_k)\}$ el conjunto de criterios para los cuales la alternativa a_i es preferida a la alternativa a_k .
- $J^=(a_i, a_k) = \{j \in g | g_j(a_i) = g_j(a_k)\}$ el conjunto de criterios para los cuales la alternativa a_i es equivalente a la alternativa a_k .
- $J^-(a_i, a_k) = \{j \in g | g_j(a_i) < g_j(a_k)\}$ el conjunto de criterios para los cuales la alternativa a_k es preferida a la alternativa a_i .
- $P^+(a_i, a_k) = \sum_{j|j \in J^+(a_i, a_k)} w_j$ la suma de los pesos de los criterios que pertenecen al conjunto $J^+(a_i, a_k)$.
- $P^=(a_i, a_k) = \sum_{j|j \in J^=(a_i, a_k)} w_j$ la suma de los pesos de los criterios que pertenecen al conjunto $J^=(a_i, a_k)$.
- $P^-(a_i, a_k) = \sum_{j|j \in J^-(a_i, a_k)} w_j$ la suma de los pesos de los criterios que pertenecen al conjunto $J^-(a_i, a_k)$.
- Y tenemos a $P = P^+(a_i, a_k) + P^=(a_i, a_k) + P^-(a_i, a_k)$

La comparación de a' y a sobre la base del vector de desempeños $g(a) = [g_1(a), g_2(a), \dots, g_n(a)]$ y $g(a') = [g_1(a'), g_2(a'), \dots, g_n(a')]$ se realiza por medio del modelo global de preferencias capaces de tener en cuenta las indecisiones entre dos de los tres casos siguientes:

- $a' Ia$: a' es indiferente a a .
- $a' Pa$: a' es estrictamente preferida a a .
- $a Pa'$: a es estrictamente preferida a a' .

Las indecisiones mencionadas anteriormente provienen de [39]:

- La existencia en la mente de quien toma la decisión de zonas de incertidumbre, conflictos o contradicciones.
- La determinación imprecisa e incierta de los vectores $g(a)$ y $g(a')$ por medio del cual a' y a se comparan.
- El hecho de que el constructor del modelo no tiene en cuenta, en parte, cómo el decisor compara a' y a .

El elemento en base a MCDA es el concepto “sobreclasificación”. Una relación de “sobreclasificación” es un modelo que agrega los n criterios de una familia g , construido con una hipótesis menos de los requeridos por un valor o utilidad de la función [39].

Recuerde que $A = \{a_i | i \in I\}$ es un conjunto finito de alternativas posibles, evaluado en un conjunto coherente de criterios. Cada acción g_j se considera como una aplicación de un solo punto del conjunto A a la escala de criterio E_j , es decir, un conjunto completamente ordenado

(de valores cuantitativos o cualitativos) tomada como la representación formal del conjunto de estados asociados con el criterio j -ésimo:

$$\begin{aligned} g_j &: A \rightarrow E_j \\ a &\rightarrow g_j(a) \end{aligned} \quad (3.67)$$

Por lo tanto, la evaluación de múltiples criterios de una alternativa $a \in A$ se puede resumir en el vector $g(a) = [g_1(a), g_2(a), \dots, g_n(a)] \in E = E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$.

El modelo de la relación sobreclasificación consiste en admitir que para cualquier par de alternativas (a, a') de A , a supera a a' (aSa'); cuando tanto una prueba de concordancia como una de no-discordancia se satisfacen.

Algoritmo

1. Para cada par de alternativas (a_i, a_k) , se buscan los conjuntos $J^+(a_i, a_k)$ y $J^-(a_i, a_k)$, así como los valores $P^+(a_i, a_k)$ y $P^-(a_i, a_k)$ que de ellos se derivan.
2. Se realiza la **Prueba de concordancia**.

La prueba de concordancia es una medición del grado de concordancia (conformidad) de los diferentes criterios con la afirmación aSa' . El criterio j -ésimo está en concordancia con la afirmación aSa' si y sólo si $aS_j a'$. El subconjunto de criterios que están en concordancia con la afirmación aSa' es llamado la coalición de concordancia. Para ello se calcula el índice de concordancia C_{ik} como sigue:

$$C_{ik} = \frac{P^+(a_i, a_k) + P^-(a_i, a_k)}{P} \quad (3.68)$$

Este índice expresa en qué medida la hipótesis de partida “ a_i supera a a_k ” concuerda con la realidad representada por las evaluaciones de las acciones. Es evidente que C_{ik} varía entre 0 y 1.

Observación: El conjunto $J(a_i, a_k)$ de los criterios para los que la alternativa a_i es al menos tan buena como la acción a_k se denomina conjunto de concordancia; es la unión de los conjuntos:

$$J(a_i, a_k) = J^+(a_i, a_k) \cup J^-(a_i, a_k) \quad (3.69)$$

Para realizar la prueba hay que saber si la importancia de los criterios, para los cuales la alternativa a_i es preferida a a_k es suficientemente fuerte, por lo que debe establecerse tres **umbrales de concordancia** denotados por c^+ , c^0 , c^- tales que:

$$c^+ \geq c^0 \geq c^- \quad (3.70)$$

La relación $C_{ik} \geq c^+$ (respectivamente $C_{ik} \geq c^0$ y $C_{ik} \geq c^-$) corresponde a la satisfacción de la prueba de concordancia con una certidumbre fuerte (respectivamente media y débil). Sin embargo esta relación es necesaria pero no suficiente para la satisfacción de esta prueba. Existe una condición suplementaria:

$$\frac{P^+(a_i, a_k)}{P^-(a_i, a_k)} \geq 1 \quad (3.71)$$

Esta segunda condición tiene como objetivo principal eliminar los circuitos.

Resumiendo, el test de concordancia será aceptado si y solamente si:

$$\left. \begin{array}{l} C_{ik} \geq c^+ \\ o \\ C_{ik} \geq c^0 \\ o \\ C_{ik} \geq c^- \end{array} \right\} y \frac{P^+(a_i, a_k)}{P^-(a_i, a_k)} \geq 1$$

3. Para los casos en los que la prueba de concordancia sea aceptada, se realiza la **prueba de no-discordancia**.

En esta, se trata de definir en qué límites debe estar contenida la oposición de los criterios discordantes (inconformes) con la hipótesis de sobreclasificación para que ésta pueda ser aceptable.

Los límites que la discordancia no deberá superar son fijados para cada criterio, a dos por criterio: se denominan umbrales de discordancia, denotados por D_1 y D_2 tales que:

$$D_2 \leq D_1 \tag{3.72}$$

El test de no-discordancia puede resumirse, para $j \in J^-(a_i, a_k)$ como sigue:

- Si $g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq D_{2(j)}$, entonces hay una certidumbre fuerte de que el criterio j no presenta una oposición importante a la hipótesis de sobreclasificación;
- Si $D_{2(j)} < g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq D_{1(j)}$, entonces hay una certidumbre débil de que el criterio j no presenta una oposición importante a la hipótesis de sobreclasificación.

4. Establecer las condiciones de sobreclasificación.

Según los pasos anteriores, las condiciones de sobreclasificación fuerte S_F y débil S_d se definen como sigue:

- Sobreclasificación fuerte: $a_i S_F a_k$

$$\left. \begin{array}{l} C_{ik} \geq c^+ \text{ y} \\ g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq D_{1(j)}, \forall j \in g \\ \frac{P^+(a_i, a_k)}{P^-(a_i, a_k)} \geq 1 \end{array} \right\} y/o \left\{ \begin{array}{l} C_{ik} \geq c^0 \\ \text{Si } g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq D_{2(j)}, \forall j \in g \text{ y} \\ \frac{P^+(a_i, a_k)}{P^-(a_i, a_k)} \geq 1 \end{array} \right.$$

- Sobreclasificación débil: $a_i S_d a_k$

$$\left. \begin{array}{l} C_{ik} \geq c^- \text{ y} \\ g_j(a_k) - g_j(a_i) \leq D_{1(j)}, \forall j \in g \text{ y} \\ \frac{P^+(a_i, a_k)}{P^-(a_i, a_k)} \geq 1 \end{array} \right\}$$

5. Ordenar las alternativas.

Se establecen tres preórdenes: dos preórdenes totales V_1 y V_2 (denominados normalmente “ordenamiento directo” y “ordenamiento inverso” respectivamente), y un preorden parcial

\bar{V} .

Construcción del primer preorden completo. El algoritmo que comúnmente es denominado “ordenamiento directo” es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Paso } 0 : l &= 0 \\ \text{Pasol} : l &= l + 1 \\ Y_l &\subseteq Y_0 = G'_l \\ A_l &\subset A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= a_i | a_i \in Y_l \wedge \nexists a_k S_F a_i, a_k \in Y_l \\ U &= a_i, a_k | a_i, a_k \in D \wedge \exists a_i S_d a_k \vee a_k S_d a_i \\ B &= a_i | a_i \in U \wedge \nexists a_k S_d a_i, \forall a_k \in U \\ A_l &= (D - U) \cup B; \\ A_l = 0 &\Rightarrow A_l = D \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_1(a_i) &= l + 1, \forall a_i \in A_l \\ Y_{l+1} &= Y_l - A_l \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Si } Y_{l+1} = \emptyset &\rightarrow \text{Fin} \\ \text{Si } Y_{l+1} \neq \emptyset &\rightarrow \text{ir al paso "l"} \end{aligned}$$

Donde Y_l y G'_l son grafos de sobreclasificación que visualizan la relación de sobreclasificación para el conjunto de pares de alternativas (a_i, a_k) . Cada alternativa está representada por un vértice; si la alternativa a_i sobreclasifica a la alternativa a_k , habrá una flecha que unirá los dos vértices partiendo de a_i , y llegando a a_k . Si no existe ninguna relación de sobreclasificación entre los dos vértices, entonces no se puede dibujar ninguna flecha entre los dos vértices.

Construcción del segundo preorden completo.

Para la “ordenación inversa”, se usa el mismo algoritmo que acabamos de describir a condición de introducir las modificaciones siguientes:

- invertir la dirección de los arcos en los grafos G'_F y G'_d
- una vez se ha obtenido el rango $(r'_2(a_i) = l + 1)$ ajustarlo de la siguiente manera:
 $r_2(a_i) = 1 + r'_2(a_i)_{max} - r'_2(a_i)$

Este procedimiento ordena los vértices del grafo en función de la longitud de los caminos que llegan a ellos, en orden decreciente de sus longitudes.

Construcción del preorden parcial final

La intersección, en el sentido matemático del término, de los dos preórdenes completos que son el ordenamiento directo y el ordenamiento inverso es un preorden parcial. Esto significa que la incomparabilidad entre dos acciones está permitida. Concretamente, para construir este preorden final, habrá que seguir las reglas siguientes:

- a_i es preferida a a_k en los dos preórdenes completos, entonces también lo será en el preorden parcial.
- si a_i es equivalente a a_k en un preorden completo, pero es preferida en el segundo, entonces a_i será preferida a a_k en la ordenación final.
- si en el primer preorden a_i es preferida a a_k y si en el segundo a_k es preferida a a_i , entonces las dos acciones serán incomparables en el preorden final.

3.3.4. MÉTODO TOPSIS

El método TOPSIS [43],[86] (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) de Hwang y Yoon se basa en elegir a la mejor alternativa basada en la distancia a la ideal, y a la anti-ideal, por lo que dos definiciones básicas son las siguientes:

Partimos, de tener unas alternativas $A_i, i = 1, 2, \dots, m$ y una matriz de decisión, con $x_{ij} = U_j(A_i), j = 1, 2, \dots, n$. Donde U es la función utilidad del decisor. Podemos, sin pérdida de generalidad, transformar las utilidades de manera que todos los criterios se busquen maximizar/minimizar y que todos los $x_{ij} > 0$.

Definición 3.9 Se denomina punto ideal en (\mathbb{R}^n) al punto $A^M = (A_1^M, A_2^M, \dots, A_n^M)$, donde $A_i^M = \max_i x_{ij}$, para el caso de criterios de beneficio y $A_i^M = \min_i x_{ij}$ para el caso de criterios de coste. La alternativa A^M se llama alternativa ideal.

Definición 3.10 Se denomina punto anti-ideal en (\mathbb{R}^n) al punto $A^m = (A_1^m, A_2^m, \dots, A_n^m)$, donde $A_i^m = \min_i x_{ij}$, para el caso de criterios de beneficio y $A_i^m = \max_i x_{ij}$ para el caso de criterios de coste. La alternativa A^m se llama alternativa anti-ideal.

El algoritmo del método TOPSIS es el siguiente:

Paso 1. Establecimiento de la matriz de decisión.

El método TOPSIS evalúa la siguiente matriz de decisión que se refiere a m alternativas $A_i, i = 1, 2, \dots, m$ las cuales son evaluadas en función de n criterios $C_j, j = 1, \dots, n$ 3.5.

Alternativas	Atributos			
	(w_1)	(w_2)	\dots	(w_m)
	C_1	C_2	\dots	C_m
A_1	m_{11}	m_{12}	\dots	m_{1m}
A_2	m_{21}	m_{22}	\dots	m_{2m}
\vdots	\dots	\dots	\ddots	\vdots
A_n	m_{n1}	m_{n2}	\dots	m_{nm}

Tabla 3.5: Matriz de decisión

Donde x_{ij} denota la valoración de la i -ésima alternativa en términos del j -ésimo criterio. Y donde $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ es el vector de pesos asociado con C_j .

Paso 2: Normalización de la matriz de decisión

En el método TOPSIS primero convierte las dimensiones de los distintos criterios en criterios no dimensionales. Un elemento \bar{n}_{ij} de la matriz de decisión normalizada $N = [\bar{n}_{ij}]_{m \times n}$ se calcula como sigue:

$$\bar{n}_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{ij}^{max}}, j = 1, \dots, m. \quad (3.73)$$

Esta norma representa el tanto por ciento del máximo y se considera la más apropiada.

Paso 3: Construir la matriz de decisión normalizada ponderada

El valor normalizado ponderado \bar{v}_{ij} de la matriz de decisión normalizada ponderada $V = [\bar{v}_{ij}]_{m \times n}$ se calcula como:

$$\bar{v}_{ij} = w_j \times \bar{n}_{ij}, j = 1, \dots, m. \quad (3.74)$$

donde w_j tal que $1 = \sum_{j=1}^n w_j$ es el peso del j -ésimo atributo o criterio. Es bien conocido que los pesos de los criterios en un problema de decisión no tienen el mismo significado y no todos tienen la misma importancia. Estos pesos pueden obtenerse de diferentes modos: mediante asignación directa, mediante el método AHP, etc.

Paso 4: Determinar la solución ideal positiva (PIS) y la solución ideal negativa (NIS)

Originalmente, el conjunto de valores ideal positivo \bar{A}^+ y el conjunto de valores ideal negativo \bar{A}^- se determina como:

$$\begin{aligned} \bar{A}^+ &= \{\bar{v}_1^+, \dots, \bar{v}_1^+\} = \{(\max_i \bar{v}_{ij}, j \in J')(\min_i \bar{v}_{ij}, j \in J')\}, i = 1, 2, \dots, m \\ \bar{A}^- &= \{\bar{v}_1^-, \dots, \bar{v}_1^-\} = \{(\min_i \bar{v}_{ij}, j \in J')(\max_i \bar{v}_{ij}, j \in J')\}, i = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

Donde J está asociado con los criterios de beneficio y J' está asociado con los criterios de costes.

Sin embargo, debido a un problema de inversión de las alternativas al aumentar o disminuir el número de éstas, se estudió en [43] que si se redefinen \bar{A}^+ y \bar{A}^- como la mejor y peor alternativa posibles en términos absolutos, junto con la norma elegida en el paso anterior, se soluciona este problema de inversión, con lo que elegimos esta modificación para evitarlo.

Paso 5: Cálculo de las medidas de distancia

Se calcula la separación de cada alternativa de la solución ideal positiva \bar{A}^+ como sigue:

$$\bar{d}_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (\bar{v}_{ij} - \bar{v}_{ij}^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad (3.75)$$

$$\bar{d}_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (\bar{v}_{ij} - \bar{v}_{ij}^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad (3.76)$$

En este caso se utiliza la distancia Euclideana m-multidimensional.

Paso 6: Cálculo de la proximidad relativa a la solución ideal

La proximidad relativa \bar{R}_i a la solución ideal puede expresarse como sigue:

$$\bar{R}_i = \frac{\bar{d}_i^-}{\bar{d}_i^+ + \bar{d}_i^-}, i = 1, \dots, m \quad (3.77)$$

- Si $\bar{R}_i = 1 \Rightarrow A_i = \bar{A}^+$
- Si $\bar{R}_i = 0 \Rightarrow A_i = \bar{A}^-$

Paso 7: Ordenación de preferencias

Se ordenan las mejores alternativas de acuerdo con \bar{R}_i en orden descendente.

3.3.5. GRUPO FOCAL

De acuerdo con [34] el grupo focal se define como “una técnica que centra su atención en la pluralidad de respuestas obtenidas de un grupo de personas, y es definida como una técnica de la investigación cualitativa cuyo objetivo es la obtención de datos por medio de la percepción, los sentimientos, las actitudes y las opiniones de grupos de personas”.

Descripción del proceso

A continuación se señalan los pasos principales para aplicar la técnica del Grupo Focal:

1. **Plantear o definir los objetivos de la investigación.** La persona que aplicará en el grupo focal debe tener presente el propósito de la investigación, para lo cual deberá hacer una serie de reflexiones sobre el tema desde el examen, la exploración y la comprensión del asunto. Es así como se plantea tanto el objetivo general como específicos.
2. **Realizar y planificar las preguntas sobre el tema de investigación.** Se debe preparar un guion con preguntas abiertas de tipo general y también específico para que el entrevistado pueda responder ya sea de modo general o profundamente, y obtener la información necesaria para nuestra investigación. Las preguntas deben formularse en una secuencia lógica con el fin de guardar concordancia con los objetivos de nuestra investigación.
3. **Seleccionar la audiencia.** La selección de los integrantes del grupo focal no es una tarea simple, pues implica que se elijan personas adecuadas; es decir, deben ser individuos que posean ciertas características específicas, ya que ellos aportarán la información requerida. Los participantes son seleccionados específicamente porque tienen una experiencia en común o personal que resulta de interés para el estudio. Los resultados de

nuestra investigación dependerán de nuestras fuentes de información que en este caso son los entrevistados.

4. ***Establecer el número de personas que integrará el grupo focal.*** El número de integrantes debe ser limitado entre 4 y 12 personas debido a que algunos autores [90] señalan que los participantes pueden ser entre 7 y 10 personas, otros [60], por otro lado, mencionan entre 5 y 10 integrantes; la mayoría coincide en señalar que más de 10 personas pueden entorpecer el grupo focal. Cabe notar que el tamaño del grupo focal también depende del nivel de profundidad que se le va a dar a la entrevista por parte del investigador y de los objetivos de la investigación.
5. ***Seleccionar al moderador*** El moderador debe mantener un perfil bajo y evitar realizar comentarios personales para no interferir o inhibir las respuestas de los entrevistados; su función es dirigir las preguntas, para lo cual debe ser un buen comunicador. Se recomienda que el moderador tenga cierta experiencia en dinámica de grupos grandes o con pequeños grupos de interacción, es decir, es indispensable que el moderador cuente con habilidades comunicativas: saber escuchar, observar, entender claramente y tener capacidad de interpretación.
6. ***Ayudante u observador del Grupo Focal.*** Es necesario elegir un ayudante u observador del Grupo Focal, quien tendrá la misión de tomar nota de las respuestas de los entrevistados. El ayudante del moderador debe ubicarse en un lugar poco visible para no molestar a los participantes y no debe intervenir en la sesión. Es importante que tanto el moderador como el ayudante no hagan gesticulaciones que puedan interferir en las respuestas de los entrevistados.
7. ***Seleccionar el lugar.*** La elección del lugar también es importante: debe ser un espacio alejado de ruidos para que los integrantes no pierdan la concentración y entiendan las preguntas que realiza el moderador. El lugar debe ser conocido por los integrantes y estar equipado con el mobiliario adecuado.
8. ***Realizar una breve introducción sobre el tema a discutir.*** Al iniciar la sesión de entrevista será imprescindible que el moderador realice una breve introducción sobre el tema que se va a discutir, por lo que será importante que mencione los objetivos del estudio. Esta breve charla sobre el tema a discutir motivará a los participantes a la reflexión y a que expresen sus respuestas.
9. ***Escuchar a los entrevistados.*** El moderador no debe hacer ninguna objeción ni censura a las respuestas de los entrevistados porque esto disminuiría la fluidez de sus comentarios. Debe también ser imparcial y escuchar a todos los entrevistados por igual; de las respuestas de sus entrevistados depende todo el estudio.
10. ***Tomar notas.*** El ayudante u observador del grupo focal debe estar capacitado para observar todos los gestos de los integrantes con el fin de registrar estas impresiones y anotar todas las respuestas de los participantes. Se recomienda la utilización de equipos de grabación sonora y/o filmadoras para registrar la sesión. Es importante que el ayudante también tome notas después que el moderador haya concluido la sesión.
11. ***Concluir la sesión.*** Una vez terminada la serie de preguntas el moderador concluirá la sesión y agradecerá la participación y asistencia de los integrantes, señalándoles la importancia de sus valiosos comentarios y respuestas.

12. **Analizar los resultados.** El análisis del material debe ser muy especializado. El investigador hará una revisión exhaustiva de toda la sesión desde su inicio hasta su finalización, y se presentan las el informe, preferiblemente con las mismas palabras de utilizadas por los participantes.

3.3.6. DISEÑO DE ENCUESTAS

La encuesta es una técnica, ampliamente utilizada como un procedimiento de investigación, pues permite de manera rápida y eficaz obtener y elaborar datos. Se puede definir la encuesta, siguiendo a [35] como “una técnica que utiliza un conjunto de procedimientos estandarizados de investigación mediante los cuales se recoge y analiza una serie de datos de una muestra de datos representativa de una población o universo más amplio, del que se pretende explorar, describir, predecir y/o explicar una serie de características”.

Tipos de encuestas

Según los fines científicos y el objetivo principal de la investigación:

- Exploratorias.
- Descriptivas.
- Explicativas.
- Predictiva.
- Evaluativa.

Según su contenido:

- Encuestas referidas a hechos.
- Encuestas referidas a opiniones.
- Encuestas referidas a actitudes motivaciones o sentimientos.

Según el procedimiento de administración del cuestionario:

- Personal.
- Telefónica.
- Postal y autorrellenada.

Según su dimensión temporal:

- Transversales o sincrónicas.
- Longitudinales o diacrónicas.
- Retrospectivas y prospectivas.
- Diseño de tendencias, de panel y de cohorte.

Según su finalidad:

- Político/sociales.
- Comerciales.
- Encuestas con fines específicos.

La descripción detallada de cada una de ellas puede verse en [32].

Diseño de la encuesta

Las etapas básicas en el desarrollo de la encuesta, se muestran en la figura 3.6.

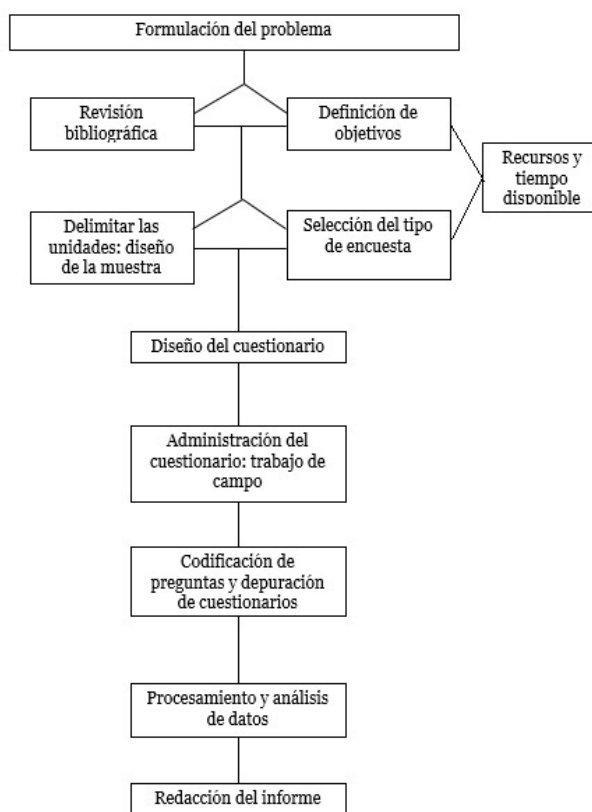


Figura 3.6: Esquema de diseño de encuestas

En cuanto al diseño específico del cuestionario, esencialmente se debe tener claro qué preguntar y cómo hacerlo, en [58] podemos consultar los criterios básicos en la formulación de preguntas en donde menciona ciertas reflexiones de sentido común en cuanto a la claridad, características esenciales de las preguntas, el tiempo sugerido, orden, etc., además de los tipos de preguntas que pueden aparecer en los cuestionarios según las características del tema que se investiga.

En el mismo trabajo referido, se encuentran expuestos los errores más comunes que se pueden tener y de los cuales dependerá la significación de la información que se obtenga, por mencionarlos, tenemos a los errores de muestreo, errores de no observación, errores de medición y errores de postmedición.

Tipos de muestreo y selección de la muestra

Existen diferentes métodos para seleccionar una muestra representativa, la distinción fundamental está en la relación que tienen los procedimientos utilizados para seleccionar la muestra con la probabilidad de seleccionar a los elementos que constituirán la muestra, de esta manera podemos clasificar a los métodos de muestreo en dos grandes tipos: Muestreo probabilístico o científico y muestreo no probabilístico.

Los muestreos probabilísticos son estrategias de selección de elementos que se sustentan en el principio de selección aleatoria. En la práctica esto significa que todos los elementos de la población tienen una probabilidad conocida y distinta de 0 de pertenecer a la muestra. Se señala que la aleatoriedad no es atributo de la muestra, sino del proceso de selección utilizado.

En los muestreos no probabilísticos es el investigador el que selecciona la muestra que le parece más representativa o aquella que se puede extraer con mayor comodidad y/o menor costo y por lo tanto no se conoce previamente la probabilidad de pertenecer a la muestra de estos elementos.

Entre los métodos más usuales de muestreo probabilístico, se tienen los siguientes:

Muestreo aleatorio simple. Se caracteriza porque la selección se realiza de un listado de la población asignándole igual probabilidad a cada elemento, además cada muestra de tamaño n tiene igual probabilidad de ser seleccionada.

Muestreo Sistemático. Es una variante del anterior cuyo propósito es facilitar la selección de elementos cuando la población es un listado de muchos casos y la selección se realiza mediante tabla de números aleatorios. En este contexto, se elige un punto de arranque aleatorio y se seleccionan casos en forma sucesiva según un intervalo numérico convencional.

Muestreo Estratificado. Este procedimiento muestral se caracteriza por la utilización de información auxiliar para mejorar la eficiencia en la selección de elementos y mejorar la precisión de las estimaciones. La información auxiliar corresponde a las variables de estratificación -sexo, región, estado civil- que dividen a la población en estratos. Los estratos son grupos homogéneos de elementos por lo que no es preciso seleccionar un número elevado de casos para representar el estrato. Mientras más homogéneo sea el estrato más precisa será la estimación.

Muestreo por conglomerados. Se caracteriza por construir unidades de muestreo compuestas por un agregado de elementos. Cada grupo de elementos constituye un conglomerado. Todo conglomerado está constituido por un conjunto de elementos con valores diferentes entre sí en la variable medida para formar conglomerados. Una peculiaridad de este tipo de muestreo es que no se necesita de un listado de todos los elementos de la población para diseñar la muestra.

En cuanto los métodos no probabilísticos, tenemos a:

Muestreo por cuotas. Una cuota es un conjunto de entrevistados que conforman grupos excluyentes según sus valores en las variables de clasificación. Para realizar este tipo de muestreo, se divide primero a la población en grupos excluyentes, luego, se identifican las proporciones de estos subgrupos en la población, para finalmente seleccionar sujetos de cada subgrupo teniendo en cuenta la proporción observada. Esto último asegura que la muestra sea representativa de la población.

Muestreo estratégico o de conveniencia. En este tipo de muestreo, la selección de las unidades muestrales responde a criterios subjetivos, acordes con los objetivos de la investigación.

3.3.7. DIAGRAMA DE AFINIDAD

El Diagrama de Afinidad es una herramienta que sintetiza un conjunto de datos verbales (ideas, opiniones, temas, expresiones, etc.) agrupándolos en función de la relación que tienen entre sí. Se basa, por tanto, en el principio de que muchos de estos datos verbales son afines por lo que pueden reunirse en pocas ideas generales. Es considerado como una clase especial de “tormenta de ideas” [6].

Las ventajas del Diagrama de Afinidad son las siguientes:

- Promueve la creatividad de todos los integrantes del equipo.
- Derriba barreras de comunicación y promueve conexiones no tradicionales entre ideas y asuntos.
- Promueve la “apropiación” de los resultados que emergen porque el equipo crea la introducción detallada de contribuciones y los resultados generales.

Las utilidades que aportan los Diagramas de Afinidad son las siguientes:

- Aborda un problema de manera directa.
- Organiza un conjunto amplio de datos.
- Recomendable cuando el tema sobre el que se quiere trabajar es confuso.

Los pasos a seguir para elaborar un diagrama de afinidad son:

1. Definir el tema o problema a tratar.
2. Recoger los datos verbales: Es posible que estos datos ya estén disponibles al haber sido registrados previamente. Si no es así, las ideas serán generadas mediante una “tormenta de ideas”. En cualquier caso, se debe considerar lo siguiente:
 - La información verbal debe ser redactada y resumida de la manera más precisa posible.
 - Solo se tomarán en cuenta las expresiones que contengan, al menos, un verbo y un sustantivo.

3. Organizar la información, de forma tal que se pueda visualizar toda la información en un mismo plano.
4. Clasificar las ideas agrupándolas en función de la relación que tienen unas con otras. Este proceso puede llevarse a cabo del modo siguiente:
 - Comenzar identificando dos ideas que estén relacionadas entre sí, y situarlas juntas en un extremo del diagrama inicial.
 - Buscar otras ideas que estén relacionadas entre sí o con la agrupación ya conformada.
 - Repetir el proceso hasta que todas las ideas hayan sido agrupadas.
 - Las ideas que no encajen en ningún grupo pueden quedarse solas, o ser reunidas en un grupo propio.
5. Definir ideas de afinidad o encabezamientos. Una afinidad es una idea que refleja la relación esencial de una agrupación de ideas. Esta idea principal es identificada en términos claros y precisos, y se colocará en la cabecera de un grupo de ideas ya identificado en el paso anterior.
6. Dibujar el diagrama de afinidad: Para ello se escribe la formulación del problema en la parte superior del diagrama. Posteriormente se situarán los encabezamientos sobre sus respectivos grupos de ideas (Ver Figura 3.7).

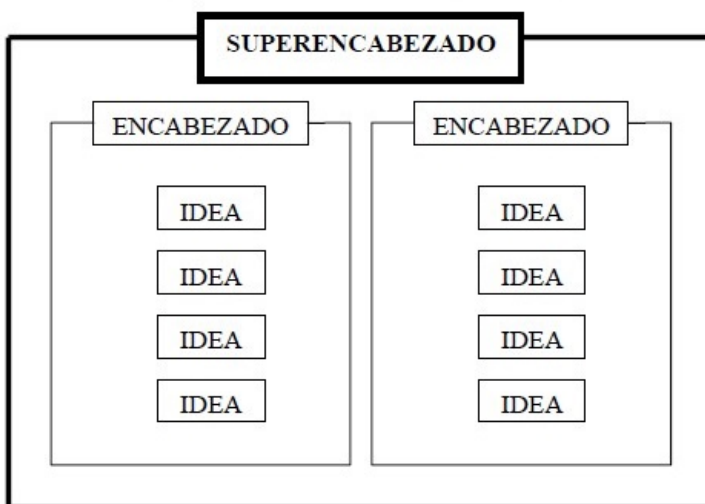


Figura 3.7: Esquema de diagrama de afinidad.

3.3.8. ALGORITMO QBENCH

Tomando en cuenta la notación que se mostrará en la sección 4.9 de la presente tesis, se expone el algoritmo Qbench como sigue [39]:

Supuestos. Supongamos que la solución de un problema sólo puede tomar valores coincidentes con las posiciones extremas de la escala de los criterios, o los valores tomados de otras alternativas en cada criterio (reducción dominio de búsqueda):

$$g(a) \in \Omega \subseteq \mathfrak{J} \quad (3.78)$$

Con

$$\begin{aligned} \mathfrak{J} &= E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n \\ \Omega &= H_1 \times H_2 \times \dots \times H_n \\ H_i &\subseteq E_i \quad \forall i \\ H &= \{e_j^i, e_j^s, g_j(a), \forall i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n\} \\ J &= \{1, \dots, n\}, I = \{1, \dots, m\} \end{aligned} \quad (3.79)$$

en donde

e_j^i representa el valor más bajo de la escala definida para el j -ésimo criterio
 e_j^s representa el valor más alto de la escala definida para el j -ésimo criterio

INICIALIZACIÓN

Se genera el primer perfil ($l = 1$). Para cada criterio, $g_j(a)$ es el conjunto de los valores mínimos del dominio reducido H .

El valor del j^* -ésimo criterio (que tiene el peso más grande) se establece como:

$$\begin{aligned} g_{j^*}(a^1) &= \max\{e_{j^*}^i, e_{j^*}^s, g_{j^*}(a_i), \forall i = 1, \dots, m\} \\ & \quad l = 1 \\ g_j(a^l) &= e_j^i \quad \forall j \in J, j \neq j^* \\ j^* | w_{j^*} &= \max_{j \in J} w_j \\ J^* &= J - \{j^*\} \\ & \quad \text{ir al paso (b)} \end{aligned} \quad (3.80)$$

(a) GENERACIÓN l -ÉSIMO PERFIL DE CALIDAD ($l > 1$)

Se genera el l -ésimo perfil de calidad de la alternativa buscada, como sigue:

Si

$$g_{j^*}(a^{l-1}) = e_{j^*}^i \quad (3.81)$$

entonces

$$\begin{aligned} j^* | w_{j^*} &= \max_{j \in J^*} w_j \\ g_j(a^l) &= g_j(a^{l-1}) \quad \forall j \in J^*, i \neq j^* \\ g_{j^*}(a^l) &= g_{j^*}(a^{l-1}) + \Delta_{j^*} \\ J^* &= J - \{j^*\} \\ & \quad \text{ir al paso (b)} \end{aligned} \quad (3.82)$$

en otro caso

$$\begin{aligned} g_j(a^l) &= g_j(a^{l-1}) \quad \forall j \in J^*, i \neq j^* \\ g_{j^*}(a^l) &= g_{j^*}(a^{l-1}) + \Delta_{j^*} \\ &\text{ir al paso (b)} \end{aligned} \quad (3.83)$$

Δ_{j^*} representa el incremento de un paso en el j-ésimo criterio.

(b) TEST DE VERIFICACIÓN

Si la condición $a^l >_\psi a_i, \forall i = 1, \dots, m$ se verifica, se para el procedimiento, si no, regresamos al punto (a).

Si

$$a^l >_\psi a_i, \forall i = 1, \dots, m \quad (3.84)$$

entonces para: a^l es la solución buscada.

en otro caso

$$\begin{aligned} l &= l + 1 \\ &\text{ir al paso (a)} \end{aligned} \quad (3.85)$$

fin

El algoritmo se detiene cuando la solución determinada supera las alternativas de los competidores de acuerdo con el modelo de agregación de preferencia del decisor.

Capítulo 4

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

El aporte fundamental de esta tesis es el diseño de la metodología que permite en base a sus resultados lograr los objetivos planteados, siguiendo los lineamientos de QFD, estudiando y eligiendo las técnicas matemáticas adecuadas, aspectos que se exponen en este capítulo.

4.1. DISEÑO DESCRIPTIVO DE LA METODOLOGÍA

Producto en estudio: El objetivo principal está orientado hacia el cumplimiento del perfil de egreso de la Maestría en Ciencias (Matemáticas) de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por lo que el egresado es el producto principal de estudio al cual es enfocado el trabajo.

De forma general, la propuesta se describe por medio de un diseño sistemático que lleva los requerimientos de los clientes como variables de entrada que definirán un perfil de egreso, procesadas a través de diversas técnicas matemáticas y la metodología QFD que definirá el diseño, desarrollo y aplicación de una nueva metodología propuesta para el cumplimiento de éste y que de ser implementada, se logre la satisfacción de los clientes.



Figura 4.1: Metodología

En base a la revisión bibliográfica, genéricamente, el perfil de egreso debe ser diseñado en base a los lineamientos del Modelo Universitario Minerva que rige a la universidad el cual pro-

porciona una estructura no explicada de los elementos, éstos se muestran en la sección 1.4 de la presente tesis.

El diseño de la metodología propuesta se realiza mediante 4 fases que considera un sistema híbrido de la metodología QFD en cuanto a la orientación inicial hacia el diseño de un producto (egresado) basado en procesos de servicios (servicio educativo ofrecido):

Fase 1. Especificaciones de planeación del PE.

Se identifican los requerimientos que los clientes demandan en los egresados de la MCM, valoradas por los sectores implicados mediante diversas herramientas de recolección de datos tomando como base para su construcción la guía general que proporciona el MUM, la información aquí obtenida conformará la columna de los Qués de la primera casa de la calidad de QFD.

Esta fase estará descrita por la primera casa de QFD que dará como resultado las características que deben formar el PE con una ponderación según la importancia, el nivel de satisfacción y la dificultad. Las etapas se designan por los pasos a seguir para la construcción de la casa de la calidad una vez que se han obtenido los requerimientos de los clientes.

Fase 2. Especificaciones del PE.

Para la realización de esta fase, debe procederse a la elaboración del segundo módulo de QFD en la que se generará la normatividad que regirá el cumplimiento del PE debido a que se designarán las características del servicio educativo.

Fase 3. Especificaciones del proceso.

Se identifican las acciones que deberán realizarse para el cumplimiento del PE es decir se definirán los elementos del proceso que se deben mejorar, para esto debe realizarse además la evaluación diagnóstica del cumplimiento actual de PE deseable en base a la normatividad que sea definida en la fase 2.

Fase 4. Especificaciones del control.

Se establece una metodología de control que supervise el cumplimiento del PE deseable, así como los formatos de control.

Cada una de estas Fases está representada en la figura 4.2

Los egresados deben responder a las demandas de un profesional de la matemática, por lo que en medida en que se interpreten adecuadamente las necesidades demandadas, con ayuda de QFD el perfil de egreso estará mejor ajustado a sus demandas y proporcionará la mayor satisfacción a los clientes, lo que repercutirá favorablemente en beneficios para cada uno de ellos.

El procesamiento de la información a través de la realización de las fases se basa en el uso de la metodología de QFD, integrándose a la par las 4 matrices descritas que generan paulatinamente los productos esperados: el perfil de egreso deseable, la normatividad y la metodología que rija el cumplimiento (Figura 4.3).

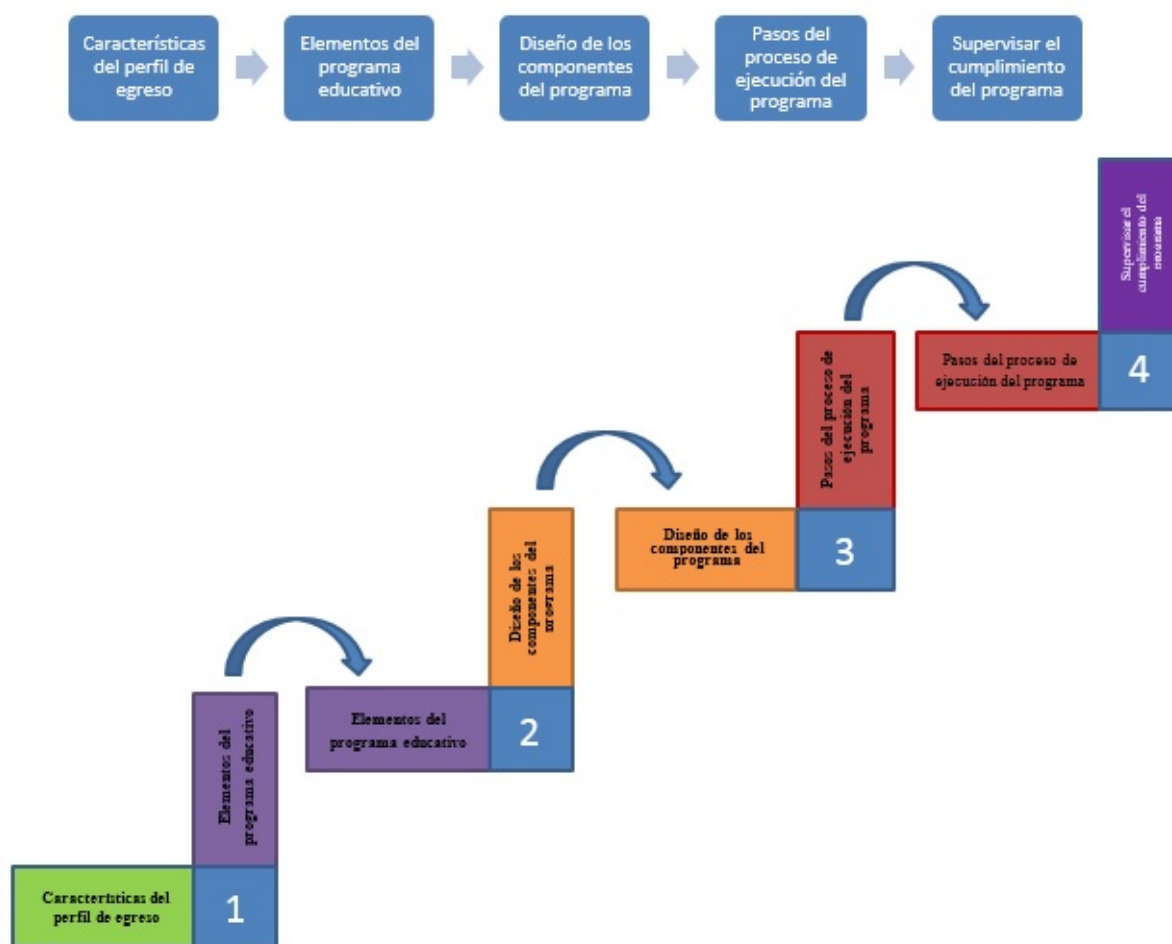


Figura 4.2: Esquema de fases de la metodología propuesta

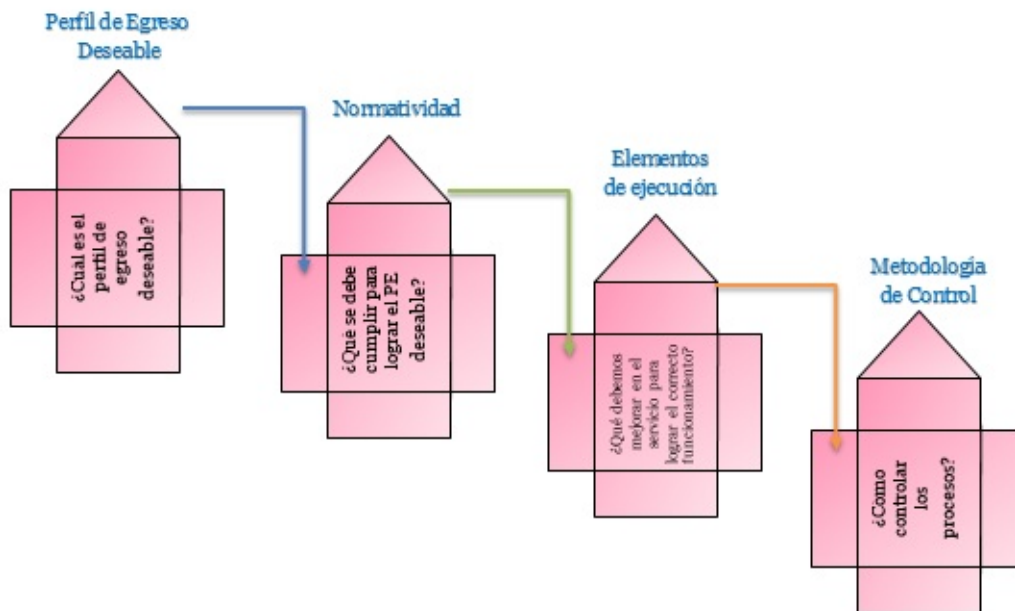


Figura 4.3: Esquema del diseño de la metodología propuesta

En el presente trabajo se desarrollara el planteamiento de la casa de la calidad la cual constituye la primera fase que formara el fundamento de la construcción de la mejora, además de ser la que implica el mayor esfuerzo, tiempo y planeación, y es la base para el desarrollo de las fases siguientes. Como planeación inicial, se le llama “equipo técnico” a la tesista y al asesor quienes realizan este trabajo.

El objetivo de esta matriz es detallar los requisitos de los clientes, los cuales conformaran al perfil de egreso deseable, priorizar aquellos que maximicen la satisfacción del cliente, y relacionar estos requisitos con las características de calidad o características técnicas que son los elementos del programa de maestría que influyen en el cumplimiento. Por lo tanto, en esta matriz se establecerán las metas para las características del perfil y las estrategias de desarrollo que señalaran los demás pasos para el cumplimiento, su estructura esta conformada por varias secciones que se muestran en la Figura 4.4.



Figura 4.4: Estructura de la casa de la calidad

Fase 1.

La fase de especificaciones de planeación está compuesta por 7 etapas con objetivos específicos hacia nuestro problema de investigación, diseñadas en base a la metodología QFD quien permite planificar el trabajo y orientar la mejora hacia las necesidades de los clientes (Ver Figura 4.5).

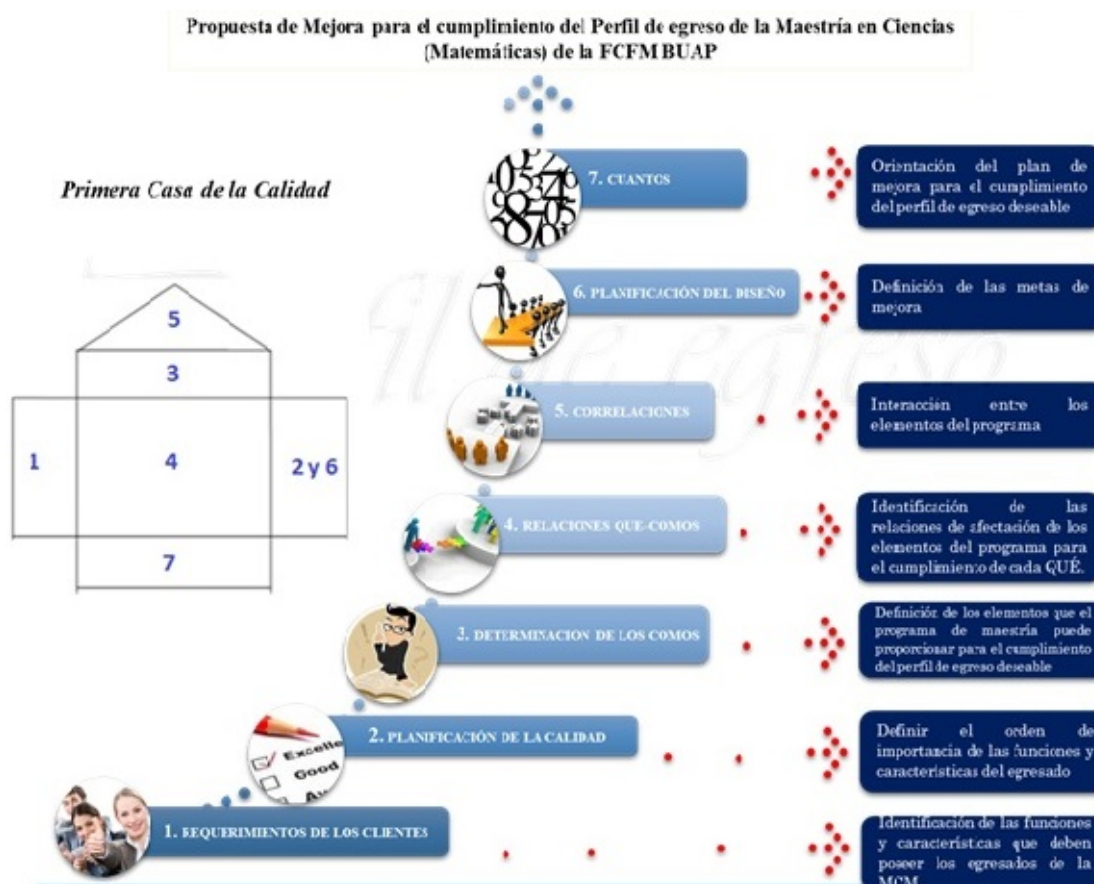


Figura 4.5: Etapas de la fase 1

El resto de las fases se despliegan de manera similar a la casa de la calidad con objetivos específicos, y podemos definir las en 5 etapas (Figura 4.6), sus resultados se concentran en una matriz como se muestra en la Figura 4.7.

Fase 2.

Diseño del servicio para el cumplimiento del perfil de egreso. Para el despliegue de esta fase, en la sección 1 se colocan los requerimientos técnicos claves encontrados en la fase 1 y se trasladan los valores meta y grado de importancia calculados para cada uno de los requerimientos técnicos.

A partir de las características técnicas, éstas se desagregan en partes de mayor a menor detalle, especificando sus características, se agrupan utilizando diagramas de árbol o de afinidad, el resto del despliegue se sigue como se expuso para la casa de la calidad. Los resultados serán las partes características del programa de maestría más importantes y las que presentarán mayor

influencia en el cumplimiento del perfil.

Fase 3.

Aquí de nuevo los QUÉS son los CÓMOS más valorados trasladados de la fase 2. La matriz para esta fase se despliega similarmente a la fase anterior con el objetivo de definir cómo se lograrán las partes características especificadas, es decir, determinar los procesos involucrados en el funcionamiento. Para este objetivo, es útil crear un diagrama de flujo del proceso detallado, incluyendo el equipo necesario, personal, etc.

Fase 4.

El objetivo de esta fase es determinar el grado de control, es decir, decidir cómo se mantendrán consistentes las características clave del proceso. Con ésto se lograrán los planes para controlar las características del proceso, como son requerimientos de planeación, métodos de control e inspección necesarios, además de las herramientas de prueba o medición y personas responsables.

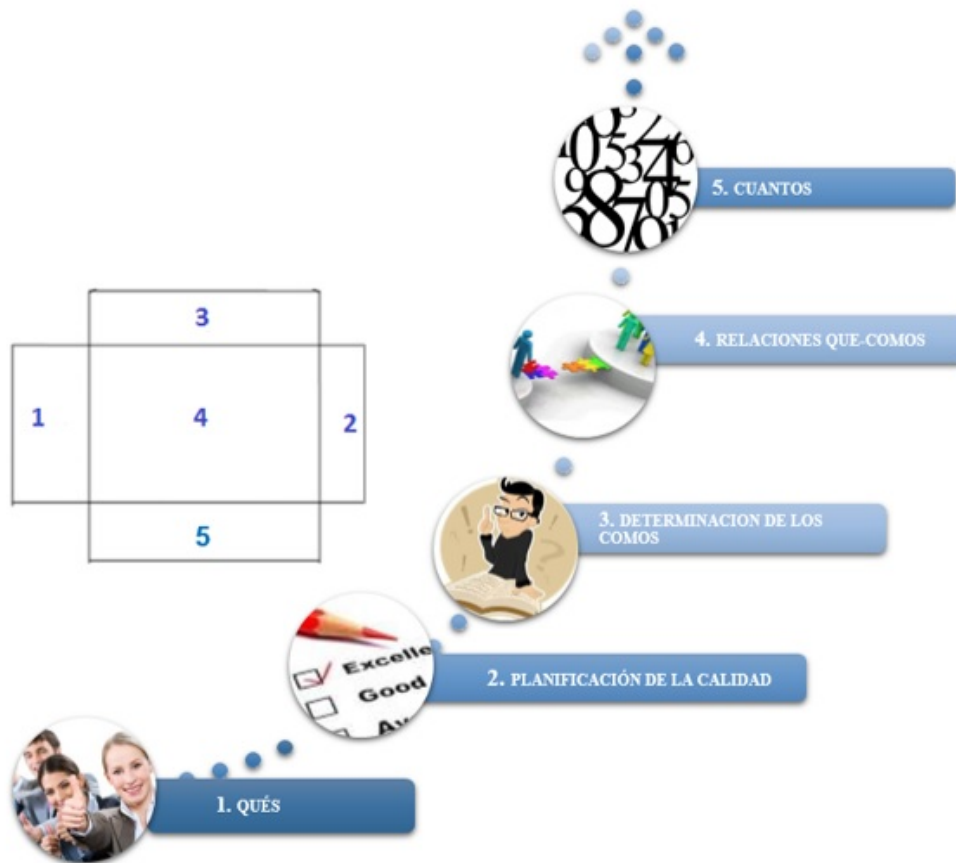


Figura 4.6: Etapas de las fases 2, 3 y 4

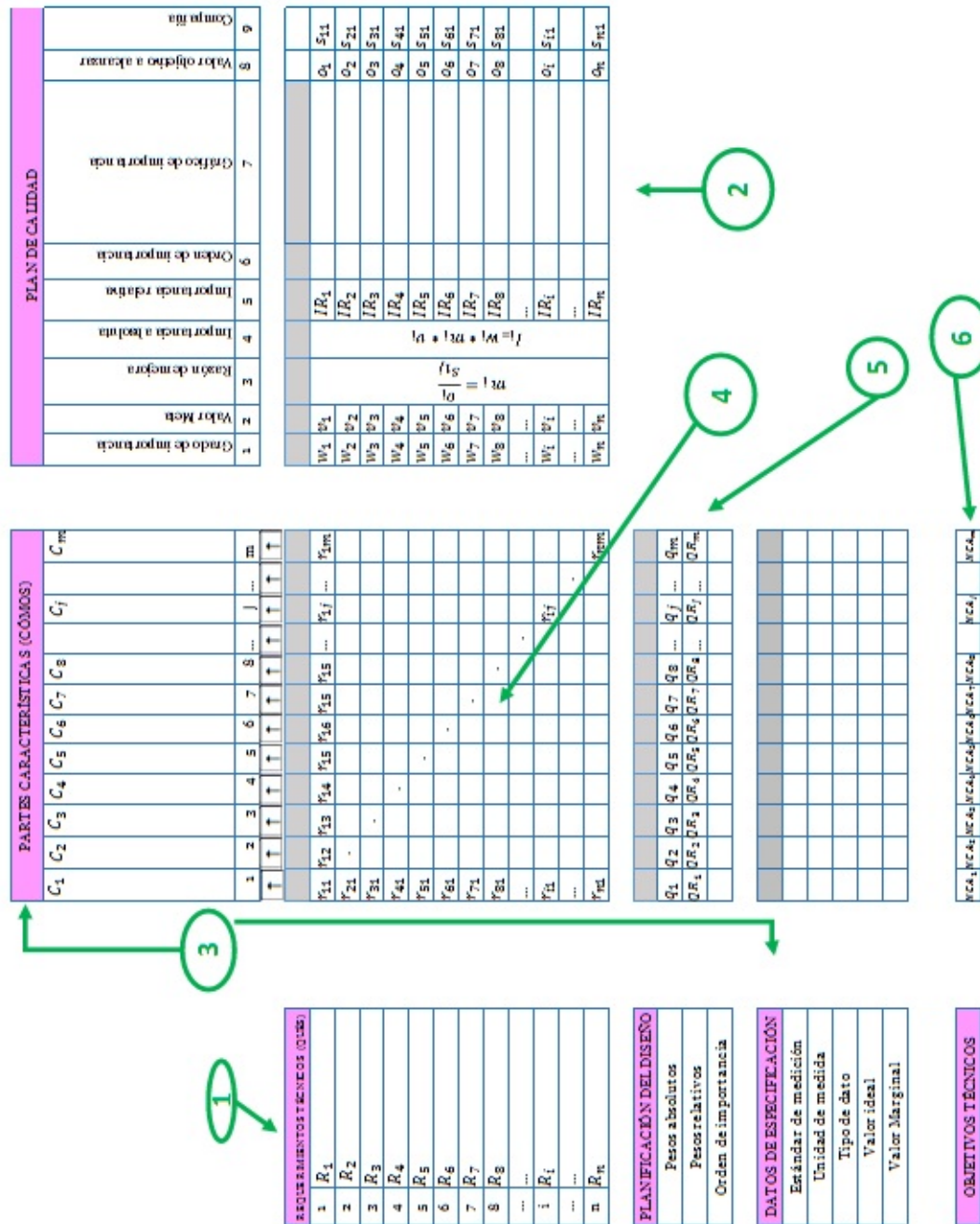


Figura 4.7: Matriz de calidad fases 2, 3 y 4

Después de analizar la metodología, se identifican los datos de entrada de la casa de la calidad que pueden ser denotados como se muestra en la tabla 4.1 los cuales se obtendrán en las secciones correspondientes de este capítulo.

Etapa	Descripción	Descripción cuantitativa
1	Determinar los QUÉs, es decir, los requerimientos de los clientes para el producto o servicio concerniente	Sean n las necesidades de los clientes identificadas, denotadas por R_1, R_2, \dots, R_n
2	Las necesidades de los clientes son diferentes en grados de importancia. La compañía enfoca sus esfuerzos a las más importantes	Las puntuaciones de importancias relativas dadas por los clientes son: $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$
	Punto de venta	$V = (v_1, v_2, \dots, v_n), v_i \in \{1, 1.2, 1.5\}$
	Benchmarking	Se identifican $p - 1$ competidores denotados por S_2, S_3, \dots, S_p la compañía en estudio se denota por S_1 . Las puntuaciones del funcionamiento o cumplimiento s_{ij} de las p compañías sobre los R_i se denotan por: $S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1p} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n1} & s_{n2} & \cdots & s_{np} \end{bmatrix}$
	Objetivo de mejora que queremos alcanzar.	Este es proporcionado por la empresa: $O = (o_1, o_2, \dots, o_n)$
3	Requerimientos técnicos (CÓMOS), se relacionan con los requerimientos de los clientes (QUÉS) y constituyen una forma de medirlos.	Hay m requerimientos técnicos generados por las n necesidades, se denotan por: C_1, C_2, \dots, C_m
4	Matriz de relaciones, designada por el equipo técnico	$S = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$ Donde r_{ij} es un número que indica la relación entre R_i y C_j
5	Correlación	
	Dirección de mejora	
6	Benchmarking técnico. Comparación técnica que es la evaluación del desarrollo del producto de la compañía y la de sus principales competidores en cada COMO	$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1m} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{p1} & y_{p2} & \cdots & y_{pm} \end{bmatrix}$

Tabla 4.1: Datos de entrada de la casa de la calidad

4.2. REQUERIMIENTOS DE LOS CLIENTES

4.2.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS CLIENTES

Antes de iniciar con el despliegue lo primero que se necesita es identificar quiénes son los clientes del producto en estudio y a los cuales se les orientará la satisfacción, posteriormente se sigue con la obtención de sus necesidades.

Es importante identificar y definir a los clientes en el ámbito educativo y para el producto “egresados” foco de esta investigación, así también como a su competencia directa.

El proceso de la mejora parte de la definición de los clientes, quienes exponen su opinión acerca de una base de necesidades, que se generaran de un análisis inicial, que identifica las características deseables, comparándose con programas similares líderes a nivel nacional junto con la opinión de profesores participantes en el programa.

A partir de estas pautas se diseñan las herramientas necesarias para escuchar la voz de los clientes, traducirla en necesidades, para luego priorizarlas y organizarlas en un esquema de demanda de cualidades que respondan a las demandas de los clientes.

En un perfil de egreso se expresan las características que un egresado debe poseer para desarrollarse satisfactoriamente en el ámbito profesional o en estudios posteriores, para lograr esta meta, dichas características deben ser diseñadas en base a los clientes, quienes son los que demandan cierta preparación en los egresados, las cuales la institución debe comprometerse a proporcionar en gran medida.

Se define a los clientes como aquellos a los que les sirve o beneficia los resultados o productos generados por las actividades que se realicen en la institución, y en este caso en cuanto a la formación que adquieran los egresados [30], clasificándolos como clientes internos y externos como se muestra en la Tabla 4.2:

CLIENTES	
INTERNOS	EXTERNOS
Alumnos	Escuelas subsecuentes
Maestros	Empresas industriales, de comercio o de servicios
Directivos	Centros de investigación
Institución	Egresados
	Gobierno
	Sociedad

Tabla 4.2: Primera clasificación de clientes

Los clientes de acuerdo a [62] pueden ser clasificados como se expone en la Tabla 4.3:

Tipo de Clientes	Descripción
Internos	Aquellos que se encuentran dentro de la organización, los cuales reciben de una u otra forma un producto o servicio.
Intermedios	Normalmente son aquellos distribuidores o mediadores; conocen las necesidades de distribución.
Externos	Son los clientes últimos; usuarios del producto o servicio.

Tabla 4.3: Segunda clasificación de clientes

Es importante identificar a los clientes del producto en estudio para a partir de ahí, iniciar

con la metodología. Para cada cliente elegido, se debe realiza un despliegue debido a que la orientación de cada requerimiento es distinto según el grupo de clientes al que se refiera, esto también ayudará a tener una visión más amplia del producto.

En base a las referencias expuestas, se identifica a los clientes como se muestra en la Tabla 4.4.

Tipo de Clientes	Descripción
Internos	Alumnos, institución
Intermedios	Profesores, Directivos, Egresados
Externos	Escuelas subsecuentes, Empresas industriales, de comercio, de servicios, Centros de investigación

Tabla 4.4: Clasificación final de clientes

A partir de aquí, una caracterización de los clientes del producto “egresados” es la que se muestra a continuación:

Alumnos

Los alumnos son el cliente central del servicio educativo, hasta el primer semestre del 2014 la maestría cuenta con 43 alumnos en activo en las diferentes líneas de investigación, que participan de tiempo completo en sus labores académicas.

Profesores

La planta de profesores de la MCM de la FCFM-BUAP está compuesta por un núcleo base con grado de doctorado, además de pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores (S.N.I.) en diversos niveles y Profesores de tiempo parcial que colaboran en las labores de docencia formando un total de 35.

Directivos

De las autoridades por las que se rige el programa, consideramos como clientes a la dirección de la FCFM, junto con la secretaría de investigación y estudios de posgrado y la coordinación de posgrados en matemáticas.

Institución

Como cliente, la institución, en particular la FCFM contempla lineamientos de funcionamiento y evaluación en sus diversas áreas:

- Como entidad posee una Misión y Visión a la cual enfoca sus esfuerzos.
- Cuenta con reglamentos institucionales: Reglamento general de estudios de Posgrado de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Modelo Universitario Minerva y el Marco de referencia de PNPC de CONACyT.

Escuelas subsecuentes.

Las escuelas subsecuentes que se consideran como clientes, son aquellas en las que un egresado de ésta maestría pueda continuar con sus estudios superiores, ya sea a través de un doctorado, especialización o formación afín con la línea de estudio. Para este trabajo, consideraremos a las

instituciones donde se ofrezca un doctorado relacionado con el área de las matemáticas.

Empresas industriales, de comercio, de servicios.

En la parte de la contratación del egresado en la industria, ésta busca personal capacitado para cubrir puestos con labores específicas que le evite mayor inversión en capacitación, por lo tanto, es de gran valor que los egresados posean características particulares que satisfagan las demandas del mercado laboral.

Para el caso de estudio, se estudian las necesidades de la institución a través de sus principales representantes, por lo que los clientes de estudio son en primer lugar los *profesores y directivos* por ser los que en base a su experiencia y conocimientos conocen las necesidades del ámbito que el egresado debe satisfacer. Por otro lado también se considera realizar un estudio en base a las necesidades de los clientes “*estudiantes*”, considerando que sus necesidades y expectativas pueden ser distintas y siendo ellos los que eligen inicialmente al programa de maestría, es importante tomar en cuenta su punto de vista.

Además, para futuros análisis, definimos a la competencia como el grupo de referencia de las Maestrías que ha sido escogido por considerarse de fuerte influencia a nivel nacional, estas son:

- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
- Universidad Veracruzana (UV)
- Centro de Investigación de Estudios Avanzados (CINVESTAV)
- Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT)
- Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)

4.2.2. OBTENCIÓN DE LA VOC Y LOS QUÉS

El punto de arranque del proceso y para la construcción de la casa de la calidad es la determinación y traducción de los requerimientos de los clientes, que forman los requisitos de calidad, los llamados QUÉS, éstos se colocan en la columna marcada con un 1 en la figura 4.4 para ello deben realizarse dos actividades [28] :

1. Obtener la voz del cliente (VOC: Voice of Customer).
2. Analizar la VOC y extraer los posibles QUÉS.

La Voz del Cliente es un término usado en los negocios para describir el proceso de captura de requerimientos de los clientes. La voz del cliente es una técnica de desarrollo de productos que produce un conjunto detallado de los deseos y necesidades de los clientes organizados en una estructura jerárquica, que posteriormente se dará prioridad en términos de la importancia relativa y de la satisfacción con las alternativas actuales [45]. Es necesario determinar si las características cualitativas sobre las que se trabajará en las siguientes etapas son las que realmente satisfacen a los clientes, pues es de vital importancia para poder tener éxito en las siguientes fases, por lo que se requiere contar con una metodología clara para la correcta definición de los requerimientos.

La VOC proporciona beneficios importantes que favorecen el desarrollo del producto, éstos son:

- una comprensión detallada de las necesidades del cliente
- un lenguaje común para el equipo
- insumo clave para el establecimiento de las especificaciones de diseño apropiados para el nuevo producto o servicio
- un trampolín de gran utilidad para la innovación de productos

Los requerimientos de los clientes, usualmente son indicados vagamente como: que sea bonito, fácil de usar, cómodo, lujoso, seguro, etc., dichas características expresan para el cliente algo muy importante, sin embargo, los requerimientos así expresados, desafían la cuantificación, lo que dificulta a la empresa actuar sobre el problema.

En esta sección se registran las necesidades identificadas de los clientes, los QUÉs.

La lista de necesidades de los clientes debe analizarse detalladamente para que cada una cumpla con los siguientes requisitos:

- Expresa una idea única.
- Está redactada en sentido afirmativo.
- No incluye números o valores.
- No incluye palabras que se refieran a: características de Calidad, funciones, precio o fiabilidad.
- Esta expresado de forma clara y comprensible para el equipo de trabajo.

Esta primera sección del proceso es la más crítica y casi siempre es la más difícil de llevar a cabo, pues es necesario que la lista definitiva exprese lo más objetivamente posible lo que en realidad quiere el cliente, y no lo que nosotros “pensamos” que el cliente espera.

La Voz del Cliente puede ser obtenida mediante diversas vías, tales como encuestas, resultados de quejas de los clientes, investigación de mercado, entrevistas individuales, datos de garantía, la observación directa de los clientes, Método Delphi, tablas de caracterización de la voz de los clientes, Grupo focal, Técnica de grupo nominal, etc. El estudio debe abarcar tanto a la empresa que lo realiza como a los competidores más fuertes.

Gaskin, Griffin, Hauser, Katz y Klein [45] concluyen en un estudio que con un número oscilante entre 10 y 20 entrevistas se puede obtener el 80 % de los requerimientos de los clientes; en otro estudio de dichos autores [46] se concluye que con un total de 30 entrevistas se obtuvo el 90 % de los requerimientos de los clientes.

Llevando este proceso al problema de estudio, el objetivo en este paso es estudiar las necesidades de los clientes, específicamente en cuanto a las funciones y tareas relacionadas con la formación del egresado, así como sus características específicas, por lo que el estudio abarca tanto a la institución en estudio como a sus competidores más fuertes.

Cuando se pide información a los clientes es recomendable en la medida que se pueda, pedir ambos tipos de información, cualitativa y cuantitativa para poder valorar mejor las respuestas.

Notemos que la información generada para este problema será inicialmente de tipo cualitativa, este tipo de información es subjetiva, no puede medirse con la exactitud como sucede con datos cuantitativos. Puede ser obtenida a través de la solicitud explícita o puede venir sin pedirla a través de opiniones o preferencias por medio de preguntas como ¿qué te gusta?, ¿qué opción prefieres?, ¿Qué opción te interesa menos?, que son el tipo de preguntas que se hace cuando se pide información cualitativa.

Por otro lado, como se ha visto, uno de los requisitos esenciales en QFD antes de implementar el despliegue, es identificar las necesidades de los clientes, su jerarquía y prioridades [46], por lo que una vez que fueron identificadas las necesidades, se deben ahora elegir las características esenciales para enfocar los procesos de mejora, esto es, saber qué es lo que el cliente realmente quiere y qué tan esencial es para él, es decir, qué características tienen más influencia en la satisfacción de los clientes y cuales pasan desapercibidas.

Una vez que se obtiene la voz de los clientes, se debe proceder a analizar y sintetizar para poder integrarlas a la Casa de la Calidad como las características que debe poseer el egresado de esta maestría, llamadas en QFD los requerimientos de los clientes (R_i). Esta actividad puede llevarse a cabo mediante distintas técnicas que pueden ser: los diagramas de afinidad, el análisis de conglomerado jerárquico, el análisis de Kano y el análisis de factores, que por la disposición de los clientes y la necesidad del problema, se aplicaron los diagramas de afinidad que nos permiten definir grupos de requisitos, de acuerdo con el tipo de función que sirven o para el tipo de tareas que debe realizar un egresado a partir del grupo inicial de requisitos, estas agrupaciones se forman de acuerdo a las opiniones de los miembros del equipo técnico.

Este proceso de caracterización es sugerido para poder manejar mejor las necesidades de los clientes, que deben estar estructuradas preferentemente en jerarquías, mediante las llamadas necesidades primarias, también conocidas como estratégicas las cuales fijan el rumbo estratégico del producto, necesidades secundarias o tácticas las cuales son elaboradas a partir de las necesidades primarias que son las que indican más específicamente qué es lo que se debe hacer para cumplir las necesidades primarias, generalmente, también se generan necesidades terciarias que se desprenden de las secundarias y son las que indican específicamente cómo el equipo de diseño debe satisfacer las necesidades secundarias [46].

Al final de la aplicación y análisis de las técnicas, se obtendrán n requerimientos de los clientes (R_i) que serán introducidos en la columna de los QUÉS en la casa de la calidad.

4.2.3. DESPLIEGUE DE LA VOZ DE LOS CLIENTES

Siguiendo con la teoría, se trabajaron los requerimientos por separado, según los resultados que se obtengan, y según los grupos de clientes. Para orientar la mejora según las necesidades y expectativas particulares de cada grupo.

Se estudiaron técnicas como el Método Delphi, técnica de grupo nominal, lluvia de ideas, grupo focal, diseño de encuestas para la recolección de datos, eligiendo las siguientes:

Para clientes “profesores” una adaptación del método de Grupo Focal con el objetivo principal de darle respuesta a la pregunta ¿Qué características debe tener un egresado de la MCM? El universo de estudio es el profesorado de la MCM de la FCFM ya caracterizados, y dado que

están divididos en cuerpos académicos donde en cada uno de ellos cultivan distintas líneas de investigación, se decide hacer un muestreo estratificado. Tomando en cuenta estudios realizados por [90] y [60], en los que se menciona que para un grupo focal, es recomendable que la cantidad de integrantes esté entre 4 y 12, debido a que un número mayor de personas será difícil de controlar en un grupo focal y un número menor de 4 no sería representativo, para nuestro estudio elegimos el tamaño de la muestra igual a 8, considerando que con esta cantidad también se cubre un porcentaje aceptable de requerimientos. Una vez que se conocen los estratos (cuerpos académicos) es preciso seleccionar una muestra de elementos para cada uno de ellos. Para estos efectos se ejecuta una selección por conveniencia en cada estrato, basado en la experiencia de los profesores en el posgrado.

Para los estudiantes, se propuso el diseño de una encuesta de tipo exploratoria de preguntas abiertas. Para tal hecho, se estudió la caracterización de Garvin [44] en el que se define una clasificación de los elementos que debe tener un producto o servicio de calidad de la siguiente manera:

1. DESEMPEÑO: es la razón principal por la cual se elegiría a un egresado de esta maestría.
2. CAPACIDAD: es la capacidad que posee el egresado.
3. CALIDAD PERCIBIDA: como se percibe al egresado.
4. CONVENIENCIA: Incluye la facilidad de colaboración y trabajo en equipo con el egresado.
5. APARIENCIA: apariencia física y mental.
6. CONFIABILIDAD Y DURABILIDAD: Garantía de una buena formación integral.
7. SEGURIDAD Y CONFORMIDAD: Está capacitado para lo que fue preparado: ámbito laboral, investigación y docencia.
8. INSTALACIÓN Y DISTRIBUCIÓN: Vinculación y capacidades de adaptación y trabajo con grupos multidisciplinarios.
9. FACILIDAD DE AUTOCAPACITACIÓN: Que de ser necesario, el egresado pueda adquirir nuevos conocimientos o actualizar los que ya posee.

Se diseñó un muestreo por conveniencia de los investigadores debido a que la población está comprendida por un número muy pequeño de elementos aunado con la apatía y el difícil acceso a ellos, logrando un total de 7 encuestados.

Para cada una de estas herramientas se diseñó el material necesario (apéndice B) y para complementar la información, se realizó una investigación bibliográfica de los reglamentos de la institución, los perfiles de egreso de las maestrías similares mencionadas anteriormente y el perfil de egreso actual, además de los perfiles de ingreso de algunos doctorados en el área de ciencias exactas.

Con la aplicación de estas herramientas junto con una investigación adicional, se obtuvo una primera lista de requerimientos de profesores y estudiantes.

De esta manera ahora el objetivo fue categorizar las características preferenciales de los clientes, con el fin de satisfacerlos y poder otorgar atributos al perfil que le agreguen valor, con lo

cual el cliente estaría dispuesto a dar preferencia a este programa frente a los demás.

Para la caracterización, tratando de superar la disponibilidad de los involucrados, elegimos realizar diagramas de afinidad. En los que se definen como características primarias “Conocimientos”, “Habilidades” y “Actitudes y valores” como los establece el MUM y de ahí se desprende las características secundarias y terciarias según la afinidad que consideramos poseen los requerimientos que se agrupan.

Realizando un análisis interpretativo, podemos decir que las diferencias entre ambos grupos de clientes (estudiantes y profesores) respecto a lo que debe ser la formación del maestro en ciencias con especialidad en matemáticas no son ajenas, sino que puede notarse que sólo tuvieron una visión parcial de la profesión, por lo que ambas opiniones son complementarias entre sí, que junto con la aportación de la revisión bibliográfica se obtiene la formación integral que debe ser adquirida generando un mismo y único perfil de egreso que contemple las expectativas de todos al que llamamos el **perfil de egreso deseable**.

Para generar este perfil de egreso, se identificaron las áreas generales en las cuales debe desarrollarse el egresado, las tareas, actividades, acciones, etc., que deberán realizar en dichas áreas y finalmente se agrupan y redefinen las características que debe poseer el egresado para cumplir tales funciones generando una sola lista que se reestructuró para hacerse más entendible, analizando cada característica y decidiendo su incorporación o no de acuerdo a la opinión de los expertos, reflejando estos resultados en un único diagrama de afinidad (Figura 4.8).

Los resultados de éste análisis son los siguientes:

1. Especificación de las áreas generales en las cuales debe desarrollarse el egresado:
 - a) Investigación.
 - b) Docencia.
 - c) Aplicación.
 - d) Continuación de estudios.
2. Descripción de las tareas, actividades, acciones, etc., que deberá realizar en dichas áreas.
 - a) Investigación.
 - Realizar investigación teórica en el área de especialización.
 - Realizar investigación aplicada en el área de especialización.
 - b) Docencia.
 - Transmitir conocimientos matemáticos y sus posibles aplicaciones.
 - Desarrollar trabajo curricular.
 - c) Aplicación
 - Aplicación de la matemática en problemas reales.
 - d) Continuación de estudios.
 - Doctorado.
 - Post-Doctorado.

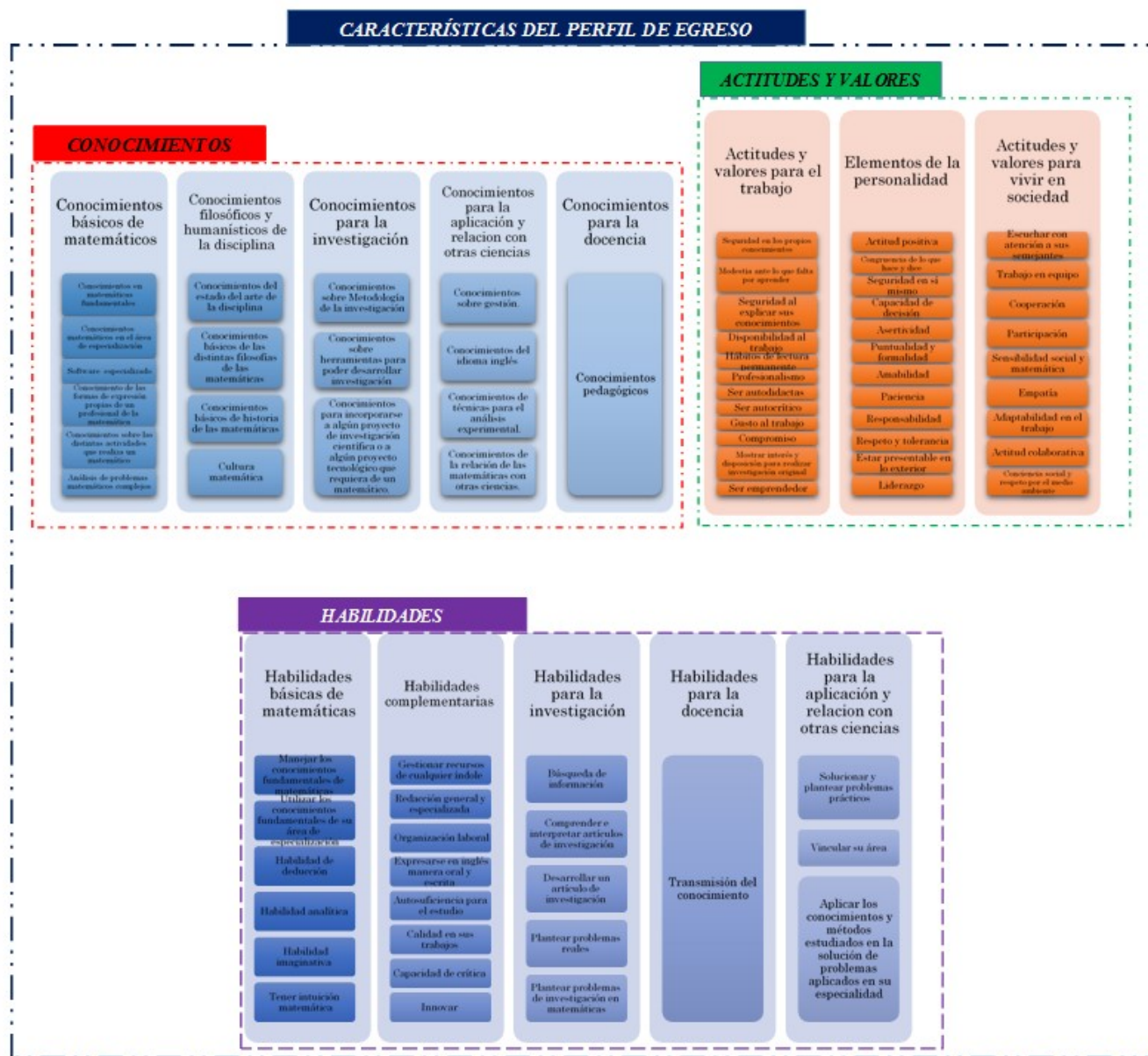


Figura 4.8: Diagrama de afinidad de los requerimientos.

3. Delimitación de los Conocimientos, Habilidades, valores y actitudes necesarias para su buen desempeño como profesional.

De esta manera, se tomaron los resultados obtenidos junto con el perfil actual y se desagregaron las características como se muestra en la Tabla 4.5 en base a la voz de los clientes.

Atendiendo a las opiniones de los expertos, se desplegó QFD a los requerimientos en la clasificación de “Conocimientos” y “Habilidades”, dejando a un lado las “actitudes y valores” considerando que la institución no puede influir significativamente en la adquisición de estas últimas características.

Así, los requisitos de calidad y variables, serán las siguientes:

CONOCIMIENTOS

R_1 = Conocimiento detallado en el campo de su especialización.

R_2 = Conocimiento detallado en las áreas básicas.

R_3 = Conocimientos para incorporarse a algún proyecto de investigación científica o a algún proyecto tecnológico que requiera de un matemático.

R_4 = Conocimientos pedagógicos.

R_5 = Conocimientos sobre las distintas actividades que realiza un matemático.

R_6 = Conocimientos sobre Metodología de la investigación.

R_7 = Conocimiento de Software especializado.

HABILIDADES

R_8 = Capacidad de crítica.

R_9 = Capacidad en las formas de expresión propias de un profesional de la matemática.

R_{10} = Capacidad para desarrollar un artículo de investigación.

R_{11} = Expresarse correctamente en español de manera oral y escrita.

R_{12} = Expresarse correctamente en inglés de manera oral y escrita.

R_{13} = Habilidad de deducción.

R_{14} = Habilidad imaginativa.

R_{15} = Plantear problemas de investigación en matemáticas.

R_{16} = Plantear problemas de aplicación.

R_{17} = Redacción general y especializada.

R_{18} = Revisión de material especializado.

R_{19} = Solucionar y plantear problemas aplicados de diversas áreas distintas a la matemática.

R_{20} = Transmisión del conocimiento.

R_{21} = Utilizar los conocimientos fundamentales de su área de especialización.

R_{22} = Utilizar los conocimientos y métodos estudiados en la solución de problemas aplicados en su especialidad.

4.3. PLANIFICACIÓN DE LA CALIDAD

En la etapa de la planeación de la calidad, se realizan diversas actividades con el objetivo de plantear los objetivos a seguir en el diseño del producto, se realiza con información subjetiva según la opinión de los clientes por lo que se vuelve delicada y es importante analizar diversas técnicas para elegir la que mejor se adapte al problema.

CARACTERÍSTICAS PRIMARIAS	CARACTERÍSTICAS SECUNDARIAS
Conocimiento detallado en las áreas básicas.	
Conocimiento detallado en el campo de su especialización.	
Capacidad de aplicar métodos matemáticos en el análisis y la resolución de problemas matemáticos complejos.	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar los conocimientos fundamentales de su área de especialización. - Capacidad para desarrollar un artículo de investigación.
Formación y conocimientos necesarios para ingresar a la planta docente de nivel superior de cualquier institución educativa.	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimientos pedagógicos. - Transmisión del conocimiento. - Conocimiento detallado en las áreas básicas.
Capacidad y conocimientos suficientes para incorporarse a algún proyecto de investigación científica o a algún proyecto tecnológico que requiera de un matemático.	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimientos matemáticos en el área de especialización. - Conocimientos para incorporarse a algún proyecto de investigación científica o a algún proyecto tecnológico que requiera de un matemático. - Solucionar y plantear problemas aplicados de diversas áreas distintas a la matemática. - Utilizar los conocimientos y métodos estudiados en la solución de problemas aplicados en su especialidad. - Habilidad imaginativa. - Habilidad de deducción. - Plantear problemas de investigación en matemáticas. - Plantear problemas reales. - Revisión de material especializado.
Capacidad y habilidad para expresar sus resultados de investigación de manera oral y escrita tanto en español como en inglés.	<ul style="list-style-type: none"> - Expresarse correctamente en inglés manera oral y escrita. - Expresarse correctamente en español manera oral y escrita. - Redacción general y especializada. - Desarrollar un artículo de investigación.
Conducirse con responsabilidad y ética profesional, manifestando conciencia social de solidaridad, justicia, y respeto por el medio ambiente.	
Ser honesto y tener rigor científico, capaz de socializar el conocimiento adquirido, ser responsable en el desarrollo, usos y aplicaciones del conocimiento en beneficio de la sociedad y del medio ambiente.	
Conocimientos sobre Software especializado.	
Capacidad en las formas de expresión propias de un profesional de la matemática.	
Conocimientos sobre las distintas actividades que realiza un matemático.	
Conocimientos sobre Metodología de la investigación.	
Capacidad de crítica.	
Revisión de material especializado.	

Tabla 4.5: Desagregación de características del perfil de egreso

A cada característica de la lista de las necesidades se les debe asignar un coeficiente de peso que represente el grado de importancia en el objetivo de la investigación según la opinión de los clientes y a través del enfoque de la empresa al que se le llama punto de venta.

En esta sección se incluye también la evaluación del producto o servicio que ofrece la compe-

tencia, con el propósito de compararlo con el de la empresa, buscando superarlas para ser líder frente a las demás.

4.3.1. IMPORTANCIA PARA EL CLIENTE

Los clientes quieren que sus necesidades se satisfagan, pero algunas de ellas son más prioritarias que otras por lo que es importante conocer la importancia que los clientes le dan a cada una de ellas, esto ayudará al equipo técnico a tomar las decisiones adecuadas para orientar sus esfuerzos hacia las más importantes.

La toma de decisiones es un proceso natural en nuestras vidas, sin embargo, cuando se involucran diversos criterios para elegir de entre un conjunto de alternativas, la decisión se torna difícil, esto sucede fuertemente en las empresas y organizaciones y cuyas decisiones afectan de forma importante. Es por ello que el análisis de decisión multicriterio se presenta como una valiosa herramienta para ayudar al decisor durante este proceso de toma de decisiones y surgen de él diversos métodos que permiten abordar de manera sistemática y ordenada un problema en el que esté involucrada una gran subjetividad, éstos ayudan a que todas las partes afectadas por el proceso de decisión participen en el mismo, pues suministran una gran cantidad de información, facilitan la búsqueda de consenso, permiten que el decisor aprenda sobre el propio problema de decisión y, en definitiva, ayudan a racionalizar un proceso complejo.

Para obtener la priorización de los *Rs*, debe tomarse nuevamente una muestra de los clientes, que en general es la misma involucrada en la etapa anterior, para realizar esta asignación existe una gran diversidad de técnicas estadísticas y de aplicaciones dentro de QFD, entre las más usadas están el Proceso Analítico Jerárquico [56] [89] [24], las técnicas derivadas del modelo de Kano [61] [79] [22], escalas de asignación directa [39], el método Thurstone y sus variantes [40].

Los beneficios más importantes de cada una de las técnicas son:

1. AHP

- a) Muestra una estructura ordenada con un fuerte soporte matemático que puede dar robustez a los resultados además de una escala fundamentada en el estudio de la mente humana en la toma de decisiones.
- b) AHP es uno de los métodos más organizados y elegantes para la toma de decisiones y priorización.
- c) Permite evaluar el grado de consistencia del decisor a la hora de introducir los juicios en las matrices recíprocas de comparaciones pareadas.
- d) Se puede utilizar AHP para la priorización de los requerimientos y terminar el proceso de ordenamiento de las características técnicas con esta misma técnica.

2. KANO. Genera además de una valoración de importancia, una clasificación de los *Rs* lo que agiliza este proceso en QFD.

3. THURSTONE. Se basa en el ordenamiento de las alternativas para los clientes sin tomar proporciones subjetivas entre ella lo que en la mente humana se puede dar de diversas maneras de persona a persona además de ser más efectiva en la práctica.

Actualmente la bibliografía sugiere utilizar más fuertemente a AHP por su fundamentación matemática, [39] [89], por otro lado Fiorenzo Franceschini y Luca Mastrogiacomo profesores del Politécnico de Turín quienes han trabajado por largo tiempo la metodología QFD en el Departamento de Ingeniería y Gestión, proponen utilizar una variante de la escala de Thurstone, al considerar mediante la experiencia y arduos estudios que es la que mejor puede representar la idea subjetiva de los encuestados en cuanto a la prioridad de los R_s .

En base a lo anterior, se propone aplicar las dos técnicas y comparar los resultados para tener mejor certeza, para ello, se realizó una encuesta (apéndice C) a una muestra de clientes en el que se les pidió dieran una valoración de importancia a cada característica en una escala de 1 a 9, donde 1 es poco importante y 9 muy importante, escala que es útil para ambos métodos. A partir de los datos obtenidos, debido a la baja disposición de los clientes, se realizó una simulación para tener una muestra de tamaño 100 que nos permitió llegar a resultados más confiables.

4.3.1.1. PROCESAMIENTO AHP

Siguiendo las etapas del método, planteamos lo siguiente:

Modelización

El objetivo general de esta fase es determinar una valoración de importancia sobre la base de diferentes requerimientos ya identificados, notemos aquí que se aplica AHP sólo a los criterios que es lo que nos interesa, de ser necesario podemos insertar las alternativas posteriormente que serán los COMOS. La jerarquía generada se muestra en la figura 4.9.

En donde

$b = \text{Perfil de egreso}$

$L_1 = \{b\}$

$L_2 = \{\text{Conocimientos, Habilidades}\}$

$L_3 = \{R_i, 1 \leq i \leq 22\}$

Valoración

Una vez terminado el modelo, se construye una matriz de comparación pareada para cada uno de los decisores “clientes” de manera individual y por cada nivel de la jerarquía.

Para generar la valoración de los criterios por cada nivel, se decidió para el nivel L_2 darle el mismo peso a los criterios, al ser parte fundamental del perfil de egreso.

Para el último nivel L_3 la propuesta de asignación de preferencias está basada en la encuesta realizada que valora cada criterio en una escala del 1 al 9, acordando con la escala fundamental de Saaty.

Para la construcción de las matrices pareadas se propone la variante de que para fijar el valor correspondiente a la comparación por pares, se designa el cociente de importancia entre ambos, siguiendo con el fundamento de AHP. Además se hace uso automático de la propiedad de reciprocidad y la construimos perfectamente consistente.



Figura 4.9: Jerarquía del problema.

En la toma de decisiones en grupo, la cual se define como el proceso que trata de seleccionar la mejor alternativa A_i , $i = 1, 2, \dots, n$ con $n \geq 2$ para un conjunto de decisores o expertos E_k , $k = 1, 2, \dots, r$ con $r \geq 2$ que tienen en cuenta unos criterios C_j , $j = 1, 2, \dots, m$ con $m \geq 2$ sobre los que se evalúan las distintas alternativas; consideramos que n , r y m son finitos [23] [50] [53] [57] [83] se distinguen 2 clasificaciones [53] una basada en la importancia de los decisores por *homogéneos* o *heterogéneos*, en donde homogéneo indica igualdad de prioridad en los decisores y heterogéneo en caso contrario, y la otra clasificación, es por el momento en el que se realiza la agregación de las utilidades/preferencias de los decisores, esta clasificación se divide en *primaria* si la agregación se hace al momento de emitir los juicios creando un solo problema de decisión, o *secundaria* si la agregación se hace sobre la decisión final de cada uno de los decisores.

En este caso se trabaja en un problema homogéneo debido a que se establece a priori que la importancia de los decisores es la misma en el proceso de decisión, por lo que solo hace falta diferenciar el momento de la agregación de preferencias que para ahorrar en tiempo y esfuerzo, se elige el proceso primario el cual se hace sobre las matrices resultantes de los expertos a través de la media geométrica la cual permite obtener una sola matriz de decisión que cumpla las propiedades de AHP.

Así, se genera una sola matriz para cada criterio en el nivel 2 (Tabla 4.6 y 4.7)

Priorización y síntesis

Siguiendo con el algoritmo de AHP para determinar los pesos de cada requerimiento, se

	R_0	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}	R_{16}	R_{17}	R_{18}	R_{19}	R_{20}	R_{21}	R_{22}
R_0	1	0.9691	0.9472	0.9019	1.0355	0.9540	0.8861	0.9582	0.9691	0.9472	0.9019	1.0355	0.9540	0.8861	0.9582
R_9	1.0319	1	0.9775	0.9307	1.0686	0.9845	0.9144	0.9888	1.0000	0.9775	0.9307	1.0686	0.9845	0.9144	0.9888
R_{10}	1.0557	1.0230	1	0.9521	1.0932	1.0072	0.9354	1.0116	1.0230	1.0000	0.9521	1.0932	1.0072	0.9354	1.0116
R_{11}	1.1088	1.0745	1.0503	1	1.1482	1.0578	0.9825	1.0625	1.0745	1.0503	1.0000	1.1482	1.0578	0.9825	1.0625
R_{12}	0.9657	0.9358	0.9148	0.8709	1	0.9213	0.8557	0.9254	0.9358	0.9148	0.8709	1.0000	0.9213	0.8557	0.9254
R_{13}	1.0482	1.0157	0.9929	0.9453	1.0854	1	0.9288	1.0044	1.0157	0.9929	0.9453	1.0854	1.0000	0.9288	1.0044
R_{14}	1.1286	1.0937	1.0690	1.0178	1.1687	1.0767	1	1.0814	1.0937	1.0690	1.0178	1.1687	1.0767	1.0000	1.0814
R_{15}	1.0436	1.0113	0.9885	0.9412	1.0807	0.9956	0.9247	1	1.0113	0.9885	0.9412	1.0807	0.9956	0.9247	1.0000
R_{16}	1.0319	1.0000	0.9775	0.9307	1.0686	0.9845	0.9144	0.9888	1	0.9775	0.9307	1.0686	0.9845	0.9144	0.9888
R_{17}	1.0557	1.0230	1.0000	0.9521	1.0932	1.0072	0.9354	1.0116	1.0230	1	0.9521	1.0932	1.0072	0.9354	1.0116
R_{18}	1.1088	1.0745	1.0503	1.0000	1.1482	1.0578	0.9825	1.0625	1.0745	1.0503	1	1.1482	1.0578	0.9825	1.0625
R_{19}	0.9657	0.9358	0.9148	0.8709	1.0000	0.9213	0.8557	0.9254	0.9358	0.9148	0.8709	1	0.9213	0.8557	0.9254
R_{20}	1.0482	1.0157	0.9929	0.9453	1.0854	1.0000	0.9288	1.0044	1.0157	0.9929	0.9453	1.0854	1	0.9288	1.0044
R_{21}	1.1286	1.0937	1.0690	1.0178	1.1687	1.0767	1.0000	1.0814	1.0937	1.0690	1.0178	1.1687	1.0767	1	1.0814
R_{22}	1.0436	1.0113	0.9885	0.9412	1.0807	0.9956	0.9247	1.0000	1.0113	0.9885	0.9412	1.0807	0.9956	0.9247	1

Tabla 4.6: Matriz de comparación pareada agregada para el criterio Conocimientos

	R_0	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}	R_{16}	R_{17}	R_{18}	R_{19}	R_{20}	R_{21}	R_{22}
R_0	1	0.9691	0.9472	0.9019	1.0355	0.9540	0.8861	0.9582	0.9691	0.9472	0.9019	1.0355	0.9540	0.8861	0.9582
R_9	1.0319	1	0.9775	0.9307	1.0686	0.9845	0.9144	0.9888	1.0000	0.9775	0.9307	1.0686	0.9845	0.9144	0.9888
R_{10}	1.0557	1.0230	1	0.9521	1.0932	1.0072	0.9354	1.0116	1.0230	1.0000	0.9521	1.0932	1.0072	0.9354	1.0116
R_{11}	1.1088	1.0745	1.0503	1	1.1482	1.0578	0.9825	1.0625	1.0745	1.0503	1.0000	1.1482	1.0578	0.9825	1.0625
R_{12}	0.9657	0.9358	0.9148	0.8709	1	0.9213	0.8557	0.9254	0.9358	0.9148	0.8709	1.0000	0.9213	0.8557	0.9254
R_{13}	1.0482	1.0157	0.9929	0.9453	1.0854	1	0.9288	1.0044	1.0157	0.9929	0.9453	1.0854	1.0000	0.9288	1.0044
R_{14}	1.1286	1.0937	1.0690	1.0178	1.1687	1.0767	1	1.0814	1.0937	1.0690	1.0178	1.1687	1.0767	1.0000	1.0814
R_{15}	1.0436	1.0113	0.9885	0.9412	1.0807	0.9956	0.9247	1	1.0113	0.9885	0.9412	1.0807	0.9956	0.9247	1.0000
R_{16}	1.0319	1.0000	0.9775	0.9307	1.0686	0.9845	0.9144	0.9888	1	0.9775	0.9307	1.0686	0.9845	0.9144	0.9888
R_{17}	1.0557	1.0230	1.0000	0.9521	1.0932	1.0072	0.9354	1.0116	1.0230	1	0.9521	1.0932	1.0072	0.9354	1.0116
R_{18}	1.1088	1.0745	1.0503	1.0000	1.1482	1.0578	0.9825	1.0625	1.0745	1.0503	1	1.1482	1.0578	0.9825	1.0625
R_{19}	0.9657	0.9358	0.9148	0.8709	1.0000	0.9213	0.8557	0.9254	0.9358	0.9148	0.8709	1	0.9213	0.8557	0.9254
R_{20}	1.0482	1.0157	0.9929	0.9453	1.0854	1.0000	0.9288	1.0044	1.0157	0.9929	0.9453	1.0854	1	0.9288	1.0044
R_{21}	1.1286	1.0937	1.0690	1.0178	1.1687	1.0767	1.0000	1.0814	1.0937	1.0690	1.0178	1.1687	1.0767	1	1.0814
R_{22}	1.0436	1.0113	0.9885	0.9412	1.0807	0.9956	0.9247	1.0000	1.0113	0.9885	0.9412	1.0807	0.9956	0.9247	1

Tabla 4.7: Matriz de comparación pareada agregada para el criterio Habilidades

calcula el vector propio asociado al valor propio mayor de las matrices 4.6 y 4.7 y las prioridades totales aplicando el principio de composición jerárquica como lo indica AHP, como último procesamiento, se realizó la transformación lineal propuesta en el método Thurstone para llevar los valores a una escala del 1 al 5, obteniendo finalmente los pesos de importancia a trabajar (Tabla 4.8), para la realización del algoritmo se programó en Matlab (apéndice D1).

	Prioridades locales	Prioridades totales	Importancia
R_1	0.1505	0.0753	4.3054
R_2	0.1599	0.0800	5.0000
R_3	0.1443	0.0721	3.8446
R_4	0.1421	0.0710	3.6799
R_5	0.1485	0.0743	4.1570
R_6	0.1489	0.0744	4.1820
R_7	0.1058	0.0529	1.0000
R_8	0.0709	0.0355	4.6806
R_9	0.0650	0.0325	3.2874
R_{10}	0.0554	0.0277	1.0000
R_{11}	0.0722	0.0361	5.0000
R_{12}	0.0674	0.0337	3.8514
R_{13}	0.0712	0.0356	4.7599
R_{14}	0.0700	0.0350	4.4645
R_{15}	0.0630	0.0315	2.8030
R_{16}	0.0650	0.0325	3.2790
R_{17}	0.0665	0.0332	3.6335
R_{18}	0.0698	0.0349	4.4255
R_{19}	0.0608	0.0304	2.2915
R_{20}	0.0660	0.0330	3.5213
R_{21}	0.0711	0.0355	4.7202
R_{22}	0.0657	0.0329	3.4530

Tabla 4.8: Prioridades obtenidas a través de AHP

4.3.1.2. PROCESAMIENTO THURSTONE

Para la aplicación de este método, se consideran nuevamente los datos obtenidos en la simulación, trabajando por separado “Conocimientos” y “Habilidades”.

Se generó un ranking de los requerimientos por cada encuestado y se programó en Matlab el algoritmo que indica el método (apéndice D2) generando la primera escala de prioridad.

Bajo la transformación lineal propuesta en el marco teórico donde se describe el método, se genera una escala del 1 al 5 mediante la transformación de escala, obteniendo los resultados que se muestran en las Tablas 4.9 y 4.10 y figuras 4.10 y 4.11

Conocimientos		
	Escala Thurstone	Transformación
R_1	0.1397	3.2726
R_2	0.6091	5.0000
R_3	-0.1416	2.2375
R_4	-0.1642	2.1542
R_5	0.0390	2.9020
R_6	-0.0040	2.7440
R_7	-0.4779	1.0000

Tabla 4.9: Prioridades de conocimientos obtenidas a través del método Thurstone



Figura 4.10: Comparación de escalas para conocimientos

De este procedimiento se obtendrán los n pesos de importancia (w_i) de cada uno de los requerimientos (R_i).

Habilidades		
	Escala Thurstone	Transformación
R_8	0.3536	4.3595
R_9	-0.1908	2.6065
R_{10}	-0.3946	1.9501
R_{11}	0.5525	5.0000
R_{12}	-0.1367	2.7807
R_{13}	0.3982	4.5033
R_{14}	0.2377	3.9865
R_{15}	-0.3601	2.0613
R_{16}	-0.2338	2.4679
R_{17}	-0.1012	2.8951
R_{18}	0.2034	3.8759
R_{19}	-0.6897	1.0000
R_{20}	-0.0937	2.9193
R_{21}	0.3840	4.4576
R_{22}	0.0711	3.4500

Tabla 4.10: Prioridades de habilidades obtenidas a través del método Thurstone

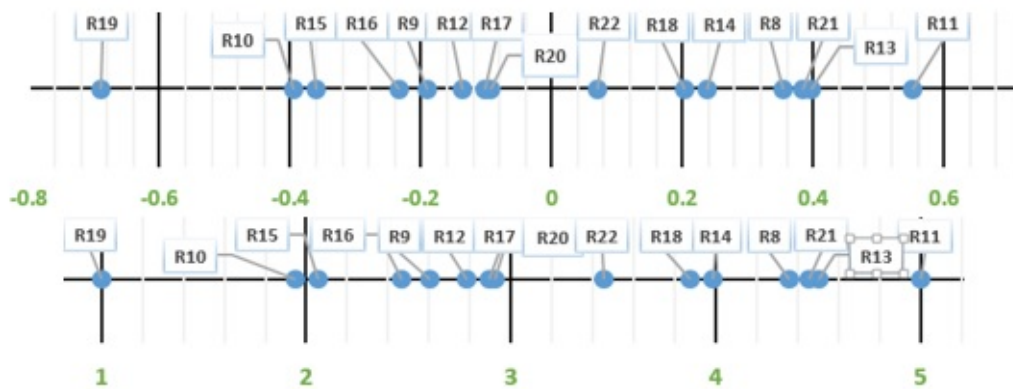


Figura 4.11: Comparación de escalas para habilidades

4.3.2. PUNTO DE VENTA

Una consecuencia directa de la evaluación competitiva de los requerimientos es que permite descubrir aquellos en los que se dispone de una ventaja considerable respecto a la competencia. Estas ventajas competitivas se aprovechan para establecer los puntos fuertes en la venta del producto, es decir en la de elegir al egresado de este programa de maestría frente a los egresados de otras. Por tanto, los puntos de venta son los requisitos enfatizados en algún segmento particular siguiendo con la estrategia de la institución. En general, se utiliza una escala 1.5 para los puntos fuertes de venta, 1.2 para el resto y 1.0 para las características que no son puntos de venta. El equipo técnico es el que asigna el argumento de venta (punto de venta, v_1) a cada uno de los QUÉs.

Como ya se ha expuesto, el punto de venta, también llamado argumento de venta o “sales point” en inglés, es determinado de manera más o menos subjetiva por el equipo técnico, por lo que desde nuestro punto de vista se considera que, la valoración de este rubro está fuertemente relacionado con la importancia diseñada por los clientes quienes indican qué es lo que para ellos potenciaría la decisión de elegir a un egresado de esta maestría, cruzando los resultados de ambos métodos utilizados para la obtención de la importancia se puede definir el punto de venta adecuado, asegurando también de que la calidad ofrecida está en concordancia con lo que demandan los clientes.

Si ambos métodos de valorización (AHP y Thurstone) están bien planteados, debe existir una coincidencia entre ambos resultados, o al menos muy aproximados entre sí lo que también nos permite comprobar los resultados, y en caso de existir contradicciones, indicará un posible error, el cual tendrá que estudiarse para llevar a cabo la corrección.

Si como es de esperarse, existe concordancia, y la valoración del cliente es alta (entre 4 y 5) para ambas, el requerimiento evaluado será preponderado con un punto de venta alto, es decir un coeficiente de 1.5.

Si en cambio el resultado del requerimiento evaluado está entre 2 y 4 para ambas técnicas, el punto de venta será normal, lo que indica un coeficiente de 1.2.

Sin embargo, si la puntuación obtenida refleja una importancia baja (menor a 2), se aplicará el coeficiente de 1.

En situaciones en las que ambos métodos den resultados cercanos pero no entran en este análisis, el equipo técnico analizó la situación y estableció una solución de compromiso para el requisito y determinó el punto de venta adecuado.

Para llevar a cabo este análisis se realizó la tabla 4.11, donde se muestra el cruce de los resultados de AHP y Thurstone y el punto de venta asignado según la justificación anterior.

4.3.3. BENCHMARKING

El objetivo aquí es identificar la percepción actual de los clientes sobre el programa en estudio y sus competidores más fuertes con relación a cada QUE, indicando el nivel de satisfacción empleando (s_{ij}), la situación de análisis es la misma que se presenta en el procedimiento de

<i>Requerimiento</i>	<i>AHP</i>	<i>Thurstone</i>	<i>Coincidencia</i>	<i>Compromiso</i>	<i>Punto de venta</i>
R1	4.3054	3.2726		x	1.5
R2	5	5	x		1.5
R3	3.8446	2.2375	x		1.2
R4	3.6799	2.1542	x		1.2
R5	4.157	2.902		x	1.2
R6	4.182	2.744		x	1.5
R7	1	1	x		1
R8	4.6806	4.3595	x		1.5
R9	3.2874	2.6065	x		1.2
R10	1	1.9501	x		1
R11	5	5	x		1.5
R12	3.8514	2.7807	x		1.2
R13	4.7599	4.5033	x		1.5
R14	4.4645	3.9865		x	1.2
R15	2.803	2.0613	x		1.2
R16	3.279	2.4679	x		1.2
R17	3.6335	2.8951	x		1.2
R18	4.4255	3.8759		x	1.5
R19	2.2915	1		x	1.2
R20	3.5213	2.9193	x		1.2
R21	4.7202	4.4576	x		1.5
R22	3.453	3.45	x		1.2

Tabla 4.11: Asignación de los puntos de venta

priorización de los requerimientos.

Para visualizar y representar los resultados, se incluye un gráfico “benchmarking” competitivo (poligonal).

Para este análisis se propuso diseñar una encuesta (apéndice C) de percepción en la que los clientes den una medida de percepción del cumplimiento de cada requerimiento en una escala del 1 al 9 para posteriormente obtener una medida de percepción a través de los mismos métodos de priorización empleados para hacer consistente el análisis global.

Para esta evaluación de los competidores se tomó como los clientes a los encargados de las maestrías de la competencia debido a que ellos pueden dar una percepción más real de su propio programa de maestría y de cómo perciben la preparación que se obtiene al egresar, las maestrías de la competencia que se eligieron para este análisis son la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), (Dr. Enrique Javier Elizondo Huerta) y el Centro de Investigación de Estudios Avanzados (CINVESTAV), (Dr. Onésimo Hernández-Lerma) por ser de las más representativas en el país y por la mayor facilidad de acceso.

Así, nuevamente se aplicó el método Thurstone para la FCFM y a partir de aquí en base a entrevistas realizadas en las maestrías de la competencia definimos los niveles de satisfacción en éstas haciendo una comparación.

Procesamiento Thurstone.

Consideramos los datos obtenidos en la encuesta de satisfacción (misma que la de importancia) con los supuestos de normalidad para la maestría en estudio. Se generó un “ranking” de los requerimientos por cada encuestado en cada institución, se llevó a cabo el algoritmo que indica el método obteniendo la matriz Z generando la primera escala de prioridad y nuevamente bajo la transformación lineal propuesta en el marco teórico donde se describe el método, se genera una escala del 1 al 5 mediante la transformación de escala, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 4.12.

Conocimientos		
	Escala Thurstone	Transformación
R_1	0.8612	5.0000
R_2	0.7809	4.8247
R_3	-0.1201	2.8580
R_4	-0.9713	1.0000
R_5	-0.1370	2.8211
R_6	-0.1479	2.7972
R_7	-0.2658	2.5400
R_8	0.0650	3.2423
R_9	0.2392	4.0910
R_{10}	-0.3954	1.0000
R_{11}	0.1073	3.4485
R_{12}	-0.2806	1.5591
R_{13}	0.4013	4.8804
R_{14}	0.1328	3.5725
R_{15}	-0.2710	1.6058
R_{16}	-0.3033	1.4485
R_{17}	-0.0966	2.4555
R_{18}	0.1746	3.7761
R_{19}	-0.1292	2.2965
R_{20}	0.1103	3.4628
R_{21}	0.4259	5.0000
R_{22}	-0.1801	2.0487

Tabla 4.12: Valores de satisfacción de conocimientos obtenidas a través del método Thurstone

Según lo visto en las entrevistas, se analizaron los resultados y se consensó entre el equipo técnico si se considera un nivel similar, se redondea hacia arriba para generar un nivel competitivo de comparación, así, se definen los niveles de satisfacción que se muestran en la matriz de planificación de la calidad para la competencia (Figura 4.12).

4.3.4. VALOR OBJETIVO

El valor objetivo indica las metas a alcanzar, el objetivo de satisfacción (o_i), es decir, qué tanto se pretende mejorar, basados en la importancia y la situación actual en comparación con la competencia.

En la literatura se señala que este rubro es determinado por el equipo que desarrolla QFD [71] [55] [81] [78], así bien, como la determinación del valor objetivo queda en manos del equipo técnico, se hace en base a la importancia asignada por los clientes y la comparación con la competencia, determinaremos el valor objetivo para cada requerimiento combinando estos criterios.

Tomaremos como punto de inicio la satisfacción actual:

- Si coincide o supera a la importancia, se conserva como objetivo el valor de satisfacción.
- Si está por debajo del valor de importancia, se toma el mayor valor obtenido por la comparación con la competencia.

4.3.5. RATIO DE MEJORA

Éste calcula el esfuerzo de mejora para cada QUÉ, dividiendo el objetivo a conseguir entre el nivel de satisfacción actual.

$$m_i = \frac{o_i}{s_{ij}}$$

4.3.6. PESO ABSOLUTO

La síntesis de los datos recolectados por los clientes para obtener la importancia absoluta de cada requerimiento es obtenida mediante la siguiente expresión:

$$I_i = w_i * m_i * v_i$$

4.3.7. PESO RELATIVO

Indica el porcentaje de importancia que representa cada requerimiento.

$$IR_i = \frac{I_i}{\sum_{k=1}^n I_k} * 100$$

4.3.8. ORDEN DE IMPORTANCIA

Se anota el orden de importancia de cada QUÉ asignando un orden correlativo a los pesos obtenidos.

Se representan los pesos relativos de los QUÉs mediante un histograma para tener de manera visual los resultados y nos ayuden a tomar decisiones.

4.3.9. CONFECCIÓN DE LA MATRIZ DE PLANIFICACIÓN DE CALIDAD

Una vez que se conocen los requerimientos de los clientes, su valoración y la evaluación competitiva se procede a la confección de la matriz de planificación de calidad que conforma el ala derecha de la casa de la calidad en la que se concentran los elementos determinados y se calculan el valor objetivo como se especificó anteriormente, el radio de mejora, el peso absoluto y relativo, mostrando los resultados en la figura 4.12.

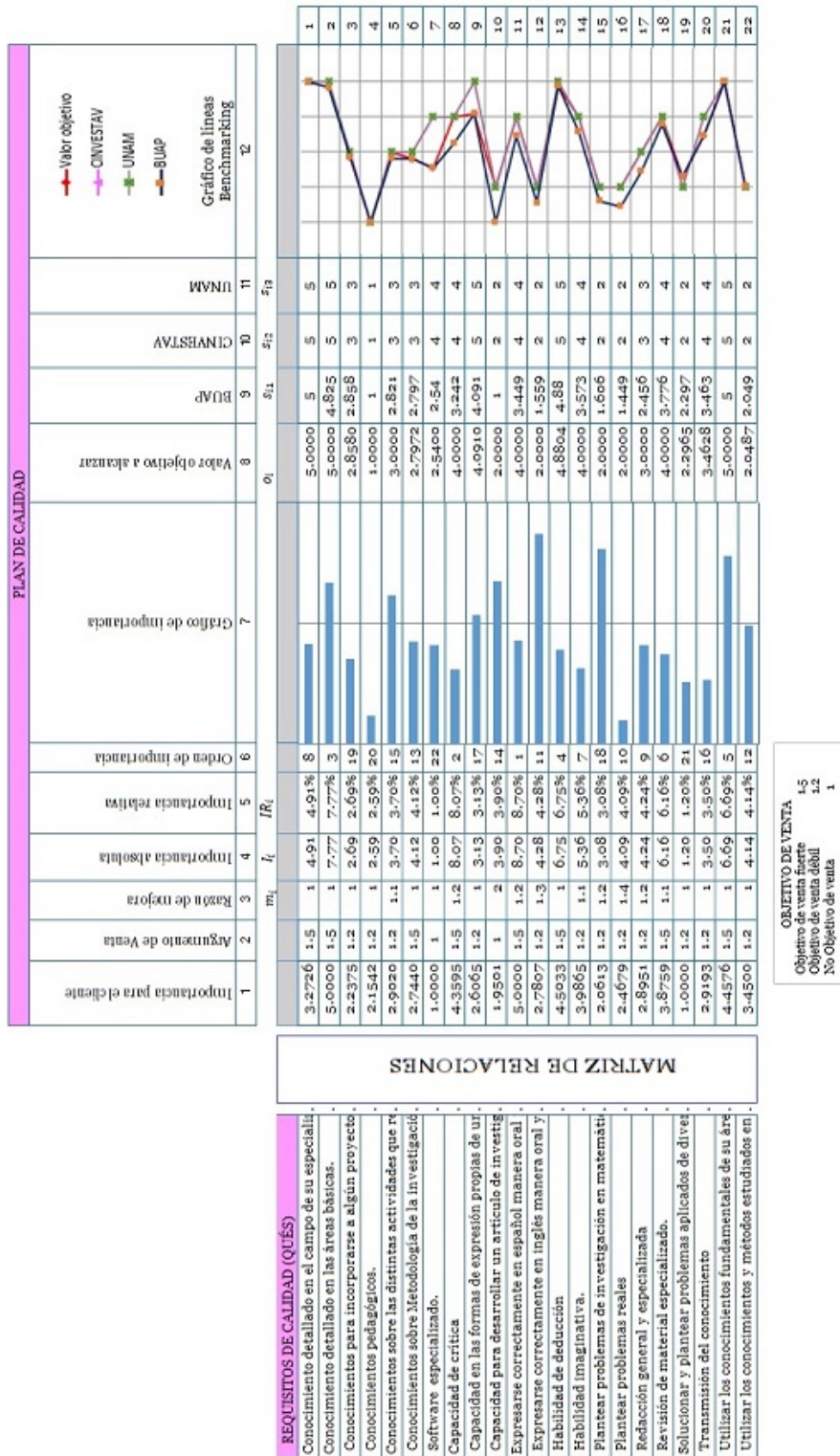


Figura 4.12: Matriz de planificación de la calidad

4.4. DETERMINACIÓN DE LOS CÓMOS

Ahora se está en posición de transformar los requerimientos de los clientes en especificaciones detalladas de diseño, especificaciones técnicas, que para el problema sean los elementos del programa de maestría que están involucrados en el cumplimiento de cada característica del perfil. El primer paso para conseguirlo es convertir los “QUÉs” en “CÓMOS” (características medibles del producto).

El desafío en este paso radica en traducir la voz del cliente en lenguaje técnico, para lo cual se deben contemplar las características que están directamente relacionadas con los requisitos del cliente. Resulta de gran importancia que todas las características que figuren en esta sección tengan alguna incidencia real, como mínimo, sobre alguna necesidad de los clientes, de forma que éstas queden cubiertas por alguna característica.

Aquí lo que se debe contestar es ¿Cómo lograr el cumplimiento de cada requisito?, para ello, el equipo técnico define los CÓMOS necesarios para cada QUÉ. Se organizan mediante diagramas de afinidad y se definen los datos y los rangos de especificación para que posteriormente puedan ser medidos.

Los COMOS son indicadores de calidad del producto, y como tales, deben cumplir con requisitos como [55]:

- Estar definidos por escrito y comprendidos por todos los participantes en el desarrollo del despliegue.
- Medibles o controlables.
- No se incluirán aspectos relativos a precios, costes, funciones o características del servicio.
- Tener el mismo nivel de detalle que los requisitos de calidad.

Para este trabajo, en primera instancia, los indicadores de calidad se definen por el equipo técnico que posteriormente se van consensando con los expertos para concretar técnicamente con detalle y precisión cada uno de ellos.

Se propone al menos un indicador que presente fuerte relación para cada uno de los requerimientos, definiendo sus características y sus datos de especificación de tal manera que cumplan los requisitos como indicadores de calidad (Tabla 4.13).

Agrupando las características del programa identificadas, quedan los COMOS o también llamadas características técnicas describiendo sus parámetros de medición como se muestra en la tabla 4.14.

REQUERIMIENTOS	CÓMOS
R_1 = Conocimiento detallado en el campo de su especialización.	- Cursos de álgebra, análisis I y II y de especialidad.
R_2 = Conocimiento detallado en las áreas básicas.	- Cursos de especialización. - Desarrollo del trabajo de tesis.
R_3 = Conocimientos para incorporarse a algún proyecto de investigación científica o a algún proyecto tecnológico que requiera de un matemático.	- Cursos de especialización. - Desarrollo del trabajo de tesis. - Vinculación e intercambio a otros laboratorios o centros de investigación tanto públicos como privados.
R_4 = Conocimientos pedagógicos.	- Cursos de pedagogía. - Exposición en los seminarios. - Programa de profesor auxiliar por parte de los estudiantes. - Participación en eventos nacionales e internacionales.
R_5 = Conocimientos sobre las distintas actividades que realiza un matemático.	- Participación en eventos nacionales e internacionales. - Participación en eventos nacionales e internacionales de tipo científico.
R_6 = Conocimientos sobre Metodología de la investigación.	- Curso obligatorio de metodología de la investigación.
R_7 = Conocimiento sobre Software especializado.	- Curso o taller de software.
R_8 = Capacidad de crítica.	- Participación en eventos nacionales e internacionales. - Participación en seminarios.
R_9 = Capacidad en las formas de expresión propias de un profesional de la matemática.	- Participación en eventos nacionales e internacionales. - Participación en seminarios.
R_{10} = Capacidad para desarrollar un artículo de investigación.	- Participación en eventos nacionales e internacionales. - Realizar publicaciones.
R_{11} = Expresarse correctamente en español manera oral y escrita.	- Participación en eventos nacionales e internacionales.
R_{12} = Expresarse correctamente en inglés manera oral y escrita.	- Participación en eventos nacionales e internacionales. - Curso del idioma inglés.
R_{13} = Habilidad de deducción.	- Cursos de especialización. - Desarrollo del trabajo de tesis. - Vinculación e intercambio a otros laboratorios o centros de investigación tanto públicos como privados.
R_{14} = Habilidad imaginativa.	- Cursos de especialización. - Desarrollo del trabajo de tesis. - Vinculación e intercambio a otros laboratorios o centros de investigación tanto públicos como privados.
R_{15} = Plantear problemas de investigación en matemáticas.	- Cursos de especialización. - Desarrollo del trabajo de tesis. - Vinculación e intercambio a otros laboratorios o centros de investigación tanto públicos como privados.
R_{16} = Plantear problemas reales.	- Cursos de especialización. - Desarrollo del trabajo de tesis. - Vinculación e intercambio a otros laboratorios o centros de investigación tanto públicos como privados.
R_{17} = Redacción general y especializada.	- Participación en eventos nacionales e internacionales. - Curso del idioma inglés. - Realizar publicaciones.
R_{18} = Revisión de material especializado.	- Cursos de especialización. - Desarrollo del trabajo de tesis.
R_{19} = Solucionar y plantear problemas aplicados de diversas áreas distintas a la matemática.	- Cursos de especialización. - Desarrollo del trabajo de tesis. - Vinculación e intercambio a otros laboratorios o centros de investigación tanto públicos como privados.
R_{20} = Transmisión del conocimiento.	- Cursos de pedagogía. - Exposición en los seminarios. - Programa de profesor auxiliar por parte de los estudiantes. - Participación en eventos nacionales e internacionales.
R_{21} = Utilizar los conocimientos fundamentales de su área de especialización.	- Uso de bibliografía más avanzada. - Capacidad de generar conocimiento nuevo (publicaciones). - Vinculación e intercambio a otros laboratorios o centros de investigación. - Seminarios de investigación de los cuerpos académicos.
R_{22} = Utilizar los conocimientos y métodos estudiados en la solución de problemas aplicados en su especialidad.	- Cursos de especialización. - Desarrollo del trabajo de tesis. - Vinculación e intercambio a otros laboratorios o centros de investigación tanto públicos como privados.

Tabla 4.13: Asignación de CÓMOS

CTQ	Descripción	Estándar de Medición	Unidad de Medida	Valor Ideal	Valor marginal
C ₁ = Curso del idioma inglés	Medición a través de ofertar el curso a través de la facultad	oferta anual	Frecuencia	2	1
C ₂ = Curso o taller de software.	Medición a través de ofertar el curso a través de la facultad	oferta anual	Frecuencia	2	1
C ₃ = Curso obligatorio de metodología de la investigación.	Se busca como curso obligatorio	Inclusión en el plan de estudios	Binaria	1	1
C ₄ = Cursos de algebra, análisis I y II y de especialidad.	Se supone su inclusión en el plan de estudios	Revisión y actualizaciones cada 2 años	Binaria	1	1
C ₅ = Cursos de especialización	Se supone su inclusión en el plan de estudios	Revisión y actualizaciones cada 2 años	Binaria	1	1
C ₆ = Cursos de pedagogía	Medición a través de ofertar el curso a través de la facultad	oferta anual	Frecuencia	2	1
C ₇ = Desarrollo del trabajo de tesis	Medición a través de los foros	Realización de los foros cada semestre escolar	Binaria	1	1
C ₈ = Exposición y participación en seminarios de investigación de los cuerpos académicos	Sesiones de trabajo esperitalizadas en el área (una por cada área), creados por los cuerpos académicos	Proporción de estudiantes participantes	Unidades	1	0.5
C ₉ = Participación en eventos nacionales e internacionales	Apoyos para una participación anual	Número de solicitudes entre las aprobadas (eficiencia de servicio)	Cantidad	1	.9
C ₁₀ = Participación en eventos nacionales e internacionales de tipo científico.	Apoyos para una participación anual	Número de solicitudes entre las aprobadas (eficiencia de servicio)	Cantidad	1	.9
C ₁₁ = Programa de profesor auxiliar por parte de los estudiantes	Sesiones prácticas durante solo un semestre, una hora por semana	Oferta anual	Frecuencia	2	1
C ₁₂ = Realizar publicaciones	Porcentaje de estudiantes que realizaron publicación, medida por generación	Número de estudiantes con publicación/total de estudiantes de maestría en la generación	Porcentaje	100	10
C ₁₃ = Uso de bibliografía avanzada	Convenios institucionales con revistas especializadas	Existencia del servicio institucional	Binaria	1	1
C ₁₄ = Vinculación e intercambio a otros laboratorios o centros de investigación tanto públicos como privados.	Convenios de movilidad por parte del posgrado (uno por cuerpo académico)	Número de convenios anuales	Cantidad	4	2

Tabla 4.14: Descripción de las características técnicas (COMOS)

4.5. RELACIÓN QUÉS-CÓMOS

El objetivo de esta sección es identificar las relaciones de afectación de cada CÓMO para el cumplimiento de cada QUÉ.

Cuando los “QUÉ”, los “CÓMO” y las relaciones se combinan en una matriz, los involucrados en el problema así como los interesados, pueden leerlos con facilidad y entenderlos.

Los “QUÉ” se colocan en el lado izquierdo de la matriz, los “CÓMO” en la parte superior, y la fuerza de la relación entre cada qué y cada “CÓMO” se suele contemplar en términos de relación Débil (1 punto), Media (3 puntos) y Fuerte (9 puntos), si no existe relación, el espacio se deja en blanco como se muestra en la tabla 4.15 [39], estableciendo entonces que el requerimiento correspondiente a dicha línea, no se habrá cubierto con el requerimiento técnico correspondiente. De igual forma, si se encuentra alguna columna vacía, indicará que la característica técnica en cuestión no influye en modo alguno sobre la satisfacción de ninguna de las demandas de los clientes y se puede eliminar. Todos estos elementos son incorporados a la casa de la calidad.

Determinar las relaciones entre los “QUÉS” y los “CÓMOS” es muy complejo, pues cada “CÓMO” puede afectar a más de un requerimiento del cliente, y puede darse el caso de que el “CÓMO” vinculado a un “QUÉ” específico puede tener un impacto adverso sobre otro “QUÉ”.

A través del consenso del equipo técnico de acuerdo a las características e intereses de la institución debe seleccionar o en caso necesario diseñar al menos un elemento del programa que satisfaga el cumplimiento de cada una de las características del perfil requerida por los clientes.

Relación	Símbolo	Peso
Fuerte	●	9
Media	○	3
Débil	△	1
Nula	-	0

Tabla 4.15: Notación de las relaciones

Para determinar el tipo de relación existente entre los QUÉS y los CÓMOS, diversos autores proponen realizarse preguntas que orienten a dicha relación, en [63] se presentan las preguntas:

1. ¿La característica funcional (cómo) _____ ayuda a satisfacer la característica (qué) _____ del producto o servicio?
2. Si la respuesta es afirmativa, ¿Cuál es el grado de la relación de ayuda: Fuerte, Media o Débil?; si la respuesta es negativa continuar con la siguiente comparación.

Otra pregunta que se puede hacer, es la propuesta por Terninko [81]: si conozco que el valor del Indicador de Calidad en funcionamiento mide X, ¿Cómo predecir una buena satisfacción del cliente de acuerdo a la capacidad del producto para satisfacer la calidad Exigida Y? sin embargo, a puede considerarse muy complicada de entender, una pregunta más accesible puede ser la que recomiendan algunos prácticos en QFD como Becker Associates Incorporated [8]: si controlamos este indicador de Calidad, ¿tendrá impacto positivo sobre la necesidad del cliente?,

así haciéndonos ya sea esta última pregunta o la primera, determinamos las relaciones entre cada requisito de calidad y los requerimientos técnicos.

En primer lugar se designa una correlación fuerte de los QUÉs con los CÓMOs que fueron propuestos inicialmente para ellos, para el resto de las relaciones se realizan las preguntas recomendadas. Las asignaciones se muestran en la Tabla 4.16.

Dirección de mejora	Símbolo
Aumentar indicador	↑
Disminuir indicador	↓
Ajustar a valor nominal	-

Tabla 4.16: Matriz de relaciones

4.6. CORRELACIONES

4.6.1. DIRECCIÓN DE MEJORA

Cuando se busca mejorar un indicador, se debe especificar la dirección de mejora, por lo que se establece el sentido en el que se debe variar el indicador para lograr satisfacer el QUÉ con que se relaciona, dichas especificaciones se realizan como se muestra en la Tabla 4.17.

Dirección de Mejora	Símbolo
Aumentar indicador	↑
Disminuir indicador	↓
Ajustar al valor nominal	-

Tabla 4.17: Indicadores de mejora

4.6.2. CORRELACIONES EXISTENTES

Los requerimientos técnicos definidos para el cumplimiento de los requerimientos se encuentran en muchos casos relacionados entre sí y esta relación debe ser considerada para analizar la repercusión que cada requerimiento puede tener en el funcionamiento de los otros, es decir, no sólo es necesario tener presente la relación de los requerimientos con las características que se van a desarrollar sino también es relevante la información perteneciente a las posibles relaciones entre los requerimientos. Esto es así en la medida en que actuar sobre un requerimiento puede afectar a otro u otros requerimientos y esta posibilidad debe ser recogida en el modelo, por lo que para cada CÓMO nos debemos preguntar, si se mejora este indicador, ¿este otro mejorará o empeorará?. El objetivo es identificar qué requerimientos se apoyan entre sí y entre cuales existe conflicto. En [81] se incluye además que las correlaciones sirven para analizar si es necesario utilizar todos los indicadores ya que si existen fuertes relaciones entre algunos de ellos, podría controlarse solo uno de ellos a nombre de todos y enfocar los esfuerzos, así también las relaciones fuertes se deben analizar más cuidadosamente pues pueden ser indicadores incompatibles.

En consecuencia, el modelo se recoge en un cuadro de doble entrada con las posibles relaciones entre requerimientos técnicos, valoradas entre -1 y 1 , con la finalidad de permitir las posibles correlaciones negativas, además de indicar si la relación es unívoca o bi-unívoca para indicar si la relación es en un sentido o es recíproca las posibles relaciones se muestran en la Tabla 4.18.

Relación	Símbolo	Valor
Positiva fuerte	++	3
Positiva débil	+	1
Nula		
Negativa débil	-	-1
Negativa fuerte	-	-3

Tabla 4.18: Símbolos de correlación

Para determinar la matriz de correlaciones entre los indicadores de calidad en [81] se propone analizar la respuesta a la pregunta: Si el funcionamiento que mide X se mejora, ¿ayudará o dificultará el funcionamiento que mide Z?, así, la respuesta nos indicará la existencia o no de correlación y la fuerza comparando uno a uno los indicadores, viendo si la variación de un indicador en cualquier sentido le corresponde una variación en el mismo sentido del indicador con el que se compara y a la inversa.

Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 4.19 en los que se deduce que no existen correlaciones negativas lo que no produce contradicciones y en cuanto a las relaciones fuertes, no eliminaremos ninguno debido a que a pesar de esta relación, consideramos indispensable su utilización pues miden aspectos diferentes.

Por su naturaleza, la matriz de correlaciones pueden representarse por la mitad rotada 45° concentrando las correlaciones en ambos sentidos, que tiene una forma de triángulo y de ahí su nombre peculiar de tejado de la Casa de la calidad (Figura 4.13)

4.7. PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO

Esta parte de la casa de la calidad contiene dos tipos de información: La importancia absoluta de cada una de las características técnicas y la información comparativa basada en el desempeño técnico de la competencia.

4.7.1. CALCULAR EL PESO DE LOS CÓMOS

Se debe asignar una ponderación de la importancia relativa de cada característica (CÓMO) según la influencia que tenga sobre todas las necesidades de los clientes, con base a la matriz de relaciones y el peso relativo de los requisitos del cliente.

Para realizar esta tarea, QFD propone hacerlo por medio del método simple aditivo de ponderación, mediante la expresión

$$q_j = \sum_{i=1}^n IR_i * r_{ij}$$

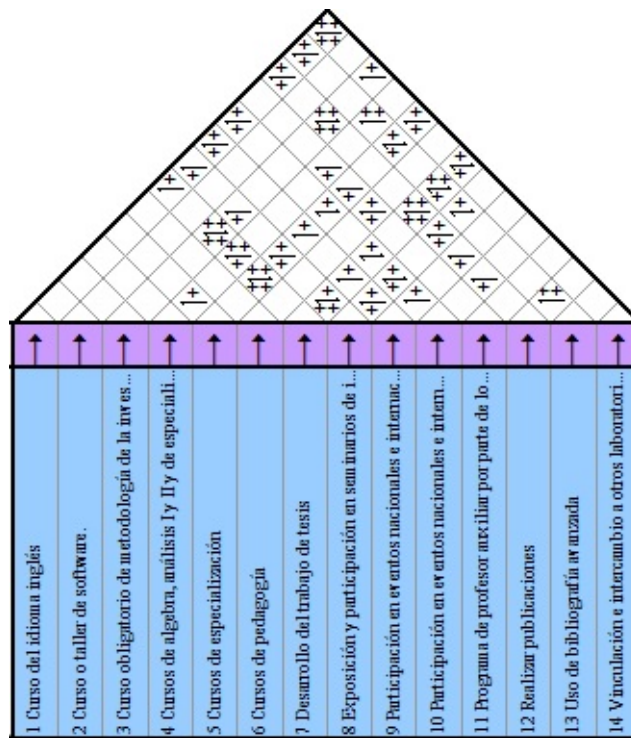


Figura 4.13: Matriz de correlaciones en la casa de la calidad

Columns: Causes >>		CTQ Interaction Matrix																
		Optimization	1 Curso del idioma inglés	2 Curso o taller de software.	3 Curso obligatorio de metodolog...	4 Cursos de algebra, análisis I y II...	5 Cursos de especialización	6 Cursos de pedagogía	7 Desarrollo del trabajo de tesis	8 Exposición y participación en s...	9 Participación en eventos nacio...	10 Participación en eventos naci...	11 Programa de profesor auxiliar ...	12 Realizar publicaciones	13 Uso de bibliografía avanzada	14 Vinculación e intercambio a ot...	Positive effects	Negative effects
Rows: Effects ++ 3 positive effect + 1 possible positive effect - -1 possible negative effect -- -3 negative effect	Optimization	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	0	0
	1 Curso del idioma inglés	↑	■						+	+	+		+	+	++		6	
	2 Curso o taller de software.	↑	■														0	
	3 Curso obligatorio de metodolog...	↑		■				++	+				++				3	
	4 Cursos de algebra, análisis I y II...	↑			■			+				+					2	
	5 Cursos de especialización	↑				+	■	++	+			+		+	+		6	
	6 Cursos de pedagogía	↑					■					+					1	
	7 Desarrollo del trabajo de tesis	↑	+	++	++	++	■	■	++				++	+	+		8	
	8 Exposición y participación en se...	↑					+	+	■	+	+		+				5	
	9 Participación en eventos naciona..	↑	+				+	+	+	■			+				5	
	10 Participación en eventos nacion..	↑	+				+	+	+	+	■		+				6	0
	11 Programa de profesor auxiliar p...	↑						+				■					1	
	12 Realizar publicaciones	↑	+	++					++	+			■				4	
	13 Uso de bibliografía avanzada	↑	+		++	+			++	+			++	■			6	
	14 Vinculación e intercambio a otro..	↑	++	+		+			+						■		4	
Positive factors		6	3	3	6	1	9	8	3	2	3	7	3	3				
Negative factors							0											

Tabla 4.19: Matriz de Correlaciones

En donde: q_j representa el peso absoluto de la característica técnica j , $j = 1, \dots, m$.

Haciendo una revisión de la literatura, se descubrió que existen otras técnicas que se considera pueden ofrecer resultados que mejor se ajusten a la realidad del problema, entre estas, se encuentra TOPSIS la cual da un ranking de las alternativas que en este caso son los CÓMOS, en base a la comparación a la ideal y anti-ideal alternativa posible en el problema, (conceptos definidos en el método), por lo que se propone en este trabajo analizar los resultados por medio de ambas técnicas y comparar los resultados.

4.7.1.1. PROCESAMIENTO TOPSIS

Para el cálculo del peso de los CÓMOS y usar el método TOPSIS, se definen a las m alternativas A_i , $i = 1, \dots, m$ como los CÓMOS ya propuestos, los n criterios R_j , $j = 1, \dots, n$, son los requerimientos de los clientes que junto con el vector de pesos de importancia normalizado y la matriz de relaciones, se forma la matriz de decisión que se muestra en la Tabla 4.20.

Se programó el algoritmo en Matlab (apéndice D3) y al aplicar TOPSIS se encuentran los

	0.049	0.078	0.027	0.03	0.04	0.04	0.01	0.081	0.031	0.04	0.09	0.043	0.07	0.1	0.03	0.04	0	0.1	0.01	0.035	0.07	0.04
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16	R17	R18	R19	R20	R21	R22
A1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	9	0	0	0	0	9	1	0	1	0	0
A2	3	0	9	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0
A3	0	0	3	0	0	9	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	
A4	9	9	9	0	3	1	0	9	9	9	1	1	9	3	1	1	1	9	1	0	9	9
A5	9	9	9	0	3	9	3	9	9	9	3	3	9	9	9	9	9	9	1	9	9	
A6	0	0	0	9	0	0	0	3	3	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0	9	0	0
A7	9	9	9	0	1	9	3	9	9	9	0	9	9	9	9	0	9	9	1	9	9	
A8	9	3	0	9	1	3	0	9	9	3	9	0	3	1	3	1	1	9	1	9	9	9
A9	3	0	0	9	9	0	0	9	9	9	9	9	0	0	0	0	9	1	3	9	3	3
A10	0	0	0	9	0	0	9	9	9	9	9	0	1	0	1	1	0	9	1	0	0	
A11	9	9	0	9	0	0	0	1	9	0	9	0	0	9	0	3	0	0	9	0	0	0
A12	9	3	3	0	0	9	0	9	9	9	1	9	3	9	3	9	9	0	1	9	9	
A13	9	9	9	0	0	0	0	1	1	1	1	1	3	1	0	0	0	9	0	0	9	3
A14	9	1	9	0	9	0	0	9	9	3	9	1	9	9	9	9	3	3	9	3	9	9

Tabla 4.20: Matiz de decisión

pesos de importancia y el orden de preferencias los cuales se incrustan en la casa de la calidad.

4.7.1.2. PROCESAMIENTO TOPSIS

Al realizar el cálculo de los pesos a través del método simple aditivo de ponderación, se considera nuevamente la matriz de relaciones ya obtenida y el vector de pesos de importancia de la tabla de planeación de la calidad y directamente en una hoja de Excel se calculó la importancia a través de este procedimiento obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 4.21

INDICADORES DE CALIDAD (CÓMOS)													
C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄
Curso del idioma inglés	Curso o taller de software.	Curso obligatorio de metodología de la investigación	Cursos de algebra, análisis I y II y de especialidad.	Cursos de especialización	Cursos de pedagogía	Desarrollo del trabajo de tesis	Exposición en los seminarios	Participación en eventos nacionales e internacionales	Participación en eventos nacionales e internacionales de tipo científico.	Programa de profesor auxiliar por parte de los estudiantes	Realizar publicaciones	Uso de bibliografía avanzada	Vinculación e intercambio a otros laboratorios o centros de investigación tanto públicos como privados.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.1073	0.5685	1.7452	5.4470	7.4315	1.4328	7.3690	5.2636	4.3597	3.1400	3.4438	6.4246	3.2002	6.2797

Tabla 4.21: Pesos a través del método simple aditivo de ponderación

4.7.2. CALCULAR EL PESO RELATIVO

Nuevamente, es importante calcular ahora el peso relativo de cada CÓMO, que indicará el porcentaje de importancia que representa cada requerimiento técnico.

$$QR_i = \frac{q_i}{\sum_{k=1}^m q_k} * 100$$

4.7.3. ORDEN DE IMPORTANCIA

Repitiendo la misma idea que con los “QUÉs”, se anota el orden de importancia de cada CÓMO asignando un orden correlativo a los pesos obtenidos.

Se representan los pesos relativos de los COMOs mediante un Histograma.

4.7.4. “BENCHMARKING” TÉCNICO

Identificar los niveles de calidad obtenidos en el programa para cada CÓMO. Es decir, los valores actuales de las características técnicas. Se comparan en una escala numérica cada uno de los requerimientos de diseño con los de los competidores, con la salvedad de que esta vez es la propia empresa la que evalúa y realiza este posicionamiento, de acuerdo con los estudios realizados sobre la competencia.

Construcción del gráfico de “benchmarking” técnico que representa gráficamente los datos de los dos pasos anteriores.

Para el “benchmarking” técnico, se evaluaron las mismas maestrías en comparación, para ello se concertó una cita con los responsables y se les realizó una entrevista en base a los estándares de medición definido para los indicadores (CÓMOS).

4.8. CUÁNTOS

La importancia técnica (el “cuánto”) aporta una visión de la importancia global que poseen cada una de las características técnicas, es decir, los elementos del programa sobre el conjunto de las demandas de los clientes, ésto es, facilita una directriz para la selección de las características a desplegar en las subsiguientes matrices y las cuales serán elegidas para implementar la mejora. Las características seleccionadas serán aquellas que maximizan la satisfacción del cliente, es decir, que maximicen el cumplimiento, por lo que serán aquellas donde se deberán concentrar los esfuerzos de la institución.

Tal procedimiento se realiza de la siguiente manera:

1. Tomar el CÓMO de mayor peso (primer orden de importancia).
2. Buscar el QUÉ con el que más fuertemente se relaciona, si presenta relación fuerte con más de uno se tomará el que tenga el argumento de venta más fuerte, en caso de empate elegir el de mayor importancia relativa y tomar de este el ratio de mejora.
 - Si presenta sólo correlaciones positivas (ya sean fuertes o débiles) o no presenta correlaciones calcular el *NCA* (CUÁNTO) según la expresión:

$$NCA_j = q_j * m * (1 + \alpha) \text{ si la dirección de mejora es } \uparrow$$

$$NCA_j = q_j * \frac{1}{m} * (1 + \alpha) \text{ si la dirección de mejora es } \downarrow$$

En donde:

NCA_j : nivel de calidad asignado a la característica técnica_j ($COMO_j$)

q_j : nivel de calidad obtenido por la característica técnica_j ($COMO_j$)

m : ratio de mejora.

α : tasa de incremento, definida por los autores en función del tipo de argumento de venta.

- Si presenta correlaciones negativas, se busca el o los CÓMOs con los que presenta relaciones negativas, se toman los pesos relativos.

- a) Se realiza la sumatoria de los mismos y se calcula la porción (p) que representa cada uno en la sumatoria:

$$p_j = \frac{q_j}{\sum_{k=1}^t q_k}$$

Donde:

p_j :porción que representa el $COMO_j$

q_j :peso relativo del $COMO_j$

- b) Se calculan los NCA mediante la expresión que se adecue a cada caso:

$$NCA_j = [q_j * (1 + (m - 1) * p_j)] * (1 - \alpha) \text{ si la dirección de mejora es } \uparrow$$

$$NCA_j = [q_j * (1 - (1 - \frac{1}{m}) * p_j)] * (1 - \alpha) \text{ si la dirección de mejora es } \downarrow$$

Los valores que α puede tomar, dependen del tipo de argumento de venta, esta relación puede verse en la tabla 4.22

α	Tipo de argumento de venta
0.05	Fuerte
0.02	Débil
0	No argumento

Tabla 4.22: Valores de α

Para realizar estos cálculos, se programó el algoritmo en Matlab (apéndice D4) notando en primer lugar que en este problema no existen correlaciones negativas, aspecto que se aprecia en la matriz de correlaciones, además las direcciones de mejora siempre son aumentar y como punto adicional, cada CÓMO tiene al menos un QUÉ con el que se relaciona fuertemente con un valor de 9. A partir de esto se calcula el NCA para cada CÓMO.

4.9. DISEÑO DEL PERFIL DE CALIDAD

El último paso a ejecutar es el diseño del perfil de calidad, es decir la medida objetivo de cada uno de los requerimientos técnicos de tal manera que logre el cumplimiento de las características del perfil y el programa se posicione por encima de la competencia.

QFD constituye un medio ambiente adecuado en el que como ya hemos expuesto, se puede llevar a cabo un análisis comparativo del producto o de la prestación del servicio con los competidores en el mercado [11], hoy en día la evaluación comparativa se considera el proceso continuo

de medición de nuestros productos, servicios y prácticas comerciales contra los competidores más duros o aquellas compañías reconocidas como líderes de la industria [91]. Esta comparación, por lo tanto, puede representar un punto de partida eficaz para la definición de las características técnicas con referencia a los requisitos de los clientes o usuarios.

Un algoritmo heurístico diseñado para estos propósitos es el Qbench que ayuda a la solución del problema de creación de una alternativa mejor, minimizando esfuerzos y recursos haciendo a nuestro producto más deseable que los productos de la competencia.

La formulación de este problema puede extraerse de [39] en el que se expone que el problema de comparar algunas soluciones de diseño con un conjunto de criterios de evaluación es un evento periódico en aplicaciones prácticas. El problema inverso de la creación de una mejor alternativa, minimizando esfuerzos y recursos, es muy frecuente. Un ejemplo típico de un problema de decisión directa es la selección de un producto llevado a cabo por un cliente, mientras que un problema inverso es uno abordado por un fabricante para obtener el mejor técnicamente, con la restricción de reducir al mínimo los recursos empleados.

La capacidad de elegir una alternativa de entre varias (problema de decisión directa), en comparación con un conjunto de criterios de evaluación, es el tema central de los métodos de ayuda a la decisión multicriterio (MCDA) y las técnicas de toma de decisión multicriterio (MCDM). Estos métodos facilitan el análisis, la modelación y la síntesis de las preferencias expresadas por un tomador de decisiones en la comparación de las dos alternativas a y a' en base a sus respectivos vectores de desempeño $g(a) = [g_1(a), g_2(a), \dots, g_n(a)]$ y $g(a') = [g_1(a'), g_2(a'), \dots, g_n(a')]$ medido en un conjunto de criterios de evaluación.

Muy diferente es el problema de establecer cuál debe ser el perfil de calidad de una nueva alternativa, una vez que tenemos definido un conjunto de criterios de evaluación y el perfil de calidad de las alternativas restantes (problema de decisión inversa). Este es el problema recurrente que las empresas tienen que hacer frente al comparar sus prestaciones técnicas y productos de ingeniería con los competidores en el mercado.

¿Qué conjunto de valores técnicos, minimizando esfuerzos, puede hacer un producto más deseable que los productos de la competencia? El problema de la asignación de valores de las características técnicas y de ingeniería de un producto está relacionado con estos temas. Para definir los objetivos de diseño (perfil de calidad), es necesario, por una parte, estimular la oportunidad de ocupar una posición de liderazgo en el mercado y, por otro lado, maximizar la atención de los diseñadores hacia las necesidades del cliente.

Desde un punto de vista general el problema se puede formular como sigue. Definimos $A = \{a_j | j = 1, \dots, n\}$ como un conjunto de alternativas potenciales, evaluadas sobre un conjunto consistente de criterios $G = \{g_j | j = 1, \dots, n\}$. Cada criterio g_j se considera como una aplicación de un solo punto del conjunto A al criterio escala E_j , es decir, un conjunto totalmente ordenado (de valores cuantitativos o cualitativos) se toma como la representación formal del conjunto de estados asociados con el j -ésimo criterio:

$$\begin{aligned} g_j : A &\rightarrow E_j \\ a &\rightarrow g_j(a) \end{aligned}$$

Entonces, la evaluación multicriterio de una alternativa $a \in A$ puede ser resumida por el

vector $g(a) = [g_1(a), g_2(a), \dots, g_n(a)] \in \mathfrak{S} = E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$

Si $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ es el conjunto de alternativas en comparación, $g_j(a)$ es llamado el rendimiento de una alternativa genérica a , sobre el j -ésimo criterio. $\forall a', a \in A$, si $g_j(a') \geq g_j(a)$, entonces a' es al menos tan buena como a , si consideramos solo el punto de vista reflejado por el j -ésimo criterio.

La evaluación de una sola alternativa tiene una interesante representación geométrica en el espacio de criterios, como se ilustra en la Figura 4.14 [39]. En esta figura, las escalas de los criterios y características técnicas perfiladas para cada alternativa son presentadas. Es importante señalar que la Figura 4.14 no permite establecer a primera vista, cuál es la mejor alternativa. De hecho, normalmente, el peso de los diferentes criterios no es el mismo; en otras palabras, los pesos no son todos igualmente importantes. Para cada criterio, las escalas se ordenan de acuerdo a un orden creciente de preferencia.

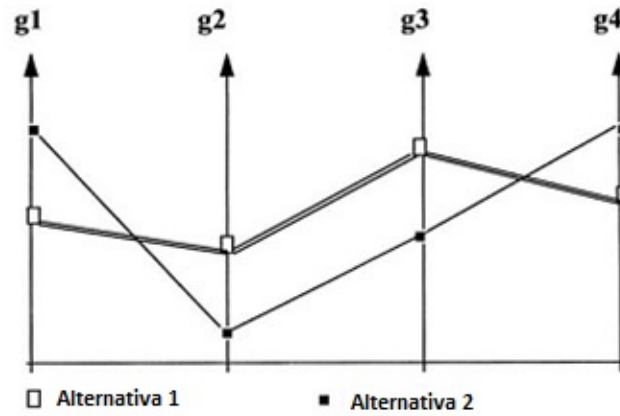


Figura 4.14: Representación de alternativas sobre el espacio de criterios.

De acuerdo con el concepto de perfil de calidad, el problema de seleccionar la mejor alternativa $g^*(a) = [g_1^*(a), g_2^*(a), \dots, g_n^*(a)]$, de tal manera que se reduzcan al mínimo los recursos empleados, se puede formular como sigue:

$$P1 : g^*(a) = \min_{\mathfrak{S}} g(a), a >_{\psi} a_i, \forall i = 1, \dots, m$$

en donde

- $\mathfrak{S} = E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$ representa el dominio de búsqueda definido en el espacio de criterios (región de diseño).
- $>_{\psi}$ define la relación de dominación entre dos alternativas de acuerdo con un modelo de preferencias ψ .
- $g(a)$ es el vector de las actuaciones.
- n el número de criterios.

- m el número de alternativas comparadas con a .
- a_i la i -ésima alternativa.

Una vez que hemos establecido un modelo de agregación de preferencias capaz de sintetizar la opinión expresada por el tomador de decisiones, podemos determinar una solución de P1. El modelo de agregación se selecciona sobre la base de los datos disponibles, y del nivel de modelación con el que somos capaces de describir el problema de decisión.

En general, la resolución de $P1$ no es fácil. La complejidad de $P1$ tiene dos causas principales: por un lado, la dificultad en la recopilación de información (definición de alternativas, criterios de evaluación, y su orden importancia, etc.); por otra parte, en algunas situaciones, la falta de disponibilidad de herramientas matemáticas adecuadas para la resolución del problema. Este es el caso, por ejemplo, donde sólo se conocen las clasificaciones ordinales de criterios y alternativas. Una escala ordinal establece un orden de prioridad entre los objetos; no da alguna indicación sobre su distancia en el espacio de las preferencias (No es definida una métrica en este espacio). Los métodos MCDM o MCDA para resolver estos problemas se encuentran todavía en una etapa temprana de desarrollo.

Si tenemos en cuenta una situación en la que se conoce la relación de peso de los criterios, como es nuestro caso, $P1$ se puede reformular de la siguiente manera:

$$P2 : g^*(a) = \min_{\mathfrak{S}} g(a), a >_{\psi} a_i, \forall i = 1, \dots, m, \sum_{j=1}^m w_j = 1$$

En donde w_j representa el peso correspondiente al j -ésimo criterio.

Los criterios de pesos para comparar alternativas son utilizados en el modelo de agregación de preferencias. $P1$ y $P2$ representan una formulación inversa de un típico problema de decisión solucionable con herramientas MCDA. Un nuevo problema de decisión se convierte en el de diseñar un perfil de calidad de una alternativa que domina a las otras, minimizando el empleo de los recursos disponibles.

Una solución aproximada de $P2$ se puede determinar por medio de algoritmos heurísticos, uno de ellos es el llamado Qbench el cual se lleva a cabo para definir los objetivos en nuestro problema de estudio con el método ELECTRE II como modelo de agregación de preferencias.

Aplicación.

Para el problema de estudio, generar el perfil de calidad es establecer los valores de las características del programa de maestría para que superen a la competencia con el mínimo esfuerzo, para ello se compara la valoración de dichas características en las maestrías elegidas como la competencia, con los valores de un perfil que diseñaremos para que cumpla con estos objetivos, seguimos el algoritmo Qbench generando el primer perfil con los valores marginales de las características, debido a que es el mínimo valor aceptable, y se usa como método de preferencias a ELECTRE II.

Definimos los espacios E_i y H_i , y recordemos que cada criterio posee una ponderación, en relación con la importancia obtenida en la casa de la calidad, de forma que se establecen los valores recogidos en la Tabla 4.23.

CTQ	E	H	W
1	{0,1,2}	{0,1,2}	0.03
2	{0,1,2}	{0,1,2}	0.02
3	{0,1}	{0,1}	0.05
4	{0,1}	{0,1}	0.09
5	{0,1}	{0,1}	0.10
6	{0,1,2}	{0,1,2}	0.03
7	{0,1}	{0,1}	0.11
8	[0,1]	{0.2 0.5,1}	0.09
9	[0,1]	{0.9, 1}	0.08
10	[0,1]	{0.9, 1}	0.07
11	{0,1,2}	{0,1,2}	0.07
12	[0,100]	{10, 50, 90, 100}	0.10
13	{0,1}	{0,1}	0.07
14	{ $x \in Z \mid 0 \leq x \leq 100$ }	{2,4,8, 37, 100}	0.10

Tabla 4.23: Elementos para iniciar Qbench

La evaluación de cada alternativa en cada uno de los criterio (CTQ), se aprecian en la Tabla 4.24.

CTQ	BUAP a1	CINVESTAV a2	UNAM a3	Perfil Diseñado a4
1	0	2	0	1
2	0	1	0	1
3	0	0	0	1
4	0	0	0	1
5	0	0	0	1
6	0	0	0	1
7	1	1	1	1
8	0.2	1	1	0.5
9	1	1	1	0.9
10	1	1	1	0.9
11	0	0	0	1
12	10	50	90	10
13	1	1	1	1
14	1	37	100	2

Tabla 4.24: Inicialización

Se definen a $c^+ = 0.8$, $c^0 = 0.7$, $c^- = 0.6$ para la prueba de concordancia y se realiza la prueba de no discordancia definiendo $D_{2(j)} = 0.25 * \delta_j$ y $D_{1(j)} = 0.5 * \delta_j$ en donde δ_j es la amplitud de la escala asociada al criterio j (Tabla 4.25).

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$D_{2(j)}$	0.5	0.5	0.25	0.25	0.25	0.5	0.25	0.025	0.2	0.025	0.5	22.5	0.25	24.75
$D_{1(j)}$	1	1	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.4	0.05	0.05	1	45	0.5	49.5

Tabla 4.25: Umbrales de discordancia

Se calculan las sobreclasificaciones fuertes S_F y débiles S_d resultando predominante la alternativa 3, por lo que repetimos el algoritmo hasta obtener que la alternativa 4 es la predominante, para ello se programó el algoritmo de ELECTRE II en Matlab (apéndice D4), siguiendo esto, encontramos que los valores del perfil diseñado para superar a la competencia debe ser como se observa en la Tabla 4.26:

Elementos del programa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Perfil de calidad	1	1	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	1	50	1	8

Tabla 4.26: Perfil diseñado

Con este perfil diseñado, se logra obtener un nivel competitivo frente a las demás maestrías, o al menos estar a la par como sucede en este caso con la UNAM con la que el método nos dice que son comparables pero están en el mismo nivel superior.

4.10. TERMINACIÓN DE LA FASE 1, LA CASA DE LA CALIDAD

Identificados los requerimientos, los indicadores de Calidad y desarrolladas las matrices de relaciones, correlaciones y la tabla de planeación de la calidad y el resto de los elementos, en cada paso se va confeccionando la Casa de calidad de planeación, que es el concentrado y cierre de las distintas etapas que componen este análisis y propuesta metodológica del Despliegue de la Función de Calidad en la determinación del Perfil de Egreso deseable de la MCM, motivo de esta tesis. Terminamos este capítulo con la Figura 4.15 en la que mostramos la mencionada Casa de la calidad, quedando preparado el camino para el resto de las Fases y para a partir de ella, interpretar los resultados y tomar acciones de mejora.

Capítulo 5

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

5.1. PERFIL DE EGRESO DESEABLE

De la casa de la calidad se obtiene inicialmente, las características del perfil de egreso que son de mayor relevancia cubriendo un 80 %, y las que deben constituir el perfil de egreso deseable, ésto deducido de los elementos de la tabla de planificación de la calidad en la que analizamos la valoración de importancia que le dan los profesores a quienes consideramos los expertos y representantes de la institución, así como la comparación con las maestrías similares, de aquí y a partir del perfil de egreso actual, se formuló el perfil de egreso deseable.

El egresado de la Maestría en Matemáticas de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, al terminar sus estudios tendrá una sólida formación a nivel avanzado en el campo de las matemáticas de manera particular en su área de especialidad, lo que le permitirá continuar con estudios doctorales si así lo desea, lo cual debiera ser el ideal a seguir, y será capaz de incorporarse de manera eficiente en el campo profesional preferentemente en grupos o instituciones de investigación de carácter interdisciplinarios o multidisciplinarios, en caso de inclinarse por la docencia, posee la capacidad necesaria para la transmisión de conocimientos así como su integración en revisiones curriculares relacionadas al área de las matemáticas a nivel superior. De manera más precisa, las áreas generales en las que debe desenvolverse serán investigación, docencia, aplicación y la continuación de estudios doctorales.

Al egresar lo hará con las siguientes capacidades en conocimientos y habilidades:

- Conocimientos.
 - En matemáticas básicas y de especialización.
 - Conocimiento de las formas de comunicación propias de un profesional de la matemática.
 - Conocimientos sobre Metodología de la investigación científica.
- Habilidades matemáticas.

- Utilizar de manera apropiada los conocimientos básicos y de especialidad de matemáticas.
- De deducción.
- Imaginativa.
- Habilidades complementarias.
 - Redacción en general y especializada.
 - Capacidad crítica.
 - Capacidad de comunicarse de manera fluida ya sea oral o escrita en español e inglés.
- Habilidades en investigación teórica y aplicada.
 - Comprender e interpretar material especializado.

Respecto a la actitud y valores necesarios para su buen desempeño como profesional, siempre se promueve al estudiantado una actitud positiva, trabajo individual y grupal con empatía, respeto y compromiso.

5.2. PLAN DE MEJORA

Al final de la planificación del diseño, que es donde se fijan las metas para los requisitos del diseño y las prioridades para los esfuerzos del desarrollo [81] ponemos en manifiesto los elementos del programa a los que se les debe poner mayor atención para producir una mejora que impacte en el cumplimiento del perfil y por consiguiente en los resultados de los egresados. Los elementos que representan el 75% del total y que por lo tanto son fuertes indicadores de calidad que permitan fortalecer el cumplimiento del perfil y lograr que siga vigente son:

- Cursos de álgebra, análisis I y II y de especialidad
- Cursos de especialización
- Desarrollo del trabajo de tesis
- Exposición en los seminarios
- Participación en eventos nacionales e internacionales
- Realizar publicaciones
- Vinculación e intercambio a otros laboratorios o centros de investigación tanto públicos como privados.

Por lo que se propone:

1. Poner especial atención a los elementos de los cursos básicos, como son álgebra, análisis I y II así como los de especialidad en cuanto a sus contenidos, actualizaciones, bibliografía, profesores y considerar la posibilidad de orientar estos cursos básicos según la línea de investigación elegida para reforzar la especialización que es el elemento más competitivo y considerado más importante según el estudio.

2. Realizar un análisis sobre el control del desarrollo del trabajo de tesis, desde la elección de los temas, hasta el desarrollo de los foros, reformando éstos para que logren los objetivos para lo que fueron hechos y proporcionen a los estudiantes el apoyo y orientación necesaria para un buen trabajo de tesis. Destaquemos aquí que el desarrollo del trabajo de tesis junto con los cursos de especialización, son los elementos a los que primero hay que ponerles atención.
3. Se propone que los seminarios de investigación por cuerpos académicos, sean la base para la mejora de los trabajos de tesis.
4. Actualmente, realizar publicaciones no es punto obligatorio en este nivel, buscar realizarlas lograría grandes beneficios para el cumplimiento de diversas características propias del profesional como son: la capacidad de crítica, correctas formas de expresión, revisión y redacción de material especializado así como la utilización de los conocimientos en su área de especialización y en algunos casos la posibilidad de abordar problemas aplicados. Proponer un evento que muestre los avances a toda la comunidad académica que podría ampliarse a posgrados de otras instituciones.
5. En cuanto a la vinculación, este elemento se nota débil, fue identificado también por el director y el secretario de investigación, resultó con alto grado de importancia en el estudio y se propone fomentar esta actividad en los estudiantes al menos una vez para que fortalezca los conocimientos en su área, además de adquirir los necesarios para incorporarse en un proyecto de investigación, reafirmar sus formas de expresión, desarrollar habilidades como la capacidad deductiva, de crítica, plantear problemas, entre otras. Para ello, el posgrado debe buscar mantener convenios de movilidad buscando al menos uno por cuerpo académico.

5.3. DIAGNÓSTICO

Además de los resultados anteriores se pueden destacar otros resultados importantes después de realizar las 7 etapas de la metodología propuesta, se tiene fundamentalmente una estructura (casa de la calidad) que recoge los elementos necesarios para dar un diagnóstico del problema y proponer acciones de mejora.

De acuerdo a los resultados se identificaron que “los conocimientos en el área de especialización” recogen un alto grado de importancia y además es valorado por los profesores como excelente, lo que refleja una ventaja competitiva para la institución, por lo que es necesario mantener y dar a conocer esta ventaja competitiva.

Se puede decir también que “la capacidad de crítica” y “la expresión correcta en nuestro idioma”, son fuertes áreas de oportunidad debido a que según este estudio poseen alta importancia y pueden marcar la diferencia frente a la competencia, se nota además que los indicadores de calidad con los que más fuertemente se relacionan quedan en los primeros a mejorar, lo que proporciona un impulso al cumplimiento de estas características.

Se presentó una evaluación pobre por parte de los profesores a características como “Solucionar y plantear problemas aplicados de diversas áreas distintas a la matemática” y “conocimientos sobre software especializado”, sin embargo, la importancia asignada también es baja, lo que nos

lleva a sólo monitorear su cumplimiento actual sin fuertes acciones de cambio.

Parte de este diagnóstico permite identificar conflictos, ésto ocurre cuando la opinión del cliente a través de la evaluación cuantitativa difiere del concepto o percepción del producto o servicio que se ofrece, aquí se puede identificar este problema en “la capacidad de desarrollar un artículo de investigación” que valoran poco importante pero sin embargo no están satisfechos con ello, y se vuelve un conflicto pues las respuestas orientadas hacia el cumplimiento de esta característica como son “el desarrollo del trabajo de tesis” y “la participación en eventos” está en los márgenes aceptables de cumplimiento, lo que lleva a reflexionar sobre lo que está ocurriendo que es: el servicio no se da correctamente y se sobre valora o al valorar la satisfacción e importancia no le ponen la atención debida a esta característica.

Hablemos ahora del nivel que deben alcanzar los elementos del programa según el diseño que se realizó en la sección 4.9, si nos remitimos a los resultados, tales que se muestran en la casa de la calidad (Figura 4.15), se observa que lo que se debe hacer es sólo lograr los valores marginales en la mayoría de los elementos, en los que sí se debe lograr un nivel mayor son en la “realización de publicaciones”, aspecto ya comentado en el párrafo anterior, así también, lograr una mejora en “la exposición en seminarios” los cuales no existen actualmente para todos los cuerpos académicos, y en los que sí los hay no existe un control o reglamentación adecuada.

5.4. CONCLUSIONES

Como consideración inicial, debemos indicar que el proceso completo de desarrollo de QFD es un procedimiento estructurado de encadenamiento de las distintas fases, de las cuales presentamos escrupulosamente el desarrollo de la primera, la cual nos permitió alcanzar los objetivos propuestos que conforman el inicio de la planeación de la mejora, que de ser adoptada por las autoridades pertinentes puede llevarse a cabo el resto de las fases implementando los resultados en el programa de maestría. Cabe mencionar también que cuando las empresas aplican QFD en sus productos o servicios, la mayor parte de ellas sólo diseñan la primera fase con la que plantean sus estrategias de mejora y logran grandes resultados.

Por otra parte, aunque los resultados obtenidos como requerimientos de los clientes fueron amplios, se necesitaría de un consenso por todos los integrantes de la planta de profesores de la maestría para así mostrar la totalidad de opiniones las cuales pueden llegar a ser muy distintas, en el trabajo nosotros destacamos las características mostradas por la mayoría y en comparación con el perfil actual y la comparación con otros similares. De igual manera, se hace una revisión del perfil sin la intención de crear uno a partir de cero pues si se deseara crear uno nuevo se requeriría de mayor información de la parte pedagógica, aquí se pretendió hacer un análisis y revisión del perfil actual desde la perspectiva de los clientes “profesores” considerados los expertos en el tema y como representantes de la institución, principal interesada en la mejora.

En la realización del trabajo de campo es en donde se presentaron las mayores dificultades, se pretendía inicialmente realizar el estudio tomando como clientes también a los egresados, estudiantes y empresas pero el difícil acceso a las empresas y egresados aunado a la apatía por parte de los estudiantes, nos dieron pobres resultados por lo que se decidió hacer el trabajo desde el punto de vista de los profesores a quienes se consideraron son los más apropiados para el estudio debido a que conocen el papel de estos actores y al mismo tiempo el funcionamiento del programa.

En el análisis de la prioridad de los requerimientos de los clientes las técnicas fueron aplicadas a datos simulados para poder diseñar un modelo del sistema real que representan los clientes y llevar a cabo los análisis, con la finalidad de ver el comportamiento del sistema y obtener así las prioridades, objetivo inicial.

AHP es un método fuertemente fundamentado y estudiado, sin embargo es de difícil aplicación en la práctica pues se vuelve tedioso para los encuestados y no se logra su cooperación, para ahorrar esfuerzos en este trabajo desde un inicio se construyó consistente la matriz de comparación entre pares y los clientes dieron su valoración en la escala fundamental aunque sin conocer explícitamente su descripción. Por otro lado la aplicación de Thurstone se realizó a través de la escala 1-9 variante del método que propone 1-5 sin embargo esto no afecta en la justificación del método debido a que la valoración se traduce a un ordenamiento de las alternativas lo que no varía si se cambia esta escala, además su fundamento evalúa de forma estadística la preponderancia de cada alternativa frente a otra, lo que permite tener una buena fiabilidad de los resultados, es por esto que consideramos que este método puede representar mejor la voz de los clientes en este caso, cuyos resultados son los que se llevan a la casa de la calidad, sin embargo, podemos notar que los resultados que arrojaron ambos métodos son muy semejantes, en cuanto a los pesos y orden de prioridad.

Cuando realizamos el “benchmarking” se debe recalcar que las valoraciones en el servicio y características se identificaron muy parecidas, pues según las entrevistas realizadas se indica que el funcionamiento de cada una de ellas es muy similar con elementos y estrategias parecidas.

Todos estos primeros resultados que constituyen la matriz de planificación de la calidad quedan reflejados en la revisión del perfil de egreso que permitió identificar si el actual sigue vigente o hay algo que modificar. La conclusión final es que al hacer una comparación del perfil obtenido con el actual, las características son muy similares, lo que era de esperarse debido a que el deseable se construyó a partir del actual, revisando sus elementos, lo que nos llevó a enfatizar las características que surgieron como más importantes y replanteando las menos esenciales. Podemos decir que el actual está muy cerca de ser el deseable, siempre y cuando se realicen las acciones necesarias para lograr su cumplimiento, algunas de las cuales se identificaron en este trabajo, así también ponerle especial atención a las características que se identificaron en el deseable y no aparecen explícitamente en el actual como son “los conocimientos sobre Metodología de la investigación científica”, habilidades de “deducción, imaginativa y de crítica” y finalmente notar que características que existen actualmente como “conocimientos para ingresar a la planta docente (pedagógicos)” y “formación para incorporarse en un proyecto de investigación científica o tecnológica”, son poco valoradas.

Notemos que se ha desarrollado una metodología que permite revisar el perfil de egreso de una Maestría en Ciencias (Matemáticas). Esta metodología combina QFD con herramientas matemáticas como lo fueron AHP, Thurstone, ELECTRE, Qbench, Diagramas de afinidad, diseño de encuestas y TOPSIS orientadas a una institución educativa. El proceso del Despliegue de la Función de Calidad con los aspectos aquí descritos, se puede llevar para su aplicación a otro programa educativo de nivel posgrado, adaptando y eligiendo las herramientas adecuadas según sus características.

La aplicación de la metodología diseñada a la Maestría en estudio, permitió desarrollar una

propuesta de actualización del perfil de egreso, un futuro desarrollo es llevar a cabo las acciones de mejora, planeando su ejecución con el resto de las etapas de QFD hasta llegar al control, sin embargo, de ser adoptada la metodología completa aquí expuesta, debe tenerse la cooperación total de los integrantes de la Maestría como lo sugiere la misma metodología de QFD creando un equipo multidisciplinario, para poder tener resultados robustos, consensados y correctamente orientados.

Un aspecto más a destacarse es que el estudio se realizó con dos de los clientes potenciales (profesores y estudiantes), pero puede reforzarse complementando el proceso con el resto de los clientes identificados, creando así un enfoque general de las características que deben estar integradas en el perfil de egreso tomando en cuenta todas las direcciones que debe poder tomar un egresado de esta área.

Abordar un trabajo de aplicación trae consigo complicaciones que van más allá de la teoría matemática, el hecho de llevar los conocimientos al mundo real, involucra aprender también del ámbito al que se aplica, en este caso el de un perfil de egreso, así como las herramientas intermedias que permitan ligar el problema con su mecanismo de solución como lo hizo QFD para poder finalmente llegar a los métodos matemáticos, usando el razonamiento para ajustarlos al problema, aplicarlos con los datos reales que fuera de ser ideales, se presentan en formas inesperadas, lo que nos lleva por ejemplo a hablar de una importante dificultad que se presentó y que se tuvo que superar, esta fue: la disponibilidad de los clientes, lo que alargó el trabajo en la fase correspondiente además de ser la más esencial en el desarrollo de QFD. Por lo que agradezco ampliamente a los profesores y estudiantes que me dieran el tiempo y cooperación para poder realizar este trabajo.

Mi apreciación final de la Metodología QFD con sus herramientas es que establece un sistema organizado, que nos permite hacer un mapa del problema, tomando decisiones valoradas, con el que es factible visualizar soluciones reales en un mundo donde la competencia y la búsqueda de la calidad son la realidad diaria presente. Pero también, por otro lado es esencial que se haga en equipo, con una nueva cultura de calidad, que involucre esfuerzo, dedicación e intuición creativa porque un conjunto de herramientas así sean las más fuertes, no trabajan solas, es necesaria la mente innovadora para hacerlas funcionar.

La presente tesis se realizó con el interés inicial de aprender a resolver un problema real, involucrando el área de control estadístico de la calidad, pero el objetivo se volvió más ambicioso de lo que se pensaba ya que durante el trabajo de respuesta, la metodología de QFD fue marcando la necesidad de clasificar alternativas con una característica inherente en ellas, que es la subjetividad. La literatura siempre recomendó resolver este tipo de situaciones a través del uso de teoría de decisiones, herramienta matemática que fundamentó la mayor parte del tratamiento matemático.

En el transcurso del trabajo, como parte de la evaluación continua de cada fase, se fueron alcanzando resultados que se buscaron presentar en diversos eventos de corte internacional, obteniendo las siguientes participaciones y productos académicos:

Capítulo de libro:

“Calidad en la enseñanza de cursos de matemáticas en nivel superior”, Contribuciones a la

Enseñanza y Aprendizaje de la Probabilidad y la Estadística. Fomento Editorial BUAP, Vol. 1, pp. 183-192. (2013).

Ponencias:

“Priorización de las características del perfil de egreso de una Maestría en Ciencias Matemáticas a través de TOPSIS y AHP”. First International Conference on Mathematics and Applications. Puebla, México. (2014).

“Calidad en la gestión de servicios. Un enfoque al servicio educativo, los casos de la Maestría en Ciencias (Matemáticas) y la Maestría en Educación Matemática de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla”. Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos. Guanajuato, México. (2014).

“Metodología para la obtención de los Qués en la casa de la calidad para la determinación del perfil de egreso en una maestría en matemáticas”. XXVIII Reunión Latinoamericana de Matemática Educativa. Barranquilla, Colombia. (2014).

“Diseño descriptivo de la metodología para la recopilación de la voz de los clientes para la definición del perfil de egreso de una maestría en ciencias matemáticas”. Cuarto Encuentro Internacional de la Enseñanza en la Probabilidad y la Estadística. Puebla, México. (2014).

“Calidad en la enseñanza de cursos de matemáticas en nivel superior”. Congreso Nacional de la Sociedad Matemática Mexicana. Yucatán, México. (2013).

“Calidad en la enseñanza de cursos de matemáticas en nivel superior”. Tercer Encuentro Internacional en la Enseñanza de la Probabilidad y la Estadística. Puebla, México. (2013).

Publicaciones.

“Calidad en la gestión de servicios. Un enfoque al servicio educativo, los casos de la Maestría en Ciencias (Matemáticas) y la Maestría en Educación Matemática de la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. ECORFAN HAND-BOOKS, área de ciencias naturales y exactas. Volumen 2, Número 2. (2014).

“Metodología para la obtención de los Qués en la casa de la calidad para la determinación del perfil de egreso en una maestría en matemáticas”. Acta Latinoamericana de Matemática Educativa, Volumen 28. (2015).

Apéndice A

Entrevista a los directivos

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS	
OBJETIVO	
El objetivo de este cuestionario es conocer la opinión de los directivos sobre la formación profesional recibida por los estudiantes de la Maestría en Ciencias (Matemáticas), con la finalidad de identificar el grado de cumplimiento del perfil de egreso.	
INSTRUCCIONES	
En cada una de las preguntas explique de manera amplia su respuesta. Si en alguna de ellas la respuesta es SI, mencione COMO, si es NO, proporcione una sugerencia para el cumplimiento.	
CONOCIMIENTOS BÁSICOS	
<ol style="list-style-type: none">1. ¿Cuáles se consideran las áreas básicas?2. ¿Se adquiere el conocimiento detallado de las áreas básicas?3. ¿Cuáles son las áreas de especialización?4. ¿Se adquiere el conocimiento detallado del área de especialización?5. ¿Cuál es la formación y conocimientos necesarios para ingresar a la planta docente de nivel superior de cualquier institución educativa?6. ¿Se adquieren en esta maestría?	
DESARROLLO DE HABILIDADES	
<ol style="list-style-type: none">7. ¿Cómo se adquiere la capacidad de aplicar métodos matemáticos en el análisis y la resolución de problemas matemáticos complejos?8. ¿Cómo se adquiere la capacidad para plantearse y resolver problemas de investigación en matemáticas, es suficiente?9. ¿Cómo se obtiene la capacidad y conocimientos suficientes para incorporarse a algún proyecto de investigación científica o tecnológica que requiera un matemático. Se establece realmente vinculación de este tipo. ¿Todos los alumnos tienen la oportunidad de cumplir con esta característica?10. ¿Cómo evalúan la capacidad y habilidad para expresar los resultados de una investigación de manera oral y escrita en español. Y en inglés, es suficiente este tipo de evaluación?	
ORIENTACIÓN VALORATIVA	
<ol style="list-style-type: none">11. ¿Se inculca responsabilidad y ética profesional?12. ¿Se manifiesta conciencia social de solidaridad, justicia y respeto por el medio ambiente?13. ¿Cómo se desarrolla la capacidad para socializar el conocimiento adquirido?14. ¿Cómo se usa el conocimiento que se adquiere en beneficio de la sociedad y el medio ambiente?	
FACTORES EXTRAS	
<ol style="list-style-type: none">15. ¿En su experiencia considera que existen otras características indispensables en el perfil de egreso de los alumnos que no se cumplen o se cumplen parcialmente?16. ¿Qué sugeriría para el cumplimiento?17. Otras maestrías plasman otras características como:<ul style="list-style-type: none">• Conjugar estos conocimientos con los de otras disciplinas para poder aplicarlos a la producción y los servicios (UNAM)• Capacidad para utilizar diferentes estrategias de investigación (UV)	
¿Cree que harían falta en ésta maestría, cree que va están incluidos, dónde?	

Apéndice B

Herramientas para la identificación de la VOC

B1. Grupo Focal

1. Planteamiento de los objetivos de la investigación

- a) Identificar las características que deben formar el perfil de egreso, en base a la opinión de los profesores.
 - Describir: ¿Cómo medirlas?

2. Planificación de la sesión y las preguntas sobre el tema de investigación.

- a) *Exponer los objetivos de la reunión, breve introducción sobre el tema a discutir para motivar a los participantes a la reflexión y a que expresen sus respuestas e inducirlos al tema.*
- b) *¿Qué características consideran que debe proporcionar la Maestría en Ciencias (Matemáticas) en cuanto a?:*

Conocimientos:

- Filosóficos y humanísticos de la disciplina
- Teóricos metodológicos para la investigación en la ciencia
- Teóricos metodológicos para la educación de la disciplina profesional
- Teóricos metodológicos para la práctica profesional innovadora

Habilidades:

- Diseño e implementación de procesos de diagnóstico
- Implementación de una metodología de valoración
- Diseño de intervenciones basadas en la evidencia científica
- Implementación de evaluación de procesos
- Para la gestión de los recursos en la implementación de procesos
- Publicación de los resultados de los procesos

- c) *Describir cada una de las características y una estrategia de medición.*

- d) *Creación de equipos para trabajar, 4 personas para conocimientos y 5 para habilidades por cuestión operacional, registrando la información en el formato de identificación de características.*
- e) *Consensar las características obtenidas al plantearlas en el grupo, pedir que cada equipo de una explicación de las trabajadas y establecer acuerdos.*
- f) *Priorizar las características en base a la importancia en el cumplimiento. Proporcionar puntajes en la escala del 1 al 9 según qué tan importante es que la característica sea cumplida (9 muy importante a 1 casi nada importante).*
- g) *Remarcar acuerdos y resumir conclusiones.*
- h) *Concluir la sesión.*

3. Audiencia

Arrazola Ramírez José Ramón Enrique
Bustamante González Jorge
Juárez Hernández Bulmaro
Mendoza Torres Francisco Javier
Macías Romero Fernando
Fraguela Collar Andrés
Cruz Suárez Hugo Adán
Escamilla Reyna Juan Alberto
Jiménez Pozo Miguel Antonio

4. Equipo de trabajo

- MODERADOR: Gladys Denisse Salgado Suárez.
- COLABORADOR: José Dionicio Zacarías Flores.

5. Compartir los resultados.

Se retroalimentará a los participantes en la conclusión de la sesión.

6. Analizar los resultados

El análisis del material debe ser muy especializado. El investigador hará una revisión exhaustiva de toda la sesión desde su inicio hasta su finalización.

MINUTA DE REUNIÓN DE TRABAJO

I. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	Hora:
Lugar:	Moderador:
Temática:	Colaborador:
Tiempo estimado: 120 minutos	Objetivo: Identificación de los Qués

II. PARTICIPANTES	
Nombre y apellido	Registro de Asistencia
Arrazola Ramírez José Ramón Enrique	
Bustamante González Jorge	
Cruz Suárez Hugo Adán	
Escamilla Reyna Juan Alberto	
Jiménez Pozo Miguel Antonio	
Juárez Hernández Bulmaro	
Mendoza Torres Francisco Javier	
Macías Romero Fernando	
Fraguela Collar Andrés	

III. AGENDA	
Núm.	Objetivo
1	Identificar las características que deben formar el perfil de egreso
2	Describir la definición operativa

NOTAS

TEMAS PENDIENTES
Determinar los requerimientos críticos Definir los rangos de medición

FORMATO DE SESION CONTENIDO DEL PERFIL DE EGRESO			
1. CONOCIMIENTOS			
		Prioridad	¿Cómo medirlo?
1.	Filosóficos y humanísticos de la disciplina		
2.	Teóricos metodológicos para la investigación en la ciencia	Prioridad	¿Cómo medirlo?
3.	Teóricos metodológicos para la educación de la disciplina profesional	Prioridad	¿Cómo medirlo?
4.	Teóricos metodológicos para la práctica profesional innovadora	Prioridad	¿Cómo medirlo?
2. HABILIDADES			
5.	Diseño e implementación de procesos de diagnóstico	Prioridad	¿Cómo medirlo?
6.	Implementación de una metodología para la valoración (Mecanismos de medición de actividades relacionadas a tu profesión)	Prioridad	¿Cómo medirlo?
7.	Diseño de participaciones basadas en la evidencia científica (Trabajos de investigación, presentaciones, etc.)	Prioridad	¿Cómo medirlo?
8.	Implementación de una evaluación de procesos (Aplicar procedimientos que permitan evaluar procesos relacionados a tu profesión)	Prioridad	¿Cómo medirlo?
9.	Gestión de los recursos en la implementación de procesos	Prioridad	¿Cómo medirlo?
10.	Publicar, mostrar o transmitir tus resultados por diversos medios	Prioridad	¿Cómo medirlo?
Características			

INVITACIÓN

Con el propósito de fortalecer el programa de maestría en Ciencias (Matemáticas) de la FCFM BUAP y dado que recientemente se ha obtenido el reconocimiento internacional, es de gran interés que mantenga el nivel alcanzado y se logre el liderazgo ante las maestrías afines líderes en la actualidad en cuanto a la calidad de sus egresados, por ello hemos tomado gran interés en el estudio del perfil de egreso, que como se menciona en el Modelo Universitario Minerva (MUM), especifica las características de un egresado “para que expresen (además de los conocimientos, las habilidades, actitudes y valores acordes con la propuesta de formación integral y pertinente) los denominados cuatro pilares de la educación: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a ser y aprender a vivir juntos, agrega también el aprender a emprender, el aprender a desaprender, así como el compromiso con la integración social” (BUAP, 2009).

Por esta razón y debido a que existen indicios de que actualmente la maestría tiene ciertas debilidades (Formación y conocimientos necesarios para ingresar a la planta docente, la resolución de problemas complejos e investigación, vinculación, lograr un segundo idioma (inglés), etc.) nuestra meta es fortalecerla planteando una propuesta de mejora del perfil de egreso la cual considera una normatividad y metodología de trabajo para llevar el control de la implementación, en la cual parte del proceso es escuchar las opiniones del profesorado para que en base a sus conocimientos y experiencia se logren buenos resultados, para ello le solicitamos a usted que forme parte del Grupo Focal formado para identificar las características deseables que debe contemplar el perfil de egreso de la Maestría en Ciencias (Matemáticas) a la que forma parte, de acuerdo a los lineamientos del MUM que señala la siguiente guía general:

Conocimientos:

- Filosóficos y humanísticos de la disciplina
- Teóricos metodológicos para la investigación en la ciencia
- Teóricos metodológicos para la educación de la disciplina profesional
- Teóricos metodológicos para la práctica profesional innovadora

Habilidades:

- Diseño e implementación de procesos de diagnóstico
- Implementación de una metodología de valoración
- Diseño de intervenciones basadas en la evidencia científica
- Implementación de evaluación de procesos
- Para la gestión de los recursos en la implementación de procesos
- Publicación de los resultados de los procesos

Actitudes y valores:

- Trabajo en equipo
- Responsabilidad

- Solidaridad
- Compromiso social y con la disciplina
- Respeto a la dignidad humana
- Poner la ciencia y sus avances al servicio de la humanidad

B2. Encuesta de identificación de características

OBJETIVO						
El objetivo de este cuestionario es conocer su opinión sobre la las características que deben poseer los egresados de una Maestría en Ciencias (Matemáticas), con la finalidad de identificar un perfil de egreso deseable.						
I. DESEMPEÑO		IMPORTANCIA				
Escriba en general qué habilidades son necesarias para ejercer la profesión ya sea en, continuación de estudios, laborar en el sector productivo, laborar en la enseñanza o realizar investigación.		Indica con una "X" que tan importante es la característica descrita.				
		Nada importante	Poco importante	Medianamente importante	Algo importante	Muy importante
1.						
II. CAPACIDAD		IMPORTANCIA				
Escriba qué habilidades matemáticas deben poseer los egresados de una maestría en Matemáticas.		Indica con una "X" que tan importante es la característica descrita.				
		Nada importante	Poco importante	Medianamente importante	Algo importante	Muy importante
1.						
III. CALIDAD PERCIBIDA		IMPORTANCIA				
Indique las características que hacen que se perciba al egresado de manera distinguida o superior a egresados de otras maestrías.		Indica con una "X" que tan importante es la característica descrita.				
		Nada importante	Poco importante	Medianamente importante	Algo importante	Muy importante
1.						
IV. CONVENIENCIA		IMPORTANCIA				
Escriba las características que debe tener un egresado de una maestría en matemáticas que hacen que se pueda trabajar de manera empática.		Indica con una "X" que tan importante es la característica descrita.				
		Nada importante	Poco importante	Medianamente importante	Algo importante	Muy importante
1.						
V. APARIENCIA		IMPORTANCIA				
Escriba las características en los egresados que provoquen una buena primera impresión. (Apariencia exterior y buena actitud).		Indica con una "X" que tan importante es la característica descrita.				
		Nada importante	Poco importante	Medianamente importante	Algo importante	Muy importante
1.						
VI. CONFIABILIDAD Y DURABILIDAD		IMPORTANCIA				
Indique qué tipo de experiencia necesitan adquirir los estudiantes de una maestría en matemáticas para ejercer satisfactoriamente su profesión ya sea en, continuación de estudios, laborar en el sector productivo, laborar en la enseñanza o realizar investigación.		Indica con una "X" que tan importante es la característica descrita.				
		Nada importante	Poco importante	Medianamente importante	Algo importante	Muy importante
1.						
VII. SEGURIDAD Y CONFORMIDAD		IMPORTANCIA				
Enliste la preparación académica que debe tener un egresado de una maestría en matemáticas para desempeñarse en el ámbito laboral, investigación o docencia.		Indica con una "X" que tan importante es la característica descrita.				
		Nada importante	Poco importante	Medianamente importante	Algo importante	Muy importante
1.						
VIII. INSTALACIÓN Y DISTRIBUCIÓN		IMPORTANCIA				
Escriba las habilidades que debe poseer el egresado para darse a conocer como profesionista.		Indica con una "X" que tan importante es la característica descrita.				
		Nada importante	Poco importante	Medianamente importante	Algo importante	Muy importante
1.						
IX. FACILIDAD DE AUTOCAPACITACIÓN		IMPORTANCIA				
Escriba las capacidades que deben poseer los egresados para que de ser necesario, puedan adquirir por sí mismos, nuevos conocimientos o actualizar los que ya poseen.		Indica con una "X" que tan importante es la característica descrita.				
		Nada importante	Poco importante	Medianamente importante	Algo importante	Muy importante
1.						

Apéndice C

Encuesta para valorizar la importancia

El cuestionario se validó a través de un panel de profesores expertos conocedores de la materia, entre los cuales está el evaluador [49], ellos proporcionaron información para mejorar el cuestionario para que éste cumpla con el nivel de la audiencia, el propósito y objetivos del estudio. Las recomendaciones del panel orientaron a facilitar la claridad de las preguntas, la relevancia de las mismas, el número de preguntas adecuado, se sugirió el cambio o eliminación de algunas preguntas, uso apropiado de las palabras, etc., generando el cuestionario final.

**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS**

OBJETIVO

El objetivo de este cuestionario es conocer su opinión sobre la formación profesional que debe poseer el egresado de la Maestría en Ciencias (Matemáticas), con la finalidad de identificar la importancia de las características propuestas para la construcción del perfil de egreso deseable.

	Grado de importancia		Nivel de satisfacción actual	
	1: poco importante	9: muy importante	1: poco satisfecho...	9: muy satisfecho
CONOCIMIENTOS BÁSICOS DE MATEMÁTICAS				
R_1 = Conocimientos en matemáticas fundamentales				
R_2 = Conocimientos matemáticos en el área de especialización				
R_3 = Software especializado				
R_4 = Conocimiento de las formas de expresión propias de un profesional de la matemática				
R_5 = Conocimientos sobre las distintas actividades que realiza un matemático				
CONOCIMIENTOS FILOSÓFICOS Y HUMANÍSTICOS DE LA DISCIPLINA				
R_6 = Conocimientos del estado del arte de la disciplina				
R_7 = Conocimientos básicos de las distintas filosofías de las matemáticas				
R_8 = Conocimientos básicos de historia de las matemáticas				
R_9 = Cultura matemática				
CONOCIMIENTOS PARA LA INVESTIGACIÓN				
R_{10} = Conocimientos sobre Metodología de la investigación				
R_{11} = Conocimientos sobre herramientas para poder desarrollar investigación				
R_{12} = Conocimientos para incorporarse a algún proyecto de investigación científica o a algún proyecto tecnológico que requiera de un matemático				
CONOCIMIENTOS PARA LA APLICACIÓN Y RELACIÓN CON OTRAS CIENCIAS				
R_{13} = Conocimientos sobre gestión				
R_{14} = Conocimientos del idioma inglés				
R_{15} = Conocimientos de técnicas para el análisis experimental				
R_{16} = Conocimientos de la relación de las matemáticas con otras ciencias				
CONOCIMIENTOS PARA LA DOCENCIA				
R_{17} = Conocimientos pedagógicos				

	Grado de importancia 1: poco importante ... 9: muy importante	Nivel de satisfacción actual 1: poco satisfecho ... 9: muy satisfecho
HABILIDADES BÁSICAS DE MATEMÁTICAS		
<i>R₁₈ = Manejar los conocimientos fundamentales de matemáticas</i>		
<i>R₁₉ = Utilizar los conocimientos fundamentales de su área de especialización</i>		
<i>R₂₀ = Habilidad de deducción</i>		
<i>R₂₁ = Habilidad analítica</i>		
<i>R₂₂ = Habilidad imaginativa</i>		
<i>R₂₃ = Tener intuición matemática</i>		
HABILIDADES COMPLEMENTARIAS		
<i>R₂₄ = Gestionar recursos de cualquier índole</i>		
<i>R₂₅ = Redacción general y especializada</i>		
<i>R₂₆ = Organización laboral</i>		
<i>R₂₇ = Expresarse correctamente en inglés manera oral y escrita</i>		
<i>R₂₈ = Expresarse correctamente en español manera oral y escrita</i>		
<i>R₂₉ = Autosuficiencia para el estudio</i>		
<i>R₃₀ = Calidad en sus trabajos</i>		
<i>R₃₁ = Capacidad de crítica</i>		
<i>R₃₂ = Innovar</i>		
HABILIDADES PARA LA INVESTIGACIÓN		
<i>R₃₃ = Búsqueda de información</i>		
<i>R₃₄ = Comprender e interpretar artículos de investigación</i>		
<i>R₃₅ = Desarrollar un artículo de investigación</i>		
<i>R₃₆ = Plantear problemas reales</i>		
<i>R₃₇ = Plantear problemas de investigación en matemáticas</i>		
HABILIDADES PARA LA DOCENCIA		
<i>R₃₈ = Transmisión del conocimiento</i>		
HABILIDADES PARA LA APLICACIÓN Y RELACIÓN CON OTRAS CIENCIAS		
<i>R₃₉ = Solucionar y plantear problemas prácticos de diversas áreas</i>		
<i>R₄₀ = Aplicar los conocimientos y métodos estudiados en la solución de problemas aplicados en su especialidad.</i>		

Apéndice D

Programas en Matlab

D1. Programa AHP

```
%v = número de variables;
%s = número de sujetos encuestados;
D = zeros(s, v);
R = zeros(v, v, s);
W = zeros(v, v);
V = zeros(v, 1);
Rn = zeros(v, v);
w = zeros(v, 1);
suma = zeros(v, 1);
%lectura de datos de las asignaciones de importancia
D = xlsread('datos', 'Hoja1');
%Valoración
for k = 1 : s
for i = 1 : v
for j = 1 : v
R(i, j, k) = D(k, i)/D(k, j);
end
end
end
%Agregación
for i = 1 : v
for j = 1 : v
W(i, j) = geomean(R(i, j, :));
end
end
%Priorización y síntesis
for j = 1 : v
suma(j) = sum(W(:, j));
for i = 1 : v
Rn(i, j) = W(i, j)/suma(j);
end
end
```

```
for i = 1 : v
w(i) = (1/v) * sum(Rn(i, :));
end
prioridad = w * 0.5;
```

D2. Programa Thurstone

```
%v =numero de variables;
%s =numero de sujetos encuestados;
R = zeros(v, s);
F = zeros(v, v);
P = zeros(v, v);
Z = zeros(v, v);
S = zeros(v, 1);
V = zeros(v, 1);
M = zeros(v, 1);
%lectura de datos de las asignaciones de importancia
R = xlsread('datos','Hoja1');
%Matriz F de Frecuencias de preferencias
for k = 1 : v
for j = 1 : v
for i = 1 : s
if R(i, k) > R(i, j)
F(k, j) = F(k, j) + 1;
else if R(i, k) == R(i, j)
F(k, j) = F(k, j) + 0.5;
end
end
end
end
end
%Construcción de la matriz P de probabilidades
for m = 1 : v
for l = 1 : v
P(m, l) = F(m, l)/s;
end
end
%Construcción de la matriz Z (estandarización de P)
for i = 1 : v
for j = 1 : v
if P(i, j) == 0
Z(i, j) = norminv(1 - 0.001, 0, 1);
else if P(i, j) == 1
Z(i, j) = norminv(1 - 0.999, 0, 1);
else Z(i, j) = norminv(1 - P(i, j), 0, 1);
end
end
end
end
```

```
end
%Obtención de los valores de importancia
%de las variables en la escala de Thurstone
for j = 1 : v
for i = 1 : v
S(j) = S(j) + Z(i, j);
M(j) = S(j)/v;
end
end
%Reescalamiento
a = (max(M) - 5 * min(M))/(max(M) - min(M));
b = 4/(max(M) - min(M));
for i = 1 : v
V(i) = a + b * M(i);
end
```

D3. Programa TOPSIS

```
%n =número de criterios;
%m =número de alternativas;
%en archivo datost : hoja1 > matriz de decisión, hoja2 > renglón de pesos, hoja3 > alternativa
mejor y peor en fila
W = zeros(n);
X = zeros(m, n);
N = zeros(m, n);
V = zeros(m, n);
w = zeros(n);
A = zeros(2, n);
dp = zeros(m, 1);
dn = zeros(m, 1);
u1 = zeros(1, m);
u2 = zeros(1, m);
R = zeros(m, 1);

% Paso 1. Matriz de decisión
w = xlsread('datost', 'Hoja2');
X = xlsread('datost', 'Hoja1');

%Paso 2. Normalización de la matriz
N = (1/9) * X;

%Paso 3: Construir la matriz de decisión normalizada ponderada
for j = 1 : n
su = sum(w);
W(j) = w(j)/su;
end
for j = 1 : n
for i = 1 : m
```

```
V(i, j) = W(j) * N(i, j);  
end  
end
```

```
%Paso 4: Determinar la solución ideal positiva (PIS) y la solución ideal negativa (NIS)  
A = xlsread('datos', 'Hoja3');
```

```
%Paso 5: Cálculo de las medidas de distancia  
for i = 1 : m  
u1 = V(i, :) - A(1, :);  
u2 = V(i, :) - A(2, :);  
dp(i) = sqrt(u1 * u1');  
dn(i) = sqrt(u2 * u2');  
end
```

```
%Paso 6: Cálculo de la proximidad relativa a la solución ideal  
for i = 1 : m  
R(i, 1) = dn(i)/(dp(i) + dn(i));  
end
```

```
%Paso 7: impresión de proximidad  
R
```

D4.Cálculo de Cuántos

```
%n=número de QUES;  
%m=número de COMOS;  
%en archivo casa: hoja 1 > matriz de decisión, >Columna de argumento de venta,  
%> importancia relativa, > ratio de mejora > pesos comos
```

```
R = zeros(n, m);  
c = zeros(n, m);  
V = zeros(23, 1);  
I = zeros(23, 1);  
M = zeros(n, 1);  
q = zeros(1, m);  
NCA = zeros(1, m);  
k = 1;  
a = 0;  
ratio = 0;
```

```
% leer los datos  
R = xlsread('casa', 'Hoja1', 'F16 : S37');  
V = xlsread('casa', 'Hoja1', 'W16 : W38');  
I = xlsread('casa', 'Hoja1', 'Z16 : Z38');  
M = xlsread('casa', 'Hoja1', 'X16 : X37');  
q = xlsread('casa', 'Hoja1', 'F40 : S40');
```

```
for j = 1 : m
for t = 1 : n
if R(t,j) == 9
c(t,j) = t;
else
c(t,j) = 23;
end
end

for i = 2 : n - 1
if V(c(k,j),1) > V(c(i,j),1)

else
if (V(c(k,j),1) == V(c(i,j),1)) && (I(c(k,j),1) > I(c(i,j),1))

else
k = i;
end
end
end

ratio = M(k,1);

if V(k,1) == 1.5
a = 0.05;
else
if V(k,1) == 1.2
a = 0.02;
else
a = 0;
end
end

NCA(1,j) = q(1,j) * ratio * (1 - a);
end
```

D5. ELECTRE II

```
%n=número de alternativas;
%m=número de criterios;
%c1,c3,c3 umbrales de concordancia;
%
g = zeros(m,n);
W = zeros(m,1);
Pp = zeros(n,n);
Pn = zeros(n,n);
Pi = zeros(n,n);
Sd = zeros(n,n);
```

```
Sf = zeros(n, n);
C = zeros(n, n);
d = zeros(2, m);
D = zeros(n, n);
q1 = zeros(n, n);
q2 = zeros(n, n);

%lectura de datos de los valores de las alternativas en los criterios
g = xlsread('datos_e', 'Hoja1');
W = xlsread('datos_e', 'Hoja2');
d = xlsread('datos_e', 'Hoja3');

%cálculo de los P
for i = 1 : n
for k = 1 : n
for j = 1 : m
if g(j, i) > g(j, k)
Pp(i, k) = Pp(i, k) + W(j);
else if g(j, i) < g(j, k)
Pn(i, k) = Pn(i, k) + W(j);
else
Pi(i, k) = Pi(i, k) + W(j);
end
end
end
end
end

%Indices de concordancia
for i = 1 : n
for k = 1 : n
C(i, k) = Pp(i, k) + Pi(i, k);
end
end

%prueba de no-discordancia
for i = 1 : n
for k = 1 : n
D(i, k) = g(j, k) - g(j, i);
end
end

%Sobreclasificación
for i = 1 : n
for k = 1 : n
for j = 1 : m
if D(i, k) <= d(j, 1)
```

```
q1(i, k) = q1(i, k) + 1;
end
end
end
end
```

```
for i = 1 : n
for k = 1 : n
for j = 1 : m
if D(i, k) <= d(j, 2)
q2(i, k) = q2(i, k) + 1;
end
end
end
end
```

```
for i = 1 : n
for k = 1 : n
t = Pp(i, k)/Pn(i, k);
if (C(i, k) >= c1&&q1(i, k) == m&&t >= 1)|| (C(i, k) >= c2&&q2(i, k) == m&&t >= 1)
Sf(i, k) = 1;
else if (C(i, k) >= c3&&q1(i, k) == m&&t >= 1)
Sd(i, k) = 1;
end
end
end
end
```


Bibliografía

- [1] Aczél, J. “Sur les opérations définies pour nombres réels”. Bull. Soc. Math. Bulletin de la Société Mathématique de France, Vol. 16, pp. 59-64. (1949). Citado en Aczel y Saaty, (1983).
- [2] Aczel, J., Saaty, T.L. . “Procedures for synthesising ratio judgements”, Journal of Mathematical Psychology. Vol. 27, pp. 93-102. (1983).
- [3] Akao, Y. y Mazur, G. “The leading edge in QFD: past, present and future”. International Journal of Quality and Reliability Management. Vol. 20, No. 1. (2003).
- [4] Alcalde, P. “Calidad”. Ed. Paraninfo. (2007).
- [5] Arnaz, J. A. Dirección de Recursos Humanos de la ANUIES. (1981).
- [6] Balderrama, I. M. “Diseño de una metodología para la actualización de contenidos curriculares dedicados al estudio de la tecnología CIM en carreras universitarias tecnológicas.” (Tesis inédita de doctorado). Universitat Ramon Llull.(2008).
- [7] Bana e Costa, C. A. “Les problématiques de l’aide a la décision: vers l’enrichissement de la trilogie choix-tri-rangement”, Reserche Opérationnelle/Operations Research, Vol. 30, No.2, pp.191-216. (1996).
- [8] Becker Associates Incorporated. Cursos de entrenamiento para desarrolladores QFD.(2008).
- [9] Begoña, V. Teoría de la decisión: Decisión con incertidumbre, decisión multicriterio y teoría de juegos. Universidad Complutense. Madrid. (2007).
- [10] Beltrán, J., Carmona, M., Carrasco, R., Rivas, M. y Tejedor, F. “Guía para una gestión basada en procesos”. Instituto Andaluz de Tecnología. (2009).
- [11] Bemowski, K. “The benchmarking bandwagon”, Qual. Prog., Vol. 24, No.1, pp.19-24.(1991).
- [12] Bernal L, Dornberger, U. y Suvelza J. “Quality Function Deployment (QFD) Para Servicios”, Manual, Innoways GmbH. Alemania. (2009).
- [13] Breiman, L. “Statistical modeling: the two cultures”, Statistical Science No. 16, pp. 199-231. (2001).
- [14] Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. *Reglamento General de Estudios de Posgrado*.
- [15] Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. “Modelo Universitario Minerva”. Primer cuadernillo informativo. (2006).

-
- [16] Benemérita Universidad Autónoma de Puebla “Fundamentos Modelo Universitario Minerva”. México: BUAP. (2009).
- [17] Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. “Marco de referencia para la evaluación y seguimiento de programas de posgrado”. (2011).
- [18] Benemérita Universidad Autónoma de Puebla . “Programa de Maestría en Ciencias (Matemáticas)”. (2012).
- [19] Bolaños, M. La calidad de la educación para el siglo XXI.Revista semestral del consejo técnico de la educación. Vol. 12, No. 53. (1998).
- [20] Cañal de León, Pedro. “La innovación educativa”. (2002).
- [21] Chambers, J. M., Cleveland, W. S., Kleiner, B. and Tukey, P. A. “Graphical Methods for Data Analysis”, Wadsworth, Belmont, CA. (1983).
- [22] Chaudha, A, Jain, R., Singh, A.R. and Mishra, P. K. “Integration of Kano’s Model into quality function deployment (QFD)”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 53, No. 5, pp. 689-98. (2011).
- [23] Chen S. J. and Hwang, C. L. “Fuzzy Multiple Attribute Decision Making”, Springer-Verlang Berlin ed. (1992).
- [24] Chuang, P.T. “Combining the analytic hierarchy process and quality function deployment for a location decision from a requirement perspective”. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 18, No. 11, pp. 842-849 (2001).
- [25] Colunga, C. “La Calidad en el Servicio al Cliente”. 1ra. Edición. Panorama Editores, México. (1995).
- [26] COM. Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Política de la innovación: actualizar el enfoque de la Unión en el contexto de la estrategia de Lisboa. Bruselas. (2003).
- [27] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Sistema de consultas. (2012).
- [28] Crespo, G. O., y Gutiérrez, E. B. Á. “Herramientas multicriterio en el despliegue de la función de calidad”. Contribuciones a la Economía, Vol. 4. (2012).
- [29] Cruz, J. “Historia de la calidad”. EXCELLENTIA, pp. 8-14. (2000)
- [30] Cruz, J. “Educación y calidad total”. Distrito Federal, México: Iberoamérica. (1997).
- [31] De Vicente, M. A. “Ayuda multicriterio a la decisión: problemática de los criterios en los metodos de sobreclasificación”. (Tesis inédita de doctorado). Universidad Complutense de Madrid. (1998).
- [32] Díaz de Rada, V. “Tipos de encuestas y diseños de investigación”. Colección Ciencias Sociales, Vol. 13. (2002).
- [33] Drucker, P. “La innovación y el empresario innovador”. Edhasa, pp.25-26. (1985).
- [34] Escobar, J., y Bonilla, F. “Grupos focales: Una guía conceptual y metodológica”. Cuadernos Hispanoamericanos de Psicología, pp. 51-67.(2009).

- [35] Ferrando, M. G. La encuesta. “El análisis de la realidad social. Métodos y técnicas de investigación”. Alianza Universidad Textos 3^a ed. pp. 167-201. (1996).
- [36] Figueira, J., Mousseau, V., and Roy, B. “Electre methods”. In J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott, Multiple Criteria Decisions Analysis: State of the Art Surveys. New York: Springer-Verlag. pp. 133-162.(2005).
- [37] Fisher, R. A. “Theory of statistical estimation”, Proceedings of the Cambridge Philosophical Society Vol. 22, pp.700–725. (1925).
- [38] Formichella, M. M. “La evolución del concepto de innovación y su relación con el desarrollo”. Monografía. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, Argentina. (2005).
- [39] Franceschini, F. “Advanced Quality Function Deployment”. CRC Press LLC: USA. (2002).
- [40] Franceschini, F. y Maisano, D. “Prioritization of QFD Customer Requirements based on the Law of Comparative Judgments”. (2014).
- [41] Frazer. “Teóricos importantes sobre los enfoques de calidad: Deming, Jurán, Crosby, Hammer, Champú, Raymond L., Mansanelly, Klein, Islikawa, en calidad total, conceptos y Herramientas prácticas”. Limusa, CONALEP, SEP: México DEF. (1998).
- [42] Galton, F. “Co-relations and their measurement, chiefly from anthropometric data”, Proceedings of the Royal Society of London No. 45, pp. 135-145.(1888).
- [43] García, M. S. “Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y Soft Computing”. Tesis no publicada. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena. (2009).
- [44] Garvin, D. A. “Competing on the eight dimensions of quality”. IEEE Engineering Management Review, Vol. 24, No. 1, pp. 15-23. (1996).
- [45] Gaskin, S. P., Griffin, A., Hauser, J. R., Katz, G. M., and Klein, R. L. “Voice of the Customer”. Wiley International Encyclopedia of Marketing. (2010).
- [46] Griffin, A. Hauser J. R. “The Voice of the Customer”, Marketing Science. pp. 1-27. (1993).
- [47] Hastie, T., Tibshirani, R. and Friedman, J. “The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction”, Springer-Verlag, New York. (2003).
- [48] Hawes, G. “El perfil de egreso”. (2010).
- [49] Huerta, J. M. “Procedimiento para redactar y validar los cuestionarios para los estudios de investigación y evaluación”. Universidad de Mayagüez. (2005).
- [50] Hwang C. L. and Yoon, K. “Multiple Attribute Decision Methods and Applications”. Springer, Berlin Heidelberg ed. (1981).
- [51] Imbernón, F. “En busca del discurso perdido”, Edt. Magisterio del Río de la Plata, Buenos Aires-Argentina. (1996).
- [52] Jurán, J.M. “Juran y el liderazgo para la calidad, manual para ejecutivos”. Madrid, Ediciones Díaz de Santos S.A. (1990).

- [53] Keeney, R., Raiffa, H. "Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs", Wiley: New York, (1976).
- [54] Keeney, R.L. "Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking", Harvard University Press, Cambridge, MA. (1992).
- [55] King, B. "Better designs in Half the Time: Implementing QFD Quality Function Deployment in America". Methuen: GOAL/QPC. (1989).
- [56] Li, H., Chan, N., Huang, T., Guo, H. L., Lu, W., Skitmore, M. "Optimizing construction planning schedules by virtual prototyping enabled resource analysis", Automation in Construction Vol. 18, No.7, pp. 912-918.(2009).
- [57] Luce R. D. and Raiffa H. "Games and Decisions: Introduction and Critical Survey" New York. John Wiley and Sons. (1957).
- [58] Marbán. V. "Tema 5: La Encuesta Estadística. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales", Universidad de Alcalá. Madrid. (s.f).
- [59] Maseda, A. "Gestión de Calidad". Marcombo S.A. Boixareu Editores (1998).
- [60] Matus, G. y Molina, F. "Metodología cualitativa: un aporte de la Sociología para investigar Bibliotecología", Valparaíso, Universidad de Playa Ancha. (2006).
- [61] Matzler, K. y Hinterhuber, H.H. "How to Make Product Development Projects More Successful by Integrating Kano's Model of Customer Satisfaction into Quality Function Deployment", Technovation, Vol.18, No.1, pp.25-38. (1998).
- [62] Míreles, R. "Implementación del despliegue de la función de calidad (QFD)". (Tesis inédita de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo.(2007).
- [63] Míreles, R. "Implementación del despliegue de la función de calidad (QFD)". (2013).
- [64] Moreno-Jiménez, J. M. "El proceso analítico jerárquico. Fundamentos, metodología y aplicaciones". Recta Monográfico, Vol. 1, pp. 21-53. (2002).
- [65] Moss, R. "The Change Masters". New York: Simon and Schuster Inc. pp. 432. (1983).
- [66] Muñoz, C. "La educación superior ante las políticas derivadas de la crisis", Revista de la Educación Superior, ANUIES No. 65. (2003).
- [67] Nakhaeizadeh, G. and Taylor, C. (eds.) "Machine learning and statistics: the interface", John Wiley and Sons, Inc., New York.(1997).
- [68] OCDE. "Manual Frascati" (1993). Resumen, en: E. Martínez, y M. Albornoz, Mario (ed.), Indicadores de Ciencia y Tecnología: Estado del Arte y Perspectivas, Caracas: Cytel/Ricyt-UNESCO-Editorial Nueva Sociedad, (1998).
- [69] Pascual, R. "La gestión educativa ante la innovación y el cambio". Madrid. (1998).
- [70] Pyzdek, T. and Keller, P. A. "The Six Sigma Handbook. A complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels". (3a Ed.). McGraw-Hill. (2010).
- [71] Revelle, J. B., Moran, J.W and Cox, C. A. "The QFD Handbook". Editorial Juhn Wiley and Sons, Inc: New York. (1998).

- [72] Roberts, E. "Generating technological innovation, *Technol, Management*", Vol. 31, No.1, pp. 11-29. (1988).
- [73] Roy B, "Decision-Aid and Decision Making", *European Journal of Operational Research*, Vol. 45, pp. 324-331, (1991).
- [74] Ruiz, A. y Rojas, F. "Despliegue de la función calidad (QFD)". Universidad Pontificia ICADe, Madrid. (2009).
- [75] Saaty, T. "Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process". *RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas*, Vol. 102 No.2. (2008).
- [76] Saaty, T. "Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with The Analytic Hierarchy Process" RWS Publications. Second edition. Vol. 6 (2006).
- [77] Sáez, F. García O., Palao J. y Rojo P. "Innovación tecnológica en las empresas". Temas básicos. ETS de Ingenieros de Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid. (2003).
- [78] Silvestre, A. "El despliegue de la Función de Calidad en empresas de servicio. Aplicación práctica a una Compañía de Seguros". Madrid: Club de gestión de la Calidad. (1996).
- [79] Sireli, Y., Kauffmann, P. and Ozan, E. "Integration of Kano's Model into QFD for Multiple Product Design", *IEEE Transactionson Engineering Management*, Vol. 54 No. 2, pp.380-390. (2007).
- [80] Sullivan, L. "Quality function deployment". *Qual. Prog.*, Vol. 19, No.6.(1986).
- [81] Terninko, J. "Step by step QFD: Customer-Driven Product Design". St. Lucie Press. Boca Raton, Florida, Estados Unidos. (1997).
- [82] Teruel, M., Lapresta, J.M., Rosell, N., Camas, P., Diestre, A.J., Marco, J.M., "Guía para la Implantación de un sistema de gestión de calidad". En I.E.S que imparten Formación Profesional en Aragón basado en la norma ISO 9000-2000 (2006).
- [83] Triantaphyllou, E. "Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study". Kluwer Academic Publishers ed. (2000).
- [84] Troncoso, K. y Hawes, G. "A propósito de la evaluación por pares: La necesidad de semantizar la evaluación y las prácticas docentes", *Perspectiva Educacional*. Vol. 48, pp. 59-73. (2006).
- [85] Tukey, J. W. "Exploratory Data Analysis", Addison-Wesley.(1977).
- [86] Venkata, R. "Decision making in the manufacturing enviroment using graph theory and fuzzy multiple attribute decisión making methodes". Vol. 1. Springer-Verlag: Londres. (2007).
- [87] Vitoriano, B. "Teoría de la decisión: decisión con incertidumbre, decisión multicriterio y teoría de juegos". Universidad Complutense de Madrid, pp. 3-104. (2007).
- [88] Ware, J. H. "Investigating therapies of potentially great benefit: ECMO", *Statistical Science* Vol. 4 pp. 298-306 (1989).

- [89] Xie, M., Tan, K. C. y Goh, T. N. (2003). *Advanced QFD Applications*. USA: ASQ
- [90] Young, R. and Harmony, S. "Working with faculty to design undergraduate information literacy programs: a how-to-do-it manual for librarians", London, Neal- Achuman Publishers. (1998)
- [91] Zairi, M. "The art of benchmarking: using customer feedback to establish a performance gap". *Total Qual. ;anage.* Vol. 3, No. 2, pp. 177-188. (1992).
- [92] Zúñiga, F. V. "La gestión de la calidad en la formación profesional. El uso de estándares y sus diferentes aplicaciones". (2003).