

00667

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

2



FACULTAD DE CONTADURIA Y ADMINISTRACION  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

LOGICA DIFUSA, UNA ALTERNATIVA PARA EL  
MANEJO CUANTITATIVO DE  
INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

T E S I S  
Que para obtener el grado de  
MAESTRO EN FINANZAS  
p r e s e n t a:

GUILLERMO GONZALEZ VELAZQUEZ

ASESOR: M. F. GABRIEL RAMIREZ FERNANDEZ

294400



Ciudad Universitaria, México, D. F. 2001



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## DEDICATORIAS:

Este trabajo esta dedicado en primer término a un ser superior llamado Dios.

En segundo término a toda mi familia, y en particular a mis padres: José Socorro y María Asunción; a mis hermanos: José Arturo, Martha Patricia, Sergio y Miguel Angel; a mis sobrinos: Alejandro, Saúl y Janette; a mi abuelita Chuy; a mis tíos: José Guadalupe y Magdalena; y a mi prima Claudia Donaji.

En tercer término a mis grandes amigos: Alejandro Rafael Hernández y Guillermo Carbonell; y a mis compañeros de la maestría: Vicente José Martínez y Carlos Ochoa.

Y finalmente, con todo respeto, a mis asesores: M.F. Gabriel Ramírez Fernández y M.A. Marco Antonio Trejo Trejo; y a mis sinodales: M.C. José Refugio Ruiz Piña, M.B.A. José Ernesto Vázquez Mantecón y DR. Martín Abreu Beristain.

A todos ustedes, simplemente muchas gracias por todo.

## INDICE.

INTRODUCCION.	I
CAPITULO I. LOS METODOS CUANTITATIVOS.	1
I.1. FUNDAMENTOS DE LOS METODOS CUANTITATIVOS.	1
I.2. CONSTRUCCION DE MODELOS CUANTITATIVOS.	9
I.3. TOMA RACIONAL DE DECISIONES.	23
CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.	38
II.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.	38
II.2. TIPOS DE INCERTIDUMBRES.	58
II.3. METODOS PARA AFRONTAR INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.	64
CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.	72
III.1. SISTEMAS DIFUSOS.	72
III.2. ARITMETICA DIFUSA.	79
III.3. TEORIA DE CONJUNTOS DIFUSOS.	87
III.4. LOGICA DIFUSA.	101
CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.	135
IV.1. METODOLOGIA PARA EL DISEÑO BASICO DE UN SISTEMA DIFUSO.	135
IV.2. ALGORITMO DE LA LOGICA DIFUSA.	146
IV.3. LOGICA DIFUSA EN APLICACIONES FINANCIERAS.	156
CONCLUSIONES	167
BIBLIOGRAFIA	169

## INTRODUCCION

### PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO

El riesgo y la incertidumbre no son lo mismo. Ambas son características de la vida real, pero los métodos para tratar con el riesgo no son los mismos que existen para el manejo de la incertidumbre. El riesgo es, como se verá más adelante, un suceso real, casual, contrario a lo esperado e inevitable, que representa una posible pérdida en una época incierta. El riesgo es mensurable y tasable, lo que permite fijarle un costo financiero, además de que debe haber una exposición pareja al riesgo, aunque no del mismo grado y finalmente, el riesgo debe ser contingente, fortuito y sistemáticamente repetitivo, aunque también es cierto que no es muy deseable que sea ni muy raro, ni muy frecuente. Por su parte, la incertidumbre es una condición en la cual uno no es capaz de asignar una probabilidad objetiva a la posibilidad de ocurrencia o no de un determinado evento, es decir, que mientras el riesgo es una combinación de azares, medidos por la probabilidad, la incertidumbre no es ni mensurable, ni tasable, al menos no por medio de la teoría de probabilidades, ya que la incertidumbre refleja un conocimiento imperfecto sobre todos o algunos datos del problema, lo que impide la correcta aplicación de la teoría de la probabilidad.

Pero en la vida real enfrentamos situaciones tanto de riesgo como de incertidumbre y, sin embargo, por diversas causas, ha sido más ampliamente estudiado el riesgo que la incertidumbre, lo que nos indica que ésta es un área donde aún hay mucho por hacer.

Al respecto, un problema importante surge cuando existen incertidumbres que son manejadas como riesgos, lo cual es impreciso, incierto e incorrecto, provocando que aquellos modelos de riesgos que se aplican al manejo de incertidumbres resulten inadecuados e ineficientes.

El presente trabajo surge precisamente de la necesidad y la inquietud de diferenciar el riesgo de la incertidumbre, de establecer sus respectivas metodologías, de intentar presentar una nueva forma de manejo cuantitativo de la gran imprecisión que existe en el mundo y de tratar no sólo con la incertidumbre directamente, sino con un tipo especial de incertidumbre: la financiera.

### HIPOTESIS ELEGIDA

Así como podemos encontrar que la vida está llena de color; que aquellos objetos que son absolutamente blancos o totalmente negros son más bien raros; es decir, que existe una gran variedad de colores y de tonos, lo que nos permite apreciar la enorme diversidad existente, de igual manera, en la vida real no todo es tan absoluto ni tan polar.

Aquellas situaciones donde todo es absolutamente verdadero o absolutamente falso son en realidad casos particulares de una generalización mucho mayor, donde existe una gran variedad de posibilidad de situaciones intermedias, donde es posible encontrar no sólo a los extremos absolutos, sino también a los valores intermedios; aquellos puntos donde es posible encontrar tanto a una verdad como a una falsedad parciales. De esta manera dejamos la

visión digital de lo absolutamente verdadero o lo absolutamente falso, para ampliar nuestra perspectiva a un ambiente analógico, más ambiguo, pero más real, y precisamente de esto trata la lógica difusa.

Se establece el empleo de la lógica difusa, como la metodología que nos permitirá el manejo cuantitativo adecuado de las incertidumbres en general, aunque aplicable en lo particular, al caso de las incertidumbres financieras. De esta manera, el problema que se establece como la variable dependiente (Y), se refiere al manejo cuantitativo de incertidumbres financieras; mientras que la hipótesis de trabajo, o variable independiente (X), es la aplicación de la lógica difusa, como el elemento que nos permitirá hacer frente al problema, para tratar de resolverlo.

La lógica difusa "es un lenguaje que nos permite traducir oraciones sofisticadas del lenguaje natural a formalismos matemáticos"<sup>1</sup>. Pero la lógica difusa va más allá de esto. De las diversas áreas desarrolladas recientemente en las matemáticas, la lógica difusa es una de las alternativas más viables que existen para el manejo de incertidumbres, incluyendo a las incertidumbres financieras.

La lógica difusa nos permite el manejo de situaciones donde los valores ya no son tan polares como lo son sus extremos; donde pueden existir parcialidades, no completamente enmarcadas en un caso extremo en particular. Es esta característica de la lógica difusa, la que nos permite el manejo matemático de situaciones que bajo otros modelos o esquemas son muy difíciles o incluso imposibles de manejar, situaciones que generalmente se reconocen como situaciones bajo incertidumbre. La lógica difusa nos ayuda a modelar los modos imprecisos de razonamiento que juegan un papel esencial en la habilidad humana para tomar decisiones racionales, todo esto dentro de un ambiente de incertidumbre e imprecisión.

Si bien la lógica difusa como tal es de historia muy reciente, cuenta con un respaldo matemático muy antiguo, lo que le ha permitido establecer una sólida estructura formal; pero quizás lo más importante es que se abren las posibilidades para el tratamiento inédito de problemas de incertidumbre con una nueva metodología y con prometedores resultados prácticos; si bien al principio estas aplicaciones sólo abarcaban algunas áreas muy reducidas, en la actualidad están siendo tomadas en cuenta por otras áreas interesadas, tal es el caso de su posible aplicación en las finanzas.

## OBJETIVO PRINCIPAL DE LA INVESTIGACION

El principal objetivo de esta investigación es presentar una alternativa para el tratamiento cuantitativo de incertidumbres financieras, por medio del empleo de la lógica difusa.

---

<sup>1</sup> MCNEILL, F. Martin and THRO Ellen, Fuzzy logic. A practical approach, New York, AP Professional, 1992. p. XV.

## **METODOLOGIA UTILIZADA**

Este tipo de investigación es documental, lo que implica que se recurrirá a aquellos documentos que existan y que estén disponibles sobre el tema para efectuar el análisis del problema. La metodología que se empleará en la elaboración de este trabajo estará basada en los métodos analítico y deductivo, se partirá del manejo general de los métodos cuantitativos y de los diversos manejos que existan sobre las incertidumbres, dando desde su definición, clasificación, hasta presentar a la lógica difusa como una alternativa posible para el manejo cuantitativo de incertidumbres financieras. Se buscara presentar un enfoque lo más objetivo posible, pues se usarán modelos lógicos, cuantitativos y prácticos, tratando de apegarse a la verdad, diciendo las cosas con seriedad y honestidad científica, haciendo hincapié en ser lógicos, racionales y objetivos en el tratamiento del problema, para lo cual se usarán matemáticas, ya que es el lenguaje del pensamiento racional.

Las teorías que sustentaron este proceso son tanto matemáticas como financieras, ocupando áreas matemáticas como los métodos cuantitativos, que involucran a modelos aplicados tanto en economía, en investigación de operaciones, como en lógica difusa, mientras que de las finanzas tomaremos el manejo de incertidumbres que afectan a su buen desempeño, así como algunos aspectos del manejo de la administración de riesgos.

## **RESEÑA CAPITULAR**

El trabajo en su conjunto consta de cuatro capítulos. En el primer capítulo, se hace referencia a los aspectos generales de los métodos cuantitativos, así como al importante papel que desempeñan éstos en los procesos de toma de decisiones.

En el capítulo dos, se establecen los tipos de incertidumbres que existen, las principales características de las incertidumbres financieras, así como las limitaciones que se presentan en su manejo, partiendo de los diversos modelos matemáticos con los que se cuenta actualmente.

En el capítulo tres es donde se presenta a la lógica difusa como una alternativa que permite hacer frente al manejo de incertidumbres, desde el enfoque del empleo de un método cuantitativo. Naturalmente se presentan todos los elementos necesarios para llegar a la definición de lógica difusa, al establecimiento de sus características y a la construcción de sus procedimientos; así como también se presentan sus principales ventajas y desventajas o limitaciones propias.

Finalmente en el capítulo cuatro se establecerá la viabilidad metodológica de la aplicación de la lógica difusa a problemas que presentan incertidumbres financieras, estableciendo los elementos y los procedimientos que son necesarios para una posible aplicación con resultados favorables.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

### CAPITULO I. LOS METODOS CUANTITATIVOS.

#### I.1. FUNDAMENTOS DE LOS METODOS CUANTITATIVOS.

##### INTRODUCCION A LOS METODOS CUANTITATIVOS.

Las matemáticas son una de las grandes ciencias del conocimiento humano. Gracias a las matemáticas, otras ciencias han alcanzado un importante desarrollo en la construcción de sus modelos y de sus teorías, incluyendo por supuesto al mundo de las finanzas.

Las matemáticas son la llave de nuestra comprensión del mundo físico; nos han dado poder sobre la naturaleza y la convicción de que se puede continuar profundizando en sus secretos.

El éxito de la aplicación de las matemáticas en diversas áreas del conocimiento humano se basa en la capacidad de encontrar una representación matemática adecuada de un fenómeno del mundo real. A esta representación se le da a veces el nombre de modelo matemático.

Para la construcción de tales modelos matemáticos es indispensable seguir un procedimiento ordenado, que nos permita llegar a un resultado o fin determinado. A dicho procedimiento se le conoce como método. Existen diversos métodos que pueden ser clasificados de muy diversas formas, como por ejemplo: los métodos analíticos o sintéticos, los métodos cuantitativos o cualitativos, etc.

Precisamente en relación con los métodos cuantitativos, podemos decir que están basados en la idea de una racionalidad completa; entendiendo por ésta racionalidad el predominio de la razón sobre otros elementos de adquisición del conocimiento como son la experiencia (la autoridad) o la intuición. Así, la razón es un instrumento mediante el cual el hombre descubre la realidad que le rodea, y aunque el término se ha ampliado tanto que hasta en la actualidad puede llegar a integrar a la experiencia, se sigue afirmando que la realidad es, en último término, de carácter racional, y que el verdadero conocimiento se funda sólo en la razón, ya que sólo ella posee estructura lógica y una validez universal, caracteres que no tienen la experiencia o la intuición.

No obstante y a pesar del conocimiento de técnicas matemáticas sofisticadas, no se han podido resolver muchos problemas sociales. Gran parte de la crítica a los enfoques matemáticos proviene de que los usuarios esperan más de la cuenta. No debe pensarse que existe un conjunto maravilloso de fórmulas que una vez que se aprenden proporcionarán respuestas gloriosas a todos los problemas, porque no existe tal. Todavía se necesitan el juicio, la experiencia, la intuición y el coraje humanos para administrar cualquier cosa en una sociedad.

Es aquí donde los métodos cuantitativos juegan un papel importante, principalmente en la administración y por ende, también en las finanzas, aunque



## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

su uso se está extendiendo a otras áreas. De esta forma, podemos observar que los métodos cuantitativos son empleados de tres maneras diferentes<sup>1</sup>:

1. Como guía en la toma de decisiones.
2. Como ayuda en la toma de decisiones.
3. Para automatizar la toma de decisiones.

La primera aplicación es la más extensa pero la menos tangible. Al aprender los métodos y modelos para manejar los problemas administrativos en forma cuantitativa, se gana práctica y experiencia en el pensamiento racional. Si bien los problemas y los métodos pueden variar, es sorprendente el parecido en el proceso de razonamiento, ya que todos ellos están basados en el método científico. De aquí se desprende una ventaja muy importante en el conocimiento de los métodos cuantitativos, y es que ayudarán a guiar el pensamiento aun cuando nunca se haya escrito una ecuación.

La segunda aplicación de los métodos cuantitativos coadyuva en el proceso de la toma de decisiones. Muchas veces no existirá un modelo para dar una solución, pero puede haber información útil que se puede obtener cuantitativamente. Aquí el enfoque matemático es ya una ayuda en la toma de decisiones.

La tercera aplicación es la más sencilla y la más impresionante. Si se puede modelar con exactitud un problema específico, entonces se puede desarrollar una fórmula o un conjunto de fórmulas para su solución. Si el problema no cambia, las fórmulas permanecen válidas y pueden programarse en una computadora. La computadora entonces "toma la decisión" y así, la toma de decisiones se ha automatizado.

La toma de decisiones es una responsabilidad gerencial clave. El proceso inicia cuando un gerente observa un problema, seguido de un proceso de análisis formal o informal que va a tomar dos formas básicas: cualitativo o cuantitativo.

Usando solamente un enfoque cualitativo, un gerente confiaría en el juicio personal o experiencia pasada con problemas similares. Tal sentimiento intuitivo de la situación puede ser suficiente para tomar una decisión. Pero, aún así, los gerentes pueden necesitar el análisis cuantitativo. En este caso, no se tienen experiencia con problemas similares u ocurriría cuando un problema es tan importante y complejo que requerirá un análisis exhaustivo (sí es que esta involucrada una gran cantidad de dinero o un conjunto complejo de variables, por ejemplo); o bien cuando el problema puede ser repetitivo y simple y un procedimiento cuantitativo puede ahorrar tiempo al gerente.

De esta forma, las habilidades en análisis cualitativo son inherentes en el gerente y por lo general aumentan con la experiencia, pero las habilidades en análisis cuantitativo se pueden adquirir por medio del estudio de herramientas matemáticas diversas. Al usar estas herramientas, los gerentes pueden maximizar su efectividad en la toma de decisiones. Pueden comparar y combinar la

---

<sup>1</sup> GALLAGHER, Charles A. y WATSON, Hugh J., Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: Mc. Graw Hill, 1992. p. 8.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

información cualitativa y cuantitativa a su disposición y así, tomar las mejores decisiones posibles.

### DATOS CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS.

De esta manera podemos apreciar que cuando se va realizar un análisis, es importante determinar si los datos que se van a manejar son cualitativos o cuantitativos. Los datos cualitativos pueden ser un nombre o algún tipo de identificador o etiqueta, que se le asigna a un atributo de cada elemento, mientras que los datos cuantitativos indican cuánto, cuántos o la cantidad. Los datos cuantitativos siempre son numéricos, pero los cualitativos pueden ser numéricos o no numéricos, ya que en algunos casos, se puede optar por usar claves numéricas para indicar y diferenciar los elementos que integran nuestro análisis; por ejemplo, para facilitar la recolección de datos y prepararla para su fácil captura en una base de datos, se puede optar por usar claves numéricas para indicar las bolsas de valores, diciendo que 1 equivale a una acción negociada en la bolsa de Nueva York y 2 equivale a una negociada en la American Stock Exchange. Pero, en este caso, los valores numéricos son sólo etiquetas o claves para identificar la bolsa de valores que negocia las acciones, así, los datos son cualitativos aún cuando tengan valores numéricos.

De esta manera se puede considerar que la diferencia que distingue a lo cualitativo de lo cuantitativo es que las operaciones aritméticas ordinarias sólo tienen sentido con los datos cuantitativos; por ejemplo, cuando los datos son cuantitativos, sus valores se pueden sumar y después dividir entre la cantidad de valores para calcular el valor promedio de ellos. En este caso, este promedio tiene sentido y, por lo general, se interpreta con facilidad dentro de este contexto. Sin embargo, cuando se registran datos cualitativos en forma de valores numéricos, esas operaciones aritméticas producen resultados sin importancia.

### ANALISIS CUANTITATIVO Y ANALISIS CUALITATIVO.

En la actualidad existen muchos y muy diversos tipos de análisis, aunque su esencia sea la misma. Los mecanismos que emplean, es decir, los métodos que usan, también son muy variados ya que se adecuan a las circunstancias bajo las cuales operan.

Inicialmente podemos establecer dos tipos básicos de análisis: el análisis cuantitativo y el análisis cualitativo<sup>2</sup>. se llaman estudios cuantitativos a los que usan el sistema numérico para medir, y cualitativos a los que recurren a la lógica; entonces los primeros se pueden expresar en el lenguaje de los segundos pero no viceversa. De aquí sería posible concluir que entre uno y otro tipo de estudios hay diferencias de grado pero no de esencia.

En su origen, las ciencias naturales desarrollaron los métodos experimentales, además de una creciente matematización de la ciencia, lo que condujo, junto con otros componentes, al paradigma cuantitativo. Por su parte, las ciencias sociales ante la dificultad del control experimental y la complejidad de sus

---

<sup>2</sup> MENDEZ, Ignacio y GONZALEZ Casanova, Pablo (coordinadores), Matemáticas y ciencias sociales, México: Miguel Angel Porrúa, 1993. p. 199.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

conceptos, hicieron un mayor uso de las técnicas de observación, las que, junto con otros componentes, formaron el paradigma cualitativo.

Las características extremas de ambos paradigmas se presentan en la siguiente tabla, donde los atributos de uno y de otro son independientes desde un punto de vista lógico.

ATRIBUTOS DE LOS PARADIGMAS <sup>3</sup>	
PARADIGMA CUANTITATIVO	PARADIGMA CUALITATIVO
Comprueba la teoría	Descubre la teoría
Conceptos definidos anticipadamente para luego medir indicadores	Conceptos por definirse en la propia investigación
Confiable, datos sólidos, repetibles	Válido, datos reales, ricos y profundos
Confirmatorio, reduccionista, inferencial e hipotético deductivo	Exploratorio, expansionista, descriptivo e inductivo
Encuestas	Etnometodología (metodología para el estudio de los pueblos)
Experimental	Observacional
Generalizable: estudios de casos múltiples	No generalizable: estudios de casos aislados
Medición penetrante y controlada	Observación naturalista y sin control
No fundamentado en la realidad; orientado a la comprobación	Fundamentado en la realidad, orientado a los descubrimientos
Objetivo	Subjetivo
Orientado al resultado	Orientado al proceso
Particularista, analítico, reduccionista	Holista (integral) y sistémico
Positivismo lógico; busca los hechos o causas de los fenómenos sociales, prestando escasa atención a los estados subjetivos de los individuos	Fenomenologismo (comprensión); interesado en comprender la conducta humana desde el propio marco de referencia de quien actúa
Se encuentra al margen de los datos, con una perspectiva "desde afuera"	Está próximo a los datos, con una perspectiva "desde adentro"
Supone una realidad estable	Supone una realidad dinámica

La presentación anterior de los paradigmas es una idealización de sus características extremas. Podemos decir que lo que se ha dado es una preferencia fuerte del paradigma cualitativo en las ciencias sociales y del cuantitativo en las ciencias naturales, aunque es muy difícil encontrar una investigación que se enmarque por completo en cualquiera de éstos paradigmas.

En realidad, lo que se observa es un acercamiento cada vez mayor entre los dos paradigmas para emerger como uno solo de la síntesis de los anteriores, es decir, en la actualidad existe una aproximación en ambas direcciones: las ciencias sociales incorporan cada vez más atributos del paradigma cuantitativo, como por ejemplo la estadística, los experimentos y los controles; a sus métodos

<sup>3</sup> Tomado con modificaciones de: COOK, T. D. y REICHARD, Ch. S., Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evolutiva, Madrid: Morata, 1988.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

tradicionales; y también las ciencias naturales toman aspectos del paradigma cualitativo como la definición verbal de conceptos complejos, la extrapolación de resultados de un contexto a otro con base en la teoría del enfoque sistémico antirreduccionista, la incorporación de relaciones de causalidad no determinista, la búsqueda de teoría y los estudios observacionales, entre otros aspectos; aunque aún persisten posiciones dogmáticas que rechazan un paradigma, supuestamente con adherencia total al otro.

Sin embargo, los métodos de investigación actuales tienden a la síntesis de ambos paradigmas, el apoyo en uno u otro paradigma no implica la exclusión de los atributos del otro, además, los modernos enfoques filosóficos de la ciencia consideran la conveniencia de mezclar los dos paradigmas para superar las limitaciones de cada uno por separado.

### BREVE HISTORIA DE LOS METODOS CUANTITATIVOS<sup>4</sup>.

Las matemáticas son, en esencia, tan antiguas como la historia escrita, y sus aplicaciones a los negocios se remontan a los inicios del comercio. Contar fue probablemente la primera aplicación cuando los primeros mercaderes llevaban sus libros. Así, las matemáticas surgieron con un aspecto utilitario: saber contar mercancías, medir longitudes, calcular volúmenes, etc., sin embargo, la influencia del método científico no se dejó sentir hasta la revolución industrial. Con las primeras fábricas vinieron las necesidades de coordinación y eficiencia. El estudio cuidadoso de los problemas de la fábrica, bajo los lineamientos de la investigación científica, resultó benéfico en el sentido económico debido al volumen de operaciones.

En los comienzos del siglo XX se hicieron desarrollos importantes en cuanto al modelado matemático, en especial para el control de inventarios, el análisis de líneas de espera, el control de calidad y para la programación de la producción. En el campo de las matemáticas hubo otro desarrollo importante también en esta época: el de la estadística como un método para el análisis de datos y de la toma de decisiones. Pero todos estos desarrollos fueron aplicaciones aisladas individuales.

No fue sino hasta la Segunda Guerra Mundial que se hicieron esfuerzos conjuntos para atacar los problemas de gran escala en forma cuantitativa y conjunta. Cuando desarrollaron el radar, los ingleses buscaron aprender cómo aplicarlo de manera efectiva. Para lograrlo se llamó a un equipo de científicos y matemáticos para que estudiaran los problemas tácticos y estratégicos asociados a la defensa aérea y terrestre de la Gran Bretaña. Su objetivo era determinar la utilización más efectiva de los recursos militares limitados. Así, en 1939 formaron el primer grupo de investigación de operaciones, llamado de esta manera porque, aparentemente el equipo estaba llevando a cabo la actividad de investigar operaciones (militares). Este grupo de científicos y matemáticos, se separó más tarde, germinando en grupos parecidos dentro de varias ramas de la especialidad militar, estudiando una amplia gama de problemas. En 1942 se formaron grupos

---

<sup>4</sup> GALLAGHER, Charles A. y WATSON, Hugh J., Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: Mc. Graw Hill, 1992. pp. 12-13.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

del mismo tipo en los Estados Unidos. Para fines de la guerra, ambos gobiernos estaban convencidos del valor de estos grupos, y la investigación de operaciones continúa hasta la fecha en la mayoría de los sectores gubernamentales.

Este es el momento que dio origen a la investigación de operaciones, ya que su nacimiento se ubica en los inicios de la segunda guerra mundial, en donde la magnitud del conflicto y el rezago en el aparato bélico de los países que se enfrentaron a Hitler y sus aliados, hacía indispensable el utilizar los recursos militares de la manera más eficiente posible: primero, para frenar el avance alemán, y después para recuperar el terreno perdido y, en última instancia, para ganar la guerra.

Al terminar el conflicto la Investigación de Operaciones ya estaba firmemente implantada dentro de la cultura militar y la industria se empezó a interesar en su metodología para resolver problemas operativos, administrativos y de logística, preparándose el terreno para la aplicación de la investigación de operaciones a la solución de problemas complejos en las empresas, debido sobretodo a la introducción de la especialización funcional en las organizaciones empresariales. Desde su nacimiento, este nuevo campo de la toma de decisiones se ha caracterizado por el uso del conocimiento científico a través del esfuerzo de equipos interdisciplinarios, con el propósito de determinar la mejor utilización de los recursos limitados.

Aunque la década de los 50 la industria americana comenzó a interesarse en la investigación de operaciones, y este interés creció mucho más en la segunda mitad de la década, es claro que la llegada de las computadoras digitales estimuló mucho este interés, ya que el progreso impresionante en el campo de la investigación de operaciones se debe en gran parte al desarrollo paralelo de la computadora digital moderna, con sus tremendas capacidades de velocidad de cómputo y de almacenamiento y recuperación de la información. Si no hubiera sido por la computadora digital, la investigación de operaciones con sus grandes problemas no hubiera adquirido el estado actual, tan promisorio en muchas clases de ámbitos operacionales.

Hoy en día los métodos cuantitativos en la administración pueden llamarse de varias maneras: investigación de operaciones, ciencias de la administración, análisis de sistemas, análisis costo - beneficio, e inclusive estadística. De cualquier manera, la esencia es la misma: ser racional y científico al resolver problemas administrativos.

Particularmente en México, muchos modelos cuantitativos empleados por la investigación de operaciones, no sólo se aplican en el sector privado (industrias, sistemas de comercialización, sistemas financieros, transportes, sistemas de salud, etc.), sino también en dentro del sector de los servicios públicos, entre otros en varias Secretarías de Estado, en PEMEX, en la CFE, en el IMSS, en el Banco de México y en el DDF.

Finalmente cabría mencionar que existen varias asociaciones que agrupan a miembros que se dedican a la aplicación de la Investigación de Operaciones en todo el mundo. Existen asociaciones Estadounidenses, Canadienses, Europeas, Latinoamericanas y Asiáticas que publican mensualmente más de dos docenas de revistas diferentes en todo el mundo con temas relacionados a la Investigación de Operaciones; incluso se han diseñado programas profesionales y de posgrado en

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

la especialidad de Investigación de Operaciones, con lo cual se puede concluir que la Investigación de Operaciones todavía se encuentra en una edad incipiente y que aún hay mucho por hacer en el desarrollo de este campo, tanto en su teoría como en su aplicación.

### APLICACION DE LOS METODOS CUANTITATIVOS.

En la actualidad los métodos cuantitativos pueden usarse ya sea sobre una base intuitiva o de manera explícita<sup>5</sup>:

1. En el caso intuitivo, el tomador de decisiones pone su atención en los conceptos importantes pero no usa un modelo formal. Como ejemplo, imagínese una situación en la que existan líneas de espera (filas o formaciones). El tomador de decisiones puede entender que existe una relación directa entre los costos del tiempo de espera y los costos del servicio, puede visualizar que cambiando el número de instalaciones de servicio puede lograr un diseño óptimo en ese sistema, que minimice la suma de esos costos. Empleando un proceso subjetivo, el tomador de decisiones puede llegar a un diseño satisfactorio, difícilmente a un diseño óptimo, ya que esto se hace sin cuantificar formalmente las variables involucradas. No obstante, el contacto con los modelos cuantitativos, ha influido en el comportamiento del tomador de decisiones, ya que le ha enseñado a poner atención en los factores más importantes.
2. Mientras tanto, la decisión de emplear o no explícitamente un método cuantitativo depende sobre todo de las consideraciones de costo - beneficio. Como dirían los economistas, cuando los beneficios incrementales derivados del uso de un método exceden los costos incrementales, el método debe aplicarse. Sin embargo, en la práctica, con frecuencia es difícil hacer esta comparación por diversas razones, entre las que sobresalen las siguientes: puede resultar difícil estimar y cuantificar los beneficios de antemano, también puede ser difícil hacer la estimación previa de los costos del uso de un método, y aun cuando se haga un esfuerzo para estimar los costos, la estimación puede resultar equivocada, es decir, alejada de la realidad.

### SELECCION DEL METODO CUANTITATIVO APROPIADO.

Una respuesta a la interrogante de cuál es el método más apropiado, es aquella para la cual los beneficios excedan a los costos esperados. Sin embargo, existen algunas consideraciones importantes adicionales.

Uno de los factores limitantes a este respecto, es el de los métodos con que está familiarizado el analista: en la mayoría de los casos, los analistas emplean métodos que ya conocen. Hasta cierto punto también es importante saber qué métodos entiende el usuario. El método aplicado también debe adecuarse a la

---

<sup>5</sup> GALLAGHER, Charles A. y WATSON, Hugh J., Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: Mc. Graw Hill, 1992. p. 540.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

situación que se está aplicando. En algunos casos más, pueden aplicarse varios métodos, pero debe seleccionarse sólo uno de ellos. Es importante establecer que el modelo debe proporcionar la cantidad requerida de poder descriptivo. También debe considerarse la cantidad de tiempo disponible antes de llegar a una decisión, la disponibilidad de datos, y por último, algunos métodos de análisis requieren paquetes de programas y una computadora, lo que también se deberá tomar en cuenta.

### EFFECTOS DE LOS METODOS CUANTITATIVOS.

El creciente uso de los métodos cuantitativos, proporciona una oportunidad para planear, organizar y controlar mejor las operaciones en las organizaciones. Aunque los métodos cuantitativos requieren recursos, brindan el potencial para una mayor eficiencia en la organización.

La mejor orientación para el uso de modelos es que apoyan más que toman las decisiones, aunque en algunas situaciones sencillas y altamente estructuradas de toma de decisiones, de hecho toman ya las decisiones.

En la actualidad, el uso de estos métodos ha adquirido raíces sólidas y todas las investigaciones hechas en las organizaciones informan que su uso aumentará en el futuro.

## I.2. CONSTRUCCION DE MODELOS CUANTITATIVOS.

### INTRODUCCION A LOS MODELOS MATEMATICOS.

Un modelo es una representación de algún aspecto de la realidad. El avioncito para armar, la muñeca de juguete, el tren que corre alrededor del árbol de Navidad, son todos ellos modelos. Las ecuaciones, los conceptos y las teorías matemáticas, también son modelos. En cada caso existe un intento de representar o de explicar algo que forma parte del mundo real usando algo menos que aquel objeto de interés. Esto, por lo general hace que la construcción de un modelo sea más sencilla, menos costosa y menos peligrosa que la construcción real del artículo.

El fin que persigue un modelo es representar las características de un sistema real de tal forma que resulte fácil comprenderlo y manipularlo, pero que a su vez se asemeje bastante al sistema de operación existente, el cual es naturalmente más complicado, de tal manera que se obtengan resultados satisfactorios cuando tal modelo se utilice para la toma de decisiones. Por lo tanto, la verdadera prueba para saber si un modelo es satisfactorio no habrá de ser el grado en que corresponda con el mundo real. La verdadera prueba es si tal modelo permite hacer buenas predicciones.

Por otra parte y de manera general podemos decir que los modelos matemáticos son estructuras que involucran relaciones entre conceptos (enfoque sistémico), y que los conceptos frecuentemente se representan mediante símbolos, de tal manera que las relaciones se puedan expresar bajo una forma matemática. De esta forma, los modelos representan abstracciones de la realidad que incluyen relaciones importantes, permitiéndole al analista comprender, explicar y predecir.

Los modelos matemáticos tienen diversas aplicaciones, que van desde explicar o predecir el comportamiento de sistemas, hasta para la toma de decisiones administrativas, entre otras. La desventaja principal estriba en su misma naturaleza de modelos; son algo menos que la realidad. El reto para construir un modelo útil consiste en: "incluir aquello que es pertinente, omitir lo irrelevante y hacer esta diferencia sin excluir ningún factor importante, es decir, sin hacer una 'división aniquilante'"<sup>6</sup>.

La selección del modelo que debe usarse en cualquier situación dada depende tanto del sistema real bajo estudio como del propósito del estudio, para lo cual nos apoyaremos en la teoría de decisiones. La teoría de decisiones, es el estudio de cómo hacer selecciones óptimas de entre un conjunto dado de alternativas. El cómo se hace esto, depende en gran parte de la predictibilidad de las consecuencias de cada alternativa.

---

<sup>6</sup> GALLAGHER, Charles A. y WATSON, Hugh J., Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: Mc. Graw Hill, 1992. p. 16.



## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

Es importante aclarar que los modelos matemáticos tienen las siguientes ventajas importantes respecto a lo que sería una descripción meramente verbal<sup>7</sup>:

1. Cuando un modelo se puede construir, describe al problema de manera concisa y precisa.
2. Hace al problema más fácil de comprender.
3. Evidencia interrelaciones y relaciones de causa - efecto que quizás no son aparentes a primera vista.
4. Determina con toda claridad las necesidades de información requeridas para dar una respuesta adecuada al problema decisional originalmente planteado.
5. Facilita la detección de inconsistencias y, por lo tanto, la congruencia lógica del planteamiento del problema.
6. Hace posible el análisis integral del problema, ya que explica los puntos de interrelación con el resto de la organización y, en última instancia, del medio donde ésta actúa.
7. También es un medio muy eficiente para reflexionar sobre los posibles cursos de acción.
8. Los resultados que proporcionan son explícitos y disminuyen las ambigüedades, facilitando aún más el análisis, e incluso la sistematización o la programación de cierto tipo de decisiones.

Aunque hay que tomar varias precauciones, ya que un modelo matemático es una idealización abstracta de la realidad y, por lo tanto, sólo es una aproximación a ésta. En consecuencia, es necesario que la aproximación sea lo suficientemente buena para que pueda ser realmente útil.

### LA CIENCIA Y LOS MODELOS MATEMATICOS.

La ciencia, al menos tal como hoy la concebimos, tiene una edad de cuatro siglos, cuando se rompió la tradición aristotélica - medieval, gracias a la revolución científica del siglo XVII; una consecuencia directa del renacimiento. Estos cuatro siglos constituyen una historia rica en cambios, en transformaciones y reformulaciones. No sólo se amplió enormemente el dominio de objetos de los cuales se fue ocupando la ciencia, sino que se transformó la naturaleza del quehacer científico. Más importante aún, la noción misma de explicación científica se fue modificando. Esta ruptura de la tradición aristotélica - medieval en un punto preciso, dio la clave para el desarrollo ulterior de la ciencia. Ese mundo de esencias planteado por Aristóteles fue reemplazado, en la revolución científica del siglo XVII, por un mundo donde predominan las relaciones: el objeto se define por sus relaciones, y no las relaciones por la naturaleza del objeto.

Otra característica de enorme importancia de esta revolución científica es que las relaciones pueden representarse matemáticamente; es decir, las relaciones entre valores obtenidos por observación y medición son expresables

---

<sup>7</sup> MENDEZ, Ignacio y GONZALEZ Casanova, Pablo (coordinadores), Matemáticas y ciencias sociales, México: Miguel Angel Porrúa, 1993. p. 153.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

como relaciones funcionales entre variables. Esto estimuló la generación de nuevos conceptos que condujeron a nuevas formas de cuantificar fenómenos de la realidad y, de allí, a la búsqueda de fórmulas que relacionaran las mediciones.

Gracias a los avances logrados en diversos campos, tanto teóricos como experimentales (incluyendo el desarrollo de las computadoras como instrumentos de experimentación matemática), se dio al tema proyecciones insospechadas y abrieron campos de investigación totalmente nuevos.

De esta manera podemos apreciar que desde sus inicios, la revolución científica del siglo XVII se caracterizó por dos elementos fundamentales: la primacía de las relaciones en el estudio de los fenómenos y la matematización. El triunfo de las matemáticas fue completo en el campo de las ciencias naturales, aunque su papel se ha ido transformando.

De hecho Galileo consideraba a las matemáticas como un lenguaje con el cual se pueden expresar las leyes de la naturaleza. Los fenómenos son estudiados por medio de la observación y la experimentación, bases del método científico, pero luego se los representa matemáticamente, en un lenguaje que permite expresar con precisión las relaciones entre las variables que entran en juego, y que abre la posibilidad de hacer predicciones.

Sin embargo, esta concepción del papel de las matemáticas se ha modificado a medida que las teorías con las cuales se podían interpretar los fenómenos de la naturaleza se hacen más complejas.

En las ciencias sociales se han propuesto y se utilizan modelos matemáticos que intentan explicar y aún predecir fenómenos significativos dentro de su dominio, aunque lo realmente importante es preservar lo suficiente del problema real para que la solución no sea totalmente ajena a las aplicaciones prácticas, es decir, hay que establecer los alcances y las limitaciones de los modelos.

Básicamente los modelos matemáticos deben tener una capacidad predictiva y una capacidad explicativa. La utilización de modelos matemáticos es importante, no tanto por sus posibilidades de cuantificación efectiva de situaciones reales, sino más bien como un instrumento que sirve para revelar posibles indicadores de situaciones no explicadas; No obstante, que las estimaciones cuantitativas que se obtengan puedan ser de gran valor como indicativos del comportamiento de un sector bajo condiciones especificadas, aunque estos resultados sólo son significativos cuando se les interpreta dentro del contexto de un análisis sistémico global, que es, necesariamente, de carácter cualitativo.

Sin embargo, el gran valor de los modelos matemáticos reside pues, en su utilización para representar situaciones que ponen de manifiesto los mecanismos que rigen procesos característicos de los sistemas reales. Los modelos matemáticos adquieren así una capacidad explicativa. El análisis de los resultados de los modelos matemáticos es, en este contexto, puramente cualitativo, pero no menos valioso que los resultados de los mejores modelos numéricos.

### APLICACION DE LOS MODELOS MATEMATICOS.

Cada vez se recurre a las matemáticas con mayor frecuencia. Primero su turno fue para las ciencias naturales, después lo ha sido para las ciencias sociales.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

Las matemáticas nos permiten abarcar mejor el conocimiento de los hechos y expresarlos con mayor precisión. Por ejemplo, es bien conocida la aportación de la estadística a campos tan diversos como la sociología, la antropología, la psicología o la economía, por mencionar sólo algunas. Esta disciplina nos ha permitido medir, describir y analizar los hechos y los fenómenos más complejos, permitiéndonos, además, observar bajo un nuevo enfoque la mayor parte de las ciencias sociales.

Pero desde hace varios años el empleo de las matemáticas en las ciencias sociales ha rebasado el marco de la estadística, dejando claro que por encima de los conceptos o de las teorías de un área específica, las matemáticas aportan un método muy importante: la modelización.

Un modelo matemático es la representación abstracta de una situación real (llamada sistema), que contiene unos elementos sujetos a interacciones entre ellos.

Si llamamos sistema a todo conjunto organizado (ya sea físico, biológico o social), la organización del sistema no es otra cosa que el conjunto de las relaciones entre sus elementos (moléculas, órganos, comunidades, individuos), incluyendo las relaciones entre esas relaciones. Aquí es donde entra el concepto de estructura. En el mundo empírico (y obviamente las ciencias sociales pertenecen a él), la organización de un sistema está dada por las interrelaciones entre procesos, y un proceso es una concatenación de eventos que se dan en el tiempo.

Para poder modelar un sistema se deben seguir los siguientes pasos<sup>8</sup>:

1. Observarlo y poner de manifiesto los elementos y las interacciones que parezcan esenciales.
2. Transformar los elementos en objetos matemáticos (números, vectores, matrices, etc.), y las interacciones en relaciones matemáticas (ecuaciones, inecuaciones, funciones, estructuras, etc.)
3. Resolver, a nivel del modelo y mediante técnicas matemáticas apropiadas, los problemas específicos del sistema (búsqueda del equilibrio, optimización, planificación, previsión, etc.).
4. Interpretar los resultados y confrontarlos con el sistema (realidad) con miras a actuar sobre él.

Cuando el sistema considerado es complejo, es evidente que en todos los estadios de la elaboración del modelo se hacen simplificaciones, esquematizaciones y aproximaciones que son a veces muy numerosas.

Pero en contrapartida, si el modelo se adecua a las exigencias, entonces permite efectuar auténticas profecías acerca de la evolución del sistema (y, por consiguiente, de la realidad).

Las dificultades que se presentan cuando se trata de modelizar un sistema no sólo están ligadas al número de los fenómenos que intervienen en el sistema, sino también a su naturaleza. De manera muy general es posible decir que las

---

<sup>8</sup> Enciclopedia Salvat del Estudiante, México: Salvat, 1984, Tomo 15, p. 101.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

ciencias estudian dos clases de fenómenos: los que evolucionan de forma continua y progresiva, y los que en su evolución presentan ciertas discontinuidades, es decir, ciertas modificaciones brutales. Ejemplos de continuidad en este sentido son la rotación de los planetas alrededor del Sol o el movimiento regular de un vehículo, mientras que ejemplos de discontinuidad son la explosión de una galaxia, la división de las células de un tejido, una manifestación popular que se transforma súbitamente en revuelta, una erupción volcánica o un crack financiero.

Hasta épocas muy recientes no era posible explicar y prever semejantes fenómenos, pues ninguna herramienta matemática se adaptaba con suficiente precisión a ello. Esta es una de las razones por la que tanto las ciencias sociales como las ciencias naturales no han sido consideradas como ciencias exactas, ya que estudian numerosos fenómenos que pueden pasar brutalmente de un estado a otro.

Es en casos como estos donde pueden participar nuevas herramientas matemáticas como la teoría de las catástrofes o como la lógica difusa. En el caso particular de la teoría de las catástrofes, ésta fue desarrollada por el matemático francés René Thom en los años sesenta y permite describir matemáticamente aquellos fenómenos (no necesariamente desastrosos) que pasan de un modo brusco de una forma a otra diferente. Según esta teoría, es posible representar la evolución de los fenómenos que presenten discontinuidades mediante trayectorias sobre superficies geoméricamente accidentadas. Así por ejemplo, en el funcionamiento del mercado del dinero, funciones de variables tan importantes como la demanda y la especulación, suelen representarse mediante una trayectoria continua sobre una superficie. Pero en ciertas circunstancias, esta trayectoria puede llegar al borde de un precipicio y dar lugar a un brusco cambio, como ocurriría en el caso de presentarse un crack financiero.

### CLASIFICACION DE LOS MODELOS.

Los modelos son simplificaciones de la realidad y existen muchas maneras de clasificarlos. Una de ellas permite distinguir entre modelos normativos (llamados a veces prescriptivos) y modelos descriptivos<sup>9</sup>, lo cual es útil al evaluar los resultados del modelo: Los modelos normativos dicen cómo deben construirse los sistemas, mientras que los modelos descriptivos hablan sobre el comportamiento real de algunos sistemas.

Con frecuencia, los modelos normativos se usan como guía en la religión, la medicina, etc. El método científico es un modelo normativo (o prescriptivo) para resolver problemas. En cada uno de esos casos el modelo proporciona una guía de cómo se debe actuar. De esta forma, los modelos normativos son bastante valiosos, ya que proporcionan un criterio del mejor curso de acción.

Como ejemplos de modelos descriptivos se tienen los planos arquitectónicos, las fotografías y los modelos de automóviles a escala natural. Pueden ayudar a describir la realidad pero no incluyen ninguna connotación de

---

<sup>9</sup> GALLAGHER, Charles A. y WATSON, Hugh J., Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: Mc. Graw Hill, 1992. pp. 19-20.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

bueno o malo, óptimo o subóptimo. Los modelos de simulación caen en esta categoría. El mayor uso que se da a los modelos descriptivos es el del conocimiento de cómo se comporta un sistema dado para poder hacer mejoras. En este sentido, los modelos descriptivos son herramientas de trabajo más que guías ideales.

Una segunda clasificación para los modelos es concreto y abstracto<sup>10</sup>. Los modelos concretos tienen, en general, algunas características físicas en común con la realidad que se está modelando. Son en sí mismos sistemas reales físicos, como un modelo de aeroplano usado para las pruebas de túnel de viento, una maqueta de un edificio o los modelos de automóviles a escala. Las réplicas son modelos concretos tan cercanos a la realidad que puede ser difícil diferenciarlos. Pocas veces los modelos concretos son normativos, más bien son descriptivos en su mayoría.

Los modelos abstractos son el extremo opuesto de los modelos concretos. No tienen características físicas comunes con el original. Los modelos abstractos pueden ser verbales, como la descripción de una nueva oficina hecha por un decorador de interiores; o simbólicos, que incluyen tanto a los modelos matemáticos como a los modelos gráficos o pictóricos (como los diagramas de flujo). Los modelos abstractos pueden ser normativos o descriptivos.

Una tercera clasificación los define como modelos descriptivos y modelos explicativos<sup>11</sup>. Los modelos basados en correlaciones son descriptivos. Un modelo descriptivo describe cómo cambian juntos los valores de las diferentes variables; aunque no describe cómo los cambios de una variable afectan o producen cambios en otra variable.

Los modelos que se basan en relaciones de causa efecto o productor y producto, son explicativos. Un modelo explicativo representa la manera en que una o más variables afectan o producen cambios en una o más variables de resultados.

Otras formas de clasificación de modelos son<sup>12</sup>: por tipo de aplicación (por ejemplo, modelos de inventarios) y por técnica (por ejemplo, modelos de programación lineal), entre otras.

Al comparar los modelos se debe tener en cuenta su validez, confiabilidad y simplicidad. Un modelo es válido si lleva a los mismos resultados que se obtendrían en el mundo real. El principio de parsimonia<sup>13</sup> defiende la selección del más simple de dos modelos comparables. En otras palabras, la complejidad debe aceptarse sólo cuando sea necesario.

---

<sup>10</sup> GALLAGHER, Charles A. y WATSON, Hugh J., Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: Mc. Graw Hill, 1992. pp. 19-20.

<sup>11</sup> ACKOFF, Russell L., Planificación de la empresa del futuro, México: Limusa, 1998. p. 251.

<sup>12</sup> GALLAGHER, Charles A. y WATSON, Hugh J., Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: Mc. Graw Hill, 1992. p. 20.

<sup>13</sup> GALLAGHER, Charles A. y WATSON, Hugh J., Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: Mc. Graw Hill, 1992. p. 20.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

### PROCESO DE DESARROLLO DE UN MODELO.

Los modelos no aparecen como por arte de magia para que se usen. En algún momento debe llevarse a cabo un proceso de desarrollo del modelo para poderlos aplicar. Tales procesos requieren el esfuerzo unido de muchas personas. A continuación se hace una descripción del proceso de desarrollo de un modelo<sup>14</sup>:

1. Información y/o identificación del problema
2. Desarrollo del modelo
3. Prueba del modelo
4. Puesta en práctica del modelo
5. Operación del modelo

Pero el proceso en realidad no es directo, es usual que exista retroalimentación en cada paso, lo que puede causar un retroceso al paso anterior.

En la información y/o identificación del problema, una dificultad importante es precisamente identificar el problema, más que detectar sus síntomas. Aquí intervienen diversos factores, pues debe tenerse en cuenta que los métodos no son el objetivo por sí mismos.

Si el paso para identificar la información o el problema sugiere la necesidad de un modelo, entonces se inicia el desarrollo de un modelo apropiado.

Existen dos aspectos importantes en la prueba de un modelo. El primero es asegurar que el modelo proporciona una buena descripción del sistema real, y segundo es comprobar que cumple con las necesidades del usuario.

Por poner en práctica un modelo se entiende integrarlo al medio organizacional en donde se va a usar.

Un modelo que se ha puesto en práctica por completo está listo para su operación. De esta forma el usuario obtiene la información necesaria para apoyar sus responsabilidades en la toma de decisiones.

### CONSTRUCCION DE MODELOS.

Los modelos nos permiten diseñar sistemas para la toma de decisiones, además de determinar la información necesaria para apoyar a los sistemas. Se pueden encontrar tres tipos de situaciones con respecto al modelamiento de una decisión ejecutiva<sup>15</sup>:

1. Puede desarrollar o ha desarrollado un modelo de la decisión que se trata y puede obtener de él una solución; es decir, son decisiones que se pueden modelar y solucionar (por ejemplo el modelo de lógica difusa).
2. Puede desarrollar o ha desarrollado un modelo de la decisión que se trata, pero no dispone de un método para llegar a una solución; es decir,

<sup>14</sup> GALLAGHER, Charles A. y WATSON, Hugh J., Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: Mc. Graw Hill, 1992. p. 542.

<sup>15</sup> ACKOFF, Russell L., Un concepto de planeación de empresas, México: Limusa, 1994. p. 92.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

son decisiones que se pueden modelar, pero no se pueden resolver (no podemos encontrar soluciones óptimas a los problemas modelados).

3. No tiene y no puede desarrollar (por falta de tiempo, recursos o conocimientos) un modelo de la decisión; es decir, se trata de decisiones que no pueden modelarse.

### PARTES DE UN MODELO.

Un modelo de decisión tiene dos partes principales. La primera es una ecuación que relaciona una medida de la actuación del sistema con los aspectos de la situación de decisión, tanto los controlados como los no controlados que influyen en ella. La ecuación de la actuación tiene la siguiente forma:

Actuación del sistema = relación específica entre las variables controladas y las no controladas.

Donde la medición de la actuación puede incluir cantidades como el número de unidades producidas al año, el costo del producto o de un proyecto, la utilidad neta, etc.

Las variables controladas pueden incluir factores como el número de personas empleadas, la cantidad de dinero gastada en materiales, la clase de materiales utilizados y la localización y el tamaño de las instalaciones que van a ser construidas.

Las variables no controladas pueden incluir el clima, las condiciones económicas de la nación, el costo de la mano de obra y las preferencias de los consumidores.

La segunda parte del modelo expresa los límites dentro de los que se pueden manipular cada una de las variables controladas. Tales restricciones y la ecuación de la actuación frecuentemente pueden expresarse en forma simbólica.

La solución a un problema modelado consiste en los valores de las variables controladas que, dentro de las restricciones especificadas y bajo las condiciones no controladas relevantes, permiten lograr la mejor eficiencia del sistema; y cuando una solución arroja estos resultados, se dice que es una solución óptima.

### MODELOS EN LA INVESTIGACION DE OPERACIONES.

Un estudio de Investigación de Operaciones consiste en construir un modelo de la situación física. Un modelo de Investigación de Operaciones se define como una representación idealizada (simplificada) de un sistema de la vida real.

En la Investigación de Operaciones existen tres clases de modelos<sup>16</sup>: los icónicos, los análogos y los simbólicos. Estos modelos básicos se pueden combinar de muy variados modos.

Los modelos icónicos son imágenes a escala del sistema cuyo problema se quiere resolver. En este tipo de modelo, las propiedades relevantes de la realidad se muestran con esas mismas propiedades, pero generalmente cambiando su

<sup>16</sup> PRAWDA Witenberg, Juan, Métodos y modelos de investigación de operaciones, México: Limusa, 1986. Volumen I. pp. 31-33.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

escala. Ejemplos de estos modelos son las fotografías, dibujos, mapas; modelaje de aeroplanos, automóviles o barcos, así como las plantas piloto o los mercados de prueba.

Los modelos icónicos generalmente representan cosas específicas y concretas, por lo que son fáciles de identificar, aunque frecuentemente son difíciles de cambiar para propósitos experimentales.

Los modelos analógicos se basan en la representación de las propiedades de un sistema cuyos problemas se quieren resolver utilizando otro sistema cuyas propiedades son equivalentes. En un modelo análogo, las cualidades relevantes de la realidad se representan por otras diferentes, generalmente más fáciles de manejar. Por esta razón es más difícil identificar lo que simulan, aunque estos modelos son más fáciles de cambiar que los icónicos. Las gráficas son probablemente el tipo de modelo análogo más fácilmente manipulable y con el que estamos más familiarizados, ya que utilizan una amplia gama de variables y de relaciones entre ellas.

El tipo más importante de modelo de investigación de operaciones es el modelo simbólico o matemático. Al formular este tipo uno supone que todas las variables relevantes son cuantificables. En un modelo simbólico, se utilizan los símbolos para representar las propiedades de los objetos reales y las relaciones entre ellos. Estos modelos son los más generales, abstractos y difíciles de construir, aunque se pueden manipular y cambiar más fácilmente.

Debido a que los modelos simbólicos son conceptualizaciones abstractas del problema real, con base en el uso de letras, números, variables y ecuaciones, tenemos que este tipo de modelos son fáciles de manipular y se puede hacer con ellos un gran número de experimentos. De hecho, de estas tres clases de modelos, los simbólicos son los más económicos de construir y de operar.

### MODELOS DE TOMA DE DECISION.

Un área donde los modelos se han establecido y desarrollado con mucho éxito es precisamente la investigación de operaciones; ésta representa la primera metodología formal para atacar problemas decisionales complejos ideada por el hombre. La investigación de operaciones es una poderosa herramienta administrativa de carácter general, que nos ayuda a resolver problemas decisionales complejos, tanto a nivel estratégico como táctico y operativo.

Por su parte, la teoría de decisiones proporciona una manera útil de clasificar los modelos para toma de decisiones, es decir, para hacer una selección. Suponiendo que se ha definido el problema, que se tienen todos los datos y que se han identificado los cursos de acción alternativos, entonces la tarea es encontrar la mejor alternativa. La teoría de decisiones establece que esta tarea de hacer una selección caerá en una de cuatro categorías generales, dependiendo de la habilidad personal para predecir las consecuencias de cada alternativa.



## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

CATEGORIAS	CONSECUENCIAS <sup>17</sup>
Certidumbre	Deterministas
Riesgo	Probabilistas
Incertidumbre	Desconocidas
Conflicto	Influidas por un oponente

### TOMA DE DECISIONES BAJO CERTIDUMBRE.

Las condiciones de certidumbre tienden a ser raras, en especial cuando se trata de decisiones muy importantes. En este tipo de circunstancias, las decisiones son muy fáciles por conocerse el estado de la naturaleza que se presentará.

Los estados de la naturaleza son factores del medio ambiente o factores competitivos. Dichos estados representan varias condiciones que pueden repercutir en las consecuencias de la alternativa escogida, aunque se trata de condiciones que no están bajo el control del que adopta la decisión. Ejemplos de estados de la naturaleza son: condiciones económicas, respuestas ante las personas que toman una decisión, condiciones meteorológicas, etc. Los estados de la naturaleza pueden ser categóricos (rangos) o numéricamente específicos.

Los procesos de decisión bajo completa certeza o certidumbre, también son llamados determinísticos y se caracterizan porque el grupo decisor conoce perfectamente cuál va a ser el estado de la naturaleza relativo a sus objetivos, y por lo tanto, selecciona aquella acción que, de acuerdo al criterio imperante, logrará acercarlos más rápido a la meta preestablecida.

Podemos decir que son problemas determinísticos aquellos en los que cada alternativa del problema (y hay más de dos) tiene una y sólo una solución. Como hay varias alternativas, hay también varias soluciones, cada una con una diferente eficiencia y/o efectividad asociada a los objetivos del sistema. Por lo tanto existe un problema de decisión.

Si se pueden predecir con certeza las consecuencias de cada alternativa de acción, entonces se tiene una tarea de toma de decisiones bajo certidumbre. Otra manera de pensar en esto es que existe una relación directa de causa y efecto entre cada acto y su consecuencia, ya que las consecuencias son predecibles.

Conceptualmente la tarea es bastante sencilla. Simplemente se evalúan las consecuencias de cada acción alternativa y se selecciona la que se prefiere. Sin embargo, en la práctica, esto puede resultar lejos de ser fácil, ya que el número de alternativas puede ser muy grande (o infinito) lo que haría muy laboriosa la enumeración. Ejemplos de modelos determinísticos son: el análisis de punto de equilibrio, la programación lineal, la programación de la producción.

En todo caso, los criterios que imperan en este proceso de decisión son generalmente dos:

- Minimización de costos, pérdidas, esfuerzos.
- Maximización de ganancias, beneficios.

<sup>17</sup> GALLAGHER, Charles A. Y WATSON, Hugh J., Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: Mc. Graw Hill, 1992. p. 21.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

### TOMA DE DECISIONES BAJO RIESGO.

Cuando se toman decisiones en condiciones de riesgo, se conocen todos los posibles estados de la naturaleza y el que adopta la decisión posee suficientes conocimientos para asignar probabilidades a su posibilidad de ocurrencia. Las probabilidades pueden incluir desde las asignaciones subjetivas, basadas en los "sentimientos" y la experiencia de quien toma las decisiones, hasta las asignaciones objetivas, basadas en la colección y análisis de numerosos datos conexos con los estados de la naturaleza.

Los problemas con riesgo son aquellos en los que cada alternativa del problema (y hay más de dos), tienen varias soluciones. Cada solución puede ocurrir con una cierta probabilidad y la distribución de estas probabilidades se conoce o se puede estimar.

Aunque se cuenta con diversos criterios para evaluar estos tipos de decisiones, el más conocido es el valor esperado, para el cual se crea una tabla o matriz de valores condicionales, en la cual se sintetiza el valor que se obtendría con la selección de diversas estrategias y la ocurrencia de determinados estados de la naturaleza. El valor esperado en cada decisión puede determinarse ponderando cada valor condicional por su probabilidad de ocurrencia.

Esta categoría incluye aquellas decisiones para las que las consecuencias de una acción dada dependen de algún evento probabilista. El resultado más importante de la teoría de decisiones bajo riesgo es que debe seleccionarse la alternativa que tenga el mayor valor esperado, esto es equivalente a "apostar al promedio a largo plazo". Esto es, se debe seleccionar aquella alternativa con el pago promedio más alto.

Los elementos de un problema de toma de decisiones bajo riesgo son: al menos dos cursos alternativos de acción, resultados probabilísticos y la habilidad para determinar (o hacer estimaciones razonables de) las probabilidades de los eventos. Ejemplos de este tipo de modelos son: los inventarios, las líneas de espera, la programación de la producción, etc.

Al caso de riesgo, también se le conoce como estocástico, ya que no se conoce perfectamente el estado que adoptará la naturaleza, pero se asocia a éste una distribución de probabilidad (continua o discreta). En función a esta última, el grupo decisor selecciona aquella acción que maximiza la esperanza de acercarlos a la meta propuesta. También en el caso estocástico, se optimizan (maximizan o minimizan) los valores esperados correspondientes.

### TOMA DE DECISIONES BAJO INCERTIDUMBRE.

En este tipo de toma de decisiones, el que la adopta conoce los posibles estados de la naturaleza pero no cuenta con información para asignar probabilidades a su realización. Se han propuesto varios criterios para este ambiente de decisión. Cada uno de esos criterios hace una suposición en cuanto al grado de optimismo o pesimismo del encargado de la decisión.

De esta manera tenemos que los problemas bajo incertidumbre son aquellos en los que cada alternativa del problema (y hay más de dos), tiene varias soluciones. Sin embargo, se ignora con qué probabilidad o distribución probabilística ocurrirán estas soluciones.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

En el caso de total incertidumbre, se desconoce la verosimilitud asociada a la ocurrencia de los posibles estados de la naturaleza, es decir, no se tiene una idea sobre la distribución de probabilidad o función de densidad asociada a los diferentes entornos.

En el caso de total incertidumbre, los criterios que pueden enmarcar el proceso de decisión son:

- a) Maximizar la mínima pérdida.
- b) Maximizar la máxima ganancia.
- c) Coeficientes optimistas - pesimistas.
- d) Minimizar el arrepentimiento máximo.
- e) Igualdad en la verosimilitud asociada a la ocurrencia de cualquiera de los estados de la naturaleza.
- f) Estrategias mixtas.

Podemos decir que esta es una categoría muy común para las decisiones aunque de nombre peculiar. Se parece a la toma de decisiones bajo riesgo, con una diferencia importante. Ahora no se tiene conocimiento de las probabilidades de los eventos futuros, no se tiene idea de cuán posibles sean las diferentes consecuencias. Aún así, se pueden ofrecer varios métodos para manejar problemas de este tipo.

Primero debe tratarse de reducir la incertidumbre obteniendo información adicional sobre el problema. Con frecuencia esto basta para que la solución sea evidente. Si esto falla, se tienen varios caminos abiertos.

Una alternativa para manejar este tipo de situaciones es introducir abiertamente en el problema los sentimientos subjetivos de optimismo y pesimismo, ya que en muchas ocasiones, los sentimientos subjetivos tienen una base razonable.

Si se es una persona optimista, se puede emplear una estrategia maximax. Esto significa que se selecciona la acción que maximiza el pago máximo. Por otra parte, si se es pesimista, se puede ser superconservador y emplear una estrategia maximin. Aquí se selecciona la acción con el mayor de los pagos mínimos. En efecto, se está suponiendo que ocurrirá el peor evento posible y se está seleccionando la mejor acción en esta circunstancia. Maximax y maximin son los dos extremos. Por supuesto, se pondría seleccionar alguna acción intermedia.

Una estrategia alternativa consiste en convertir el problema a uno de toma de decisiones bajo riesgo, para que pueda hacerse una selección óptima. Primero puede expresarse aquellos conocimientos o sentimientos que se tengan sobre los eventos en términos de una distribución de probabilidad.

Si no se tienen bases para hacer estimaciones subjetivas, se puede emplear el principio de la razón insuficiente. Esto significa que puede suponerse que todos los eventos son igualmente probables (espacios muestrales finitos equiprobables).

En muchas de las decisiones bajo incertidumbre se puede, de hecho, expresar el grado personal de optimismo, o convertir el problema a riesgo con una exactitud razonable. El hacer esto mejorará la toma de decisiones en mayor medida que cuando simplemente se hace un disparo en la oscuridad.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

Resumiendo estos criterios y otros más utilizados, se pueden mencionar en conjunto los siguientes procedimientos:

1. El criterio maximax. Este criterio es adecuado para el tomador de decisiones optimistas. Este piensa que, en una selección de cualquier estrategia, la naturaleza actuará en forma que ofrece el premio mayor. Así pues, identifica el valor máximo asociado a la selección de cada alternativa, y después escoge la alternativa relacionada con el máximo de estos máximos; de ahí el nombre de maximax.
2. El criterio maximin. Este criterio es adecuado para una persona pesimista en la toma de decisiones. El pesimista cree que la naturaleza está en contra suya. Está convencido de que, sin importar la estrategia que escoja, la naturaleza responderá de modo de que se produzca el peor resultado posible. Con este criterio, el que toma la decisión identifica primero el peor valor (el mínimo = asociado a cada alternativa de decisión). Se identifica el máximo de estos valores mínimos y se escoge la opción correspondiente. A este criterio se le conoce como "lo mejor de lo peor".
3. El criterio de Hurwicz. Este criterio, aunque adecuado para el optimista y el pesimista absolutos, en realidad está diseñado para el encargado de la toma de decisiones que se encuentra entre ambos extremos. Esta persona refleja su grado de optimismo al especificar lo que se llama índice de optimismo. El índice es una estimación subjetiva representada por la letra griega alfa ( $\alpha$ ) y se le asigna un valor comprendido entre 0 y 1, inclusive. La asignación de un valor de 1 representa al optimista absoluto; un valor de 0 representa al pesimista absoluto. Un valor entre 0 y 1 denota una actitud entre ambos extremos. Si  $\alpha$  representa el índice de optimismo, el valor de  $1 - \alpha$  se interpreta como una medida de pesimismo. El criterio de Hurwicz toma esos valores y calcula el valor ponderado de cada decisión alternativa. En cada alternativa el cálculo es

Valor ponderado =  $\alpha$  \* valor máximo de la alternativa +  $1 - \alpha$  \* valor mínimo de la alternativa.

En cierto modo, el valor (resultado) ponderado evalúa el valor máximo por la estimación que hace de su probabilidad de ocurrencia el encargado de la toma de decisiones y el pago mínimo por la estimación de probabilidad de su ocurrencia. La alternativa de decisión que se escoja es la que posee el pago de mayor ponderación.

4. El criterio de igual probabilidad (Laplace). Este criterio, cuando no se conoce la probabilidad de ocurrencia de los estados de la naturaleza, supone que tienen igual probabilidad de presentarse. Si existen  $n$  estados distintos de la naturaleza, a cada uno se le asigna una probabilidad de ocurrencia igual al  $1/n$ . Con esta suposición, un pago esperado se calculará para cada alternativa de decisión.
5. El criterio de arrepentimiento. Este criterio se centra en el arrepentimiento que uno podría sentir al adoptar una decisión en

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

particular. El arrepentimiento se mide mediante la diferencia entre el pago que se obtiene al tomar la decisión y el pago óptimo que podría conseguirse de haber sabido qué estado de la naturaleza iba a ocurrir. Esta diferencia recibe a veces el nombre de pérdida de oportunidad o costo de oportunidad, es decir, una medida de la magnitud de la pérdida en que incurrió por no seleccionar la mejor opción.

El criterio anterior indica que el encargado de la toma de decisiones debería esforzarse por minimizar el arrepentimiento más grande o bien escoger la alternativa de arrepentimiento minimax. El procedimiento para aplicar este criterio es así:

- a) Se construye la tabla de arrepentimiento usando la matriz de valores (resultados).
- b) Se identifica el arrepentimiento máximo para cada alternativa de la decisión.
- c) Se escoge la alternativa que minimice esos valores de arrepentimiento máximo.

### TOMA DE DECISIONES BAJO CONFLICTO.

Esta es la última de las cuatro categorías. Aquí se tienen aquellos casos de toma de decisiones bajo incertidumbre en los que hay un oponente. Las probabilidades de los eventos no sólo se desconocen; si no que están influenciadas por un oponente cuya meta es vencer. Esta es la situación típica en cualquier competencia como el béisbol, fútbol, póquer, negocios o la guerra. En el marco teórico, éstos se llaman juegos y teoría de juegos.

En el caso de conflicto (el único donde existen por lo menos dos grupos diferentes de decisores), los estados de la naturaleza obligan a que el logro de las metas de un grupo de decisores reduzca, simultáneamente, las posibilidades de que otro grupo alcance las suyas.

En el caso de conflicto, se minimizan las máximas pérdidas (que equivale a maximizar las mínimas ganancias del oponente), o bien, se utilizan con menos frecuencia otros criterios.

Esto se logra con un fuerte interés en los juegos y en la búsqueda de estrategias óptimas (llamadas cursos de acción) para ganar, es decir, que se puede poner atención en ciertos tipos especiales de juegos y desarrollar estrategias óptimas para ellos.

### I.3. TOMA RACIONAL DE DECISIONES.

#### LA NATURALEZA DE UNA DECISION.

Decidir es seleccionar los valores cuantitativos o cualitativos entre dos o más variables. A estas variables se les denomina variables de decisiones controladas. No todas las variables controlables en una decisión son controladas. Sólo se intenta controlar las variables que pueden ser relevantes, o que pueden tener algún efecto sobre el resultado.

Controlar una variable significa ser capaz de establecer su valor unilateralmente, es decir, causarlo. El grupo de variables relevantes sobre las que se puede tener influencia pero no control completo constituyen lo que se denomina medio ambiente transaccional. El grupo de variables relevantes sobre las que no se tiene control, constituyen el medio ambiente contextual.

El resultado de una decisión es una función de los valores tanto de las variables relevantes controladas y no controladas como de los valores de dichas variables, y estos valores frecuentemente se toman como restringidos, es decir:

Resultado = una función de las variables controladas y de las variables no controladas.

Por supuesto que esta ecuación puede estar acompañada de una o más restricciones sobre las variables controladas y no controladas.

#### LA TOMA RACIONAL DE DECISIONES.

La mayor parte de las decisiones que tomamos son triviales, esto significa que no se requiere de ningún procedimiento formal o estructurado para tomarlas. Este tipo de decisiones se hace en forma casi automática, casi de manera impulsiva. Además, cuando las decisiones son triviales, las consecuencias de no tomar la mejor decisión son despreciables, es decir, las consecuencias de una decisión "equivocada" son de poca importancia. Por el contrario, cuando tenemos que tomar una decisión importante, no debemos proceder de igual manera, es decir, no debemos tomar la decisión de una manera intuitiva, sino que debemos establecer un procedimiento general que nos ayude a seleccionar la decisión que producirá los mejores resultados para nosotros.

Una de las actividades más importantes para muchos profesionales, no sólo de administración, actualmente es la de tomar decisiones. Si se aspira a tener éxito, uno de los talentos que deben desarrollarse es la toma de decisiones. Habrá que aprender a buscar el contexto de problemas y oportunidades, obtener la información necesaria, identificar las alternativas disponibles, reflexionar sobre ellas con cuidado, tomar una decisión personal y seguir adelante.

Para la administración, la toma de decisiones es la llave final del todo el proceso administrativo; con la toma de decisiones cobran sentido práctico los planes, los controles y los sistemas de organización. Definitivamente, la toma de decisiones es la función administrativa más importante. En gran medida, un administrador se evalúa por la calidad de las decisiones que toma. Es típico que

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

los buenos administradores sigan un proceso para tomar decisiones: definir los objetivos, recabar los datos, generar los posibles cursos de acción, evaluar las alternativas, tomar la decisión y seguir adelante.

No obstante la toma de decisiones conlleva un cierto grado de dificultad, ya que en ella hay que combinar tanto elementos tangibles como intangibles, conocidos como desconocidos, razones y emociones, realidades o meras posibilidades.

La técnica para llegar a una decisión varía con el tipo de problema, con la persona que la toma y con las circunstancias que prevalezcan. La toma de decisiones está vinculada a la determinación del objetivo, a la investigación de los caminos que nos conducen a él, y a la fijación de alternativas.

El estudio de la toma de decisiones racional es el estudio de toma de decisiones de cómo debería hacerse. Así se hace hincapié en ser lógicos, racionales y objetivos al resolver problemas; para esto se usarán las matemáticas, ya que son el lenguaje del pensamiento racional.

Las matemáticas nos permiten expresar pensamientos complejos de manera concisa, son convenientes y con frecuencia tienen aplicación práctica.

### EL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES RACIONAL.

Al hablar de la toma de decisiones nos referimos a la selección de una alternativa de entre un conjunto de ellas y fundamentalmente significa escoger, teniendo como base el método científico. A continuación se enumeran los pasos del método científico para resolver problemas, tanto en las ciencias como en la administración.

EL METODO CIENTIFICO <sup>18</sup>	
EN LAS CIENCIAS	EN LA ADMINISTRACION
Defínase el problema	Defínase el problema
Recoléctense los datos	Recoléctense los datos
Formúlense las hipótesis	Defínense las soluciones alternativas
Pruébense las hipótesis	Evalúense las soluciones alternativas
Evalúense los resultados	Selecciónese la mejor alternativa
Obténganse las conclusiones	Póngase en práctica

La definición del problema es el primer paso del método científico en la administración, y este punto es crítico porque establece las fronteras para todo lo que sigue, pues sólo tiene valor encontrar la mejor solución para el problema correctamente planteado.

En la recolección de datos deberá reunirse información pasada, hechos pertinentes, y soluciones previas a problemas semejantes.

El método científico se basa en la suposición de que las soluciones existen. En la definición de alternativas de solución se buscan las soluciones posibles y se enumeran.

<sup>18</sup> GALLAGHER, Charles A. Y WATSON, Hugh J., Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: Mc. Graw Hill, 1992. p. 4.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

Una vez enumeradas todas las alternativas de solución, deberán evaluarse. Esto puede lograrse comparando una por una con un conjunto de criterios de solución u objetivos que se deben cumplir. También puede lograrse estableciendo rangos relativos de las alternativas de acuerdo a factores que sean importantes para la solución. En general se hacen las dos cosas.

En la selección de la mejor alternativa se toma la decisión de cuál de las alternativas cumple mejor con los criterios de solución.

La toma de decisiones en administración debe llevar a actuar. La alternativa seleccionada deberá ponerse en práctica.

Dentro del proceso del método científico existen la retroalimentación y el reciclado entre pasos, pero no existe una garantía de que se encuentre la solución a todos los problemas. Este es un método general sujeto a la interpretación del usuario. Sus méritos consisten en que es explícito y objetivo. Si se aplica en forma ordenada y completa, el resultado deberá ser la mejor solución posible.

Otra forma de ver el proceso de toma de decisiones, aunque es muy similar al proceso del método científico, se presenta a continuación<sup>19</sup>:

1. Se debe identificar ante todo y con toda claridad el problema sobre el que se debe decidir.
2. Se debe garantizar que tengamos la información necesaria para poder decidir.
3. Se debe plantear con claridad, las diversas posibilidades de acción y ponderarlas.
4. Se deben ir eliminando las diversas alternativas, de acuerdo con su valor práctico decreciente.
5. Se deben tomar todas las decisiones complementarias.
6. Se debe establecer un sistema de control de resultados de las principales decisiones.

En ambos casos, ya sea por medio del método científico o por medio de este último proceso, el objetivo es el mismo: lograr una mejor toma de decisiones.

### ANALISIS DE DECISIONES.

Decidir es un proceso de selección de aquellos cursos de acción más adecuados. Es un proceso por el que una o más personas seleccionan una alternativa de entre un conjunto para, de acuerdo a ciertos criterios, alcanzar una serie de objetivos y metas establecidas; todo lo anterior dentro del entorno de los posibles estados que pueda guardar la naturaleza.

El proceso de decisión consiste en seleccionar una o varias alternativas o cursos de acción, bajo el criterio de minimizar los riesgos que se presenten.

Los procesos de decisión pueden hacerse bajo:

- a) Completa certeza.
- b) Riesgo.

---

<sup>19</sup> REYES Ponce, Agustín, Administración de empresas. Teoría y práctica, México: Limusa, 1987. Segunda parte.



## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

- c) Completa incertidumbre.
- d) Conflicto.

El proceso de decisión puede realizarse bajo los principios de la metodología científica o de la improvisación. En el caso de la metodología científica es la aplicación secuencial de los siguientes pasos<sup>20</sup>:

- a) Observar el sistema donde incide la decisión.
- b) Identificar y formular el o los problemas, sobre los cuales se requiere decidir.
- c) Establecer una serie de hipótesis de solución, que puedan ser aceptadas o refutadas mediante la construcción y el uso de modelos que se han diseñado explícitamente para tal fin.
- d) Experimentar, es decir, resolver los modelos.
- e) Verificar que los resultados de los modelos sean universalmente aplicables al problema en cuestión, cuando éste se encuentre bajo las mismas circunstancias, aunque en periodos de tiempo distintos, es decir, siempre que las condiciones del problema y su entorno no cambien en dichos periodos.

Los entornos de la naturaleza pueden ser clasificados en tres tipos diferentes:

1. Determinísticos, si la ocurrencia de sus posibles estados se conocen con certeza.
2. Estocásticos (también conocidos como bajo riesgo o conflicto), si se desconoce, pero se les puede atribuir, una función de probabilidad.
3. De total incertidumbre, si se desconoce y no se les puede asociar una distribución de probabilidad.

Como la toma de decisiones es una actividad esencial de los ejecutivos, el análisis y la síntesis de la estructura de la organización deberá comenzar con el análisis y la síntesis de las decisiones.

### TOMA DE DECISIONES Y EL PROCESO ADMINISTRATIVO.

La toma de decisiones esta presente, en mayor o menor grado, en cada una de las etapas del proceso administrativo, es decir: desde la previsión, la planeación, la organización, la integración, la dirección, hasta el control. En la administración, la toma de decisiones es uno de sus aspectos fundamentales y se encuentra en todas las partes de la empresa, además de que trata con todos los temas posibles.

Los problemas relacionados con la toma de decisiones, a los que se les da el nombre de problemas de decisión, son aquellos problemas que van más allá de la necesidad de información y predicción. Se caracterizan porque su solución

---

<sup>20</sup> PRAWDA Witenberg, Juan, Métodos y modelos de investigación de operaciones, México: Limusa, 1986. Volumen II. p. 23.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

requiere que se haga una selección, es decir, que dentro de varias posibilidades se debe elegir alguna.

Prácticamente, la toma de decisiones significa llegar finalmente a una conclusión y para poder hacerlo, la selección debe estar basada en criterios racionales sobre dos o más alternativas de comportamiento posibles.

La toma de decisiones consiste de los siguientes pasos<sup>21</sup>:

- a) Definición del problema.
- b) Análisis del problema.
- c) Determinación de alternativas.
- d) Evaluación de cada alternativa.
- e) Selección de la alternativa que se convierta en decisión.

En la toma de decisiones se necesita que la persona que realiza esta función distinga claramente las diferencias que existen entre problemas, causas, decisiones y soluciones, sin confundir unos con otros y recapacitando donde encaja cada uno de ellos dentro del proceso de la toma de decisiones.

Sin embargo, no es lo mismo el análisis de problemas que la toma de decisiones, pues existen diferencias entre ambas partes, diferencias tanto de naturaleza como de verificación, ya que la primera parte está enfocada a la identificación del problema y al análisis a fin de encontrar la causa, mientras que la segunda trata sobre la selección de alguna alternativa, es decir, trata de elegir que hacer respecto a un problema. Además, existe la diferencia de que en el análisis de problemas la explicación debe ser verificable, dado que la causa de un problema pertenece al pasado, siendo totalmente distinta esta situación en la toma de decisiones, ya que las respuestas no son objeto de verificación dado que su comportamiento será futuro y esto implica la existencia de incertidumbre.

Ambas partes, el análisis de problemas y la toma de decisiones, integran un proceso que sigue una secuencia lógica y cuya finalidad es la de solucionar problemas. Sin entrar en mayor detalle, podemos establecer que el análisis de problemas requiere en primer término que se defina lo que se entiende por problema. Para nuestros fines se entenderá por problema aquella desviación, diferencia o desequilibrio entre lo que debiera suceder y lo que en realidad sucede. A dicha desviación, diferencia o desequilibrio se le conoce como la causa del problema y naturalmente, para poder resolver cualquier problema se debe conocer su causa.

El análisis de problemas consiste en un sistema ordenado de procesamiento de información, que sirve para hallar las posibles causas que ocasionan desviaciones, diferencias o desequilibrios. Cualquier posible causa debe expresarse como enunciado positivo y comprobable de causa y efecto. La principal herramienta del análisis de problemas es la información, y la calidad del análisis de problemas esta en razón directamente proporcional a la calidad de la información y su manejo.

---

<sup>21</sup> MARTINEZ Fuentes, Vicente José y DELGADILLO Ocampo, María de Lourdes, Administración de riesgos de personal, México: Tesis de Licenciatura, 1986, p. 41.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

El análisis de problemas esta compuesto por las siguientes etapas<sup>22</sup>:

1. El que analiza problemas cuenta con una norma establecida de funcionamiento, un "debiera" frente al cual comparar la "realidad" del funcionamiento.
2. Un problema es una desviación de una norma de funcionamiento.
3. La desviación de la norma tiene que identificarse, localizarse y describirse en forma precisa.
4. Siempre hay algo que distingue lo que ha sido afectado por la causa de aquello que no ha sido afectado.
5. La causa de un problema es siempre un cambio que ha ocurrido a través de alguna característica, mecanismo o condición distintiva para producir un efecto nuevo o deseado.
6. Las posibles causas de una desviación se deducen de los cambios pertinentes encontrados al analizar el problema.
7. La más probable causa de una desviación es aquella que explica exactamente todos los datos en la especificación del problema.
8. Verificación en la práctica.

Por su parte, dentro del proceso de la toma de decisiones se debe establecer que este proceso sigue también una progresión racional y su finalidad es establecer objetivos claros y obtener una cuidadosa valoración de las alternativas para poder tomar así una acción.

La toma de decisiones es un proceso difícil ya que la persona que la lleve a cabo necesita combinar tanto experiencia, conocimientos, sentido común y criterio, junto con incertidumbres futuras.

Los conceptos básicos que integran el proceso de toma de decisiones son los siguientes<sup>23</sup>:

1. Se deben establecer primero los objetivos de una decisión, mostrándolos como una meta precisa situada en el tiempo, lugar y cantidad (número).
2. Los objetivos se clasifican conforme a su importancia en obligatorios o deseados. Los objetivos obligatorios establecen límites, tanto máximos como mínimos, que no pueden ser violados por ninguna alternativa, mientras que los objetivos deseados expresan una conveniencia relativa, es decir, están relacionados con ventajas y desventajas relativas y esto permite que exista una ponderación de cada uno de ellos.
3. Se desarrollan acciones alternativas.

---

<sup>22</sup> MARTINEZ Fuentes, Vicente José y DELGADILLO Ocampo, María de Lourdes, Administración de riesgos de personal, México: Tesis de Licenciatura, 1986, pp. 44-45.

<sup>23</sup> MARTINEZ Fuentes, Vicente José y DELGADILLO Ocampo, María de Lourdes, Administración de riesgos de personal, México: Tesis de Licenciatura, 1986, pp. 46-48.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

4. Las alternativas se valoran respecto a los objetivos establecidos, se evalúa qué tan eficientemente una alternativa desempeña su trabajo. Dicha valuación está formada por un gran número de juicios individuales derivados del examen de múltiple hechos. Cada alternativa se examina individualmente frente a cada uno de los objetivos obligatorios y deseados. Si una alternativa satisface cada uno de los objetivos obligatorios pasa a una comparación, junto con las otras alternativas aprobadas, respecto a los objetivos deseados.
5. La elección de la alternativa con mejor capacidad para lograr todos los objetivos representa la decisión tentativa. Dicha decisión debe cumplir con los siguientes requisitos:
  - a) satisfacer todos los requisitos obligatorios;
  - b) ser la alternativa más calificada para realizar el trabajo en su totalidad; y
  - c) ofrecer las menores desventajas, es decir, ser la alternativa que evita el mayor número de problemas futuros, aunque pueda tener una menor eficiencia o un mayor costo en comparación con otras alternativas.
6. La decisión tentativa se examina para determinar las futuras consecuencias adversas posibles. Se entiende por una consecuencia adversa un problema futuro resultante de una acción tomada. Se deben buscar dificultades, fallas y defectos potenciales que la decisión tentativa pueda ocasionar. Las consecuencias se sopesan en términos de su gravedad y probabilidad, buscando el equilibrio entre el logro de los objetivos y las consecuencias.
7. Los efectos de la decisión final se controlarán tomando otras medidas a fin de evitar que las posibles consecuencias adversas se transformen en problemas y asegurándose que las acciones adoptadas se lleven a cabo.

La toma de decisiones es un proceso que implica el sustento de criterios o bases. La selección de alguna alternativa, es decir, la decisión en sí, está fundamentada en el criterio que se considera importante en la situación en particular. La importancia de la toma de decisiones ha estimulado mucho el pensamiento respecto a la base, al criterio y a la forma en la cual puede y debe ejecutarse. El ámbito de las técnicas se extiende, por un lado, a partir de la imaginación y, por el otro, hasta donde se emplean complejos análisis matemáticos.

Las bases que se emplean en tales análisis pueden ser cuantitativas o no cuantitativas. En el segundo grupo se encuentran la intuición, los hechos, la experiencia y las opiniones consideradas; mientras que en el primer grupo encontramos a la investigación de operaciones, la teoría de optimización, la programación matemática (dinámica, lineal, no lineal, entera, flujos en redes, etc.), los procesos estocásticos, también conocidos como procesos bajo riesgo (teoría de colas, inventarios, reemplazo), los métodos de simulación (como el método de Monte Carlo), y las teorías de control, de juegos o de decisiones, entre otras.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

Los criterios no cuantitativos son útiles tanto para los problemas que se refieren a los objetivos, es decir, con las decisiones directamente relacionadas con los resultados finales, como con los eventos que requieren la determinación de cursos de acción, esto es, de decisiones relacionadas con los medios para lograr los fines.

Por su parte, en los criterios cuantitativos los resultados se dan por conocidos o se suponen en términos generales. La decisión que se obtiene por este tipo de criterio se refiere a la mejor forma de alcanzar un objetivo, o sea, los medios para lograr el objetivo dado. Las bases cuantitativas han tenido un gran desarrollo debido al mejoramiento de la medición de valores de los elementos por la conveniencia de tener un enfoque más sistemático y lógico en cualquier problema administrativo. Estas bases o criterios implican varios pasos<sup>24</sup>:

- a) Concepción del problema.
- b) Hipótesis.
- c) Definición.
- d) Experimentación.
- e) Cambio entre alternativas.

En este tipo de criterios el procesamiento hacia la respuesta es racional, se suponen esquemas ordenados de comportamiento y se utilizan tanto explicaciones como predicciones lógicas.

Los tipos de acciones que se pueden tomar mientras el proceso del análisis de problemas y de la toma de decisiones se están realizando o ya se han concluido son los siguientes<sup>25</sup>:

1. Acción interina, la cual se toma antes de conocer la causa con la finalidad de ayudar a que la operación continúe su marcha. Este tipo de acción da tiempo para analizar el problema y hallar su causa.
2. Acción de adaptación, se adopta después de que se ha localizado la causa de un problema, y no se puede hacer nada para eliminarlo, o cuando no es factible ninguna acción para corregir directamente la desviación. Esta acción permite convivir con los efectos de un problema y reducirlos al mínimo posible.
3. Acción correctiva, cuando se conoce la causa de un problema, hace posible su eliminación, logrando con ello que desaparezca la desviación que produjo el problema.
4. Acción contingente, estableciendo posibles medidas para el caso en que el problema se vuelva a presentar.

---

<sup>24</sup> MARTINEZ Fuentes, Vicente José y DELGADILLO Ocampo, María de Lourdes, Administración de riesgos de personal, México: Tesis de Licenciatura, 1986, pp. 50-51.

<sup>25</sup> MARTINEZ Fuentes, Vicente José y DELGADILLO Ocampo, María de Lourdes, Administración de riesgos de personal, México: Tesis de Licenciatura, 1986, p. 51.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

### IMPORTANCIA DE LA RACIONALIDAD EN LAS DECISIONES.

Aunque la mayoría de las decisiones de la actividad cotidiana se toman con base en la intuición, en el "sentido común" o en el puro instinto, siempre tienen alguna racionalidad. Además, aún si es claro que una decisión se obtuvo en forma por completo impulsiva o instintiva, cuando se trata de explicar la acción, siempre se busca una interpretación racional. Profundizando aún más, se da uno cuenta que existe cierta obsesión con respecto a la racionalidad en las decisiones, sobre todo a medida que aumenta la importancia de éstas para quien las toma. De alguna manera, la racionalidad es un ideal de conducta del ser humano. Si esto es así en el actuar cotidiano del individuo, se acentúa aún más en las organizaciones.

Pero ¿qué es lo que distingue el actuar racional del irracional? Por principio de cuentas, la propia percepción de lo racional es muy subjetiva. Es un hecho que bajo distintas ópticas culturales, una conducta puede ser perfectamente racional o una absoluta locura. En épocas recientes, esta idea del actuar racional es descartada, pues se observa, que no se ajusta a la manera en que los individuos actúan en la realidad: se actúa sólo con el objeto de obtener un beneficio personal.

Algunos ingredientes comunes a cualquier proceso racional son: primero, queda claro que "lo racional" busca un control de "lo emotivo", si no es que su total supresión. Así en el propósito, se reconoce que un proceso racional contempla una serie de supuestos que, de alguna manera crítica y objetiva, serán llevados hasta sus últimas consecuencias. En todo proceso racional, se busca una congruencia entre los supuestos y sus consecuencias y, de hecho, se ponen a prueba constantemente como un medio de garantía de racionalidad de un proceso. Es importante hacer notar que la racionalidad no depende de la firmeza de los supuestos, es más un problema de la congruencia entre supuestos y conclusiones, como antes se dijo.

Sin embargo, es necesario señalar, que aún en las decisiones más importantes dentro de una organización, en donde se cuenta con buena información y un respaldo técnico de alta calidad, la racionalidad tiene un límite. Una vez rebasado el límite de la racionalidad, la decisión se tendrá que tomar utilizando la intuición, el sentido común y el instinto. (Nótese que en todo esto habrá una buena dosis de emociones mezcladas).

En el proceso decisional en situaciones complejas y trascendentes, antes de aplicar la intuición y el sentido común o del instinto para decidir, la objetividad y la racionalidad se deben llevar hasta sus últimas consecuencias, dentro de las limitantes de oportunidad y disponibilidad de recursos.

Lo que realmente nos interesa es la forma en que se toman decisiones en las organizaciones, y cómo se puede lograr que este proceso se realice dentro de un contexto de racionalidad y formalidad tal, que se maximicen las posibilidades de tomar una decisión acertada. Aquí, se toma una posición normativa, es decir, se explora la forma en que se deberían tomar decisiones, y no cómo se toman.

### LOS INGREDIENTES DE UNA DECISION.

La solución de un problema decisional implica tener claro lo que se quiere. Lo importante es que cada individuo tenga claros sus objetivos y tome decisiones racionales para alcanzarlos. Este mismo principio se aplica a las organizaciones.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

En cualquier decisión se identifican tres ingredientes básicos<sup>26</sup>:

- a) Una idea clara de lo que es deseable o bueno para el decisor (es decir, lo que se quiere).
- b) Un proceso de reflexión o análisis sobre los cursos de acción disponibles al decisor para obtener lo que quiere.
- c) El compromiso, por parte del decisor, de seguir el curso de acción que parece más prometedor, para obtener lo que para él es bueno o deseable.

Si se sigue la senda pragmática (con todo y sus defectos), se dice que: se toma una decisión cuando, habiendo identificado lo que se desea y después de concluir un proceso de reflexión y/o análisis sobre los distintos cursos de acción posibles para obtener lo que se quiere, se adquiere el compromiso de seguir aquel curso de acción que el proceso de reflexión señala como el que más posibilidades tiene de proporcionar al decisor lo que desea.

Dentro de esta línea, cuando se habla de un problema decisonal, se hace referencia al problema de determinar la mejor forma de proceder para tomar una buena decisión. Es decir, a los métodos que se deben usar, a los pasos que se deben dar, a la información que se requiere y cómo se debe utilizar, a las preguntas que se deben hacer y, sumamente importante: cuáles son las características de una buena decisión. No hay que olvidar que se ha argumentado que la racionalidad es un ideal de conducta.

### CLASIFICACION DE LOS PROBLEMAS DECISIONALES.

Nos interesa explorar las metodologías formales que se han elaborado para atacar los problemas decisonales complejos que se presentan en las organizaciones y en sus distintos niveles jerárquicos. Dentro de este marco se distinguen básicamente dos clasificaciones<sup>27</sup>:

- a) La que tiene como base un horizonte temporal, y que fue propuesta de manera independiente por Anthony y Jaques.
- b) La que hace depender las decisiones del grado de estructuración o dureza del problema decisonal, propuesta por Herbert Simon.

Cuando se usa el tiempo como referencia (horizonte temporal), se llega a una clasificación que distingue entre problemas decisonales estratégicos, tácticos y operativos. Las decisiones estratégicas están asociadas con el más alto nivel gerencial, las tácticas con la gerencia media y las operativas con los niveles de producción; aunque en un problema operativo, por ejemplo, si es lo

---

<sup>26</sup> MENDEZ, Ignacio y GONZALEZ Casanova, Pablo (coordinadores), Matemáticas y ciencias sociales, México: Miguel Angel Porrúa, 1993. pp. 143-144.

<sup>27</sup> MENDEZ, Ignacio y GONZALEZ Casanova, Pablo (coordinadores), Matemáticas y ciencias sociales, México: Miguel Angel Porrúa, 1993. p. 145.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

suficientemente importante, puede verse involucrado el nivel más alto de gerencia dentro de la organización.

La clasificación propuesta por Herbert Simon distingue entre problemas decisionales duros, es decir, bien estructurados, y problemas decisionales blandos, es decir, carentes de estructura y/o confusos. La idea es que mientras más duro sea un problema, más fácil será programar las decisiones. Por el contrario, mientras más blando sea el problema, más difícil será su programación. De este modo, las decisiones "programables" pueden estructurarse dentro de procedimientos definitivos por instrucciones precisas y delegarse a los niveles gerenciales más bajos, o llegar, incluso, a mecanizarse.

En cambio, las decisiones "no programables" no pueden manejarse con los procedimientos preestablecidos. Su atención requiere creatividad, una cuidadosa ponderación de juicios de valor y pensamiento abstracto. Normalmente son complejos por naturaleza y deben ser atendidos por los niveles administrativos más altos dentro de la empresa.

De esta forma, los problemas de tipo operativo caen dentro de lo programable, mientras que los problemas de orden estratégico, son blandos por naturaleza.

Sin embargo, ninguna de las clasificaciones está libre del problema de delimitación ya que ni el punto de separación entre problemas duros y blandos, ni el que los separa temporalmente, está marcado con precisión. Por lo cual, es menester conformarse con hablar de grados de dureza o de vigencia.

Otro aspecto que caracteriza los problemas decisionales es la frecuencia con la que aparecen. Por lo general, tanto los problemas decisionales programables como los operativos aparecen con mayor frecuencia que los no - programables y los estratégicos. También resulta evidente que una respuesta racional a cada tipo de problema, requerirá una metodología diferente para tratarlos en forma eficiente.

### LAS DIFICULTADES IMPLICITAS EN UNA DECISION.

En situaciones complejas, un problema decisional debe abordarse de manera ordenada y racional, siguiendo estos pasos<sup>28</sup>:

1. Definir los objetivos.
2. Identificar los cursos de acción disponibles y la medida en que cada uno cumple con los objetivos propuestos.
3. Identificar el que más posibilidades tiene de lograr dichos objetivos.

Aunque para empezar, no siempre está claro lo que se quiere, pues hay ocasiones en que no es fácil definir un objetivo racional. También puede resultar complicado descubrir los distintos cursos de acción que se pueden seguir para obtenerlo, así como la medida en que éstos darán al que decide lo deseado. Puede suceder, además, que se busque satisfacer varios objetivos a la vez que,

---

<sup>28</sup> MENDEZ, Ignacio y GONZALEZ Casanova, Pablo (coordinadores), Matemáticas y ciencias sociales, México: Miguel Angel Porrúa, 1993. p. 149.



## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

aunque estén definidos con toda claridad y su grado de cumplimiento sea fácil de medir, sean conflictivos entre sí.

El objetivo de las técnicas o paradigmas formales que se han ideado para atacar problemas decisionales, es precisamente el de garantizar que el proceso decisional se realice de manera racional, y desemboque en una decisión que sea la más prometedora para alcanzar el objetivo que persigue el que decide. Como tal, debe haber una congruencia total entre la racionalidad de lo que quiere el decisor y la racionalidad con la que resuelve el problema decisional. Como lo veremos más adelante, la lógica difusa es una de esas técnicas.

### DE LAS CRITICAS Y SUS CONSECUENCIAS.

Las críticas que se fijan en contra de la matematización de los problemas decisionales son<sup>29</sup>:

1. La relevancia de los problemas atacados por la metodología.
2. La dificultad para tomar en cuenta aspectos cualitativos y blandos relevantes a los problemas.
3. La velocidad de respuesta.
4. Las dificultades para actuar dentro de las organizaciones.

Lo anterior se hace evidente cuando hay aspectos cualitativos y blandos de suma importancia, que no se podían modelar matemáticamente, por lo menos no con los conocimientos limitados de épocas anteriores. Pero el resultado de muchos de los esfuerzos orientados a resolver los problemas de blandura y de incorporación de información cualitativa a la solución de problemas decisionales, ha sido la construcción de nuevas estructuras matemáticas, como es el caso particular de la lógica difusa. En estos casos se ha buscado "quitar lo blando" a los problemas, además de proporcionar mayor eficiencia en la manera de razonar a través de la matematización, para lo cual se necesita<sup>30</sup>:

- a) La ubicación organizacional correcta de los especialistas y su proceso de integración a la cultura de la empresa.
- b) El tratamiento adecuado de aspectos cualitativos y blandos en la modelación matemática, haciendo que los problemas se "endurezcan".
- c) El conseguir un equilibrio entre el refinanciamiento técnico y la importancia del problema y la oportunidad de las soluciones o recomendaciones.
- d) Lograr un plano común de comunicación con los que toman las decisiones.

---

<sup>29</sup> MENDEZ, Ignacio y GONZALEZ Casanova, Pablo (coordinadores), Matemáticas y ciencias sociales, México: Miguel Angel Porrúa, 1993. p. 154.

<sup>30</sup> MENDEZ, Ignacio y GONZALEZ Casanova, Pablo (coordinadores), Matemáticas y ciencias sociales, México: Miguel Angel Porrúa, 1993. pp. 157-158.

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

### TEORIA DE LA TOMA DE DECISIONES.

Todas las decisiones, tanto personales como de negocios, tienen en común el mismo proceso a seguir. Dentro del proceso de decisión existen tres clases de informaciones muy importantes: los objetivos, las limitaciones y las alternativas.

Los objetivos son lo que nosotros queremos que resulte del proceso. Las limitaciones son aquellos factores que nos restringen. Las alternativas son las elecciones posibles.

Existen varios métodos reconocidos para manejar objetivos, limitaciones y alternativas en los sistemas de toma de decisiones, pero todos estos sistemas están diseñados para producir la decisión (elegir la alternativa) que mejor se relaciona con los objetivos, dentro de los límites establecidos.

Aunque la gente toma constantemente decisiones en su vida privada, lo mismo que en su trabajo, podemos distinguir la existencia de dos tipos de decisiones: las cualitativas y las cuantitativas.

Algunas decisiones son cualitativas por lo que respecta a sus implicaciones e importancia, otras incluyen elementos de índole cuantitativo, es decir, cuantificables (en cantidad), como por ejemplo: si acepto el empleo A, mi sueldo será de \$X al mes; pero en el trabajo B mi sueldo será de \$Y. La toma de decisiones se centra en un subconjunto de ambientes en el cual las consecuencias de las decisiones son principalmente cuantificables.

En la explicación de la teoría de decisiones se supondrá que los elementos específicos relacionados con las decisiones pueden deducirse de un ambiente en que se toman e incorporarse a una estructura general.

Primero se supondrá que el que toma las decisiones está en condiciones de definir todas las opciones o estrategias, es decir, las alternativas disponibles, que están estudiándose.

Segundo, suponemos que el que toma la decisión puede definir los llamados estados de la naturaleza en el ambiente que la rodea. Los estados de la naturaleza, como ya se mencionó anteriormente, son factores del medio ambiente o factores competitivos que representan varias condiciones que pueden repercutir en las consecuencias de la alternativa escogida, y se trata de condiciones que no están bajo el control del que adopta la decisión, como por ejemplo: las condiciones económicas, las respuestas ante las personas que toman una decisión, las condiciones meteorológicas, etc. Son considerados como valores o variables exógenas.

Tercero, se supone que los encargados de la toma de decisiones pueden estimar las consecuencias en términos de beneficios o costos de escoger alguna de las opciones y de hacer que ocurra cualquier estado de la naturaleza. Estas consecuencias deberían ser cuantificables y suelen representar un criterio con que el que toma una decisión mide el desempeño de la organización. Estas consecuencias se muestran en una tabla de resultados que no es otra cosa que una tabla o matriz con un renglón por cada estrategia (alternativa de decisión), una columna por cada estado de la naturaleza y los pagos (resultados) incluidos en el cuerpo de la tabla:

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

ARREGLO DE RESULTADOS (TABLA DE RESULTADOS)				
ESTRATEGIAS (alternativas de decisión)	ESTADOS NATURALES (condiciones que pueden repercutir en las consecuencias de la adopción de una estrategia)			
	N1	N2	N3	N4
E1	R11	R12	R13	R14
E2	R21	R22	R23	R24
E3	R31	R32	R33	R34
RESULTADOS: con 12 resultados posibles (Rij), cada uno esta asociado a una estrategia (Ei) y a un estado natural (Ni)				

Si se tiene una matriz de pagos, se necesita otro factor más (y muchas veces crítico) para determinar la descripción del ambiente de decisión, esto es, cuánto se conoce sobre la probabilidad de que se realicen distintos estados de la naturaleza. El grado de conocimiento referente a los estados de la naturaleza se clasifica en tres categorías de la toma de decisiones<sup>31</sup>:

1. Toma de decisiones en condiciones de certidumbre. En esta situación existe la certidumbre total por parte del que toma la decisión respecto a cuál estado de la naturaleza va a presentarse.
2. Toma de decisiones en condiciones de incertidumbre. En esta situación el encargado de tomar la decisión no conoce la probabilidad de que se realicen varios estados de la naturaleza.
3. Toma de decisiones en condiciones de riesgo. En esta situación, el encargado de la toma de decisiones tiene suficiente conocimiento sobre los estados de la naturaleza para asignar las probabilidades de su posibilidad de que ocurran.

Se puede pensar que el nivel de conocimiento que posee el encargado de la toma de decisiones se encuentra en un continuo como el de la siguiente figura:

← CONOCIMIENTO DECRECIENTE	CONOCIMIENTO CRECIENTE →
← INCERTIDUMBRE	RIESGO
← PROBABILIDADES SUBJETIVAS	PROBABILIDADES OBJETIVAS →

El continuo va de un extremo de incertidumbre (ausencia de conocimiento) al otro extremo de certidumbre absoluta (conocimiento perfecto). El territorio intermedio comprende todos los niveles del conocimiento entre los extremos. Es en esa región donde diríamos que la toma de decisiones se adopta en condiciones de riesgo. Las probabilidades asignadas a los estados de la naturaleza tienden a ser más subjetivas cuando hay menos conocimiento y más objetivas cuando es mayor el conocimiento. De hecho sólo existen dos enfoques de la probabilidad, el enfoque subjetivo y el objetivo.

<sup>31</sup> BUDNICK, Frank S. Matemáticas aplicadas para administración, economía y ciencias sociales, México: Mc. Graw Hill, 1997. p. 493

## CAPITULO I: LOS METODOS CUANTITATIVOS.

El enfoque subjetivo de la probabilidad, a veces llamado enfoque bayesiano, se hace en base al criterio de una opinión personal, con fundamento solamente en la experiencia y el sentido común, es decir, son estimaciones basadas en juicios y experiencias pasados; mientras que en el enfoque objetivo de la probabilidad, se hace un análisis de los posibles resultados del experimento y se relacionan con el resultado esperado mediante conceptos básicos de la teoría de probabilidades.

El enfoque clásico de la probabilidad se subdivide a su vez en el enfoque clásico propiamente dicho y el enfoque empírico. El enfoque clásico de la probabilidad se emplea con base en que los espacios muestrales están constituidos por eventos igualmente probables (llamados espacios equiprobables) y son simplemente una función de la cantidad de resultados posibles, donde la probabilidad de cualquier evento es igual al inverso del número de resultados posibles; mientras que el enfoque empírico toma en consideración que las situaciones reales no siempre cumplen la condición de que los resultados tienen la misma probabilidad de suceder, por lo que se tendrán que obtener datos empíricos de los resultados de los experimentos. Para poder estimar las probabilidades, que en el caso de un evento llamado A por ejemplo, sería el número de veces que ocurre el evento A entre el número total de ensayos u observaciones (en los que ocurre o no ocurre el evento A), es decir, la cantidad de resultados asociados con el evento A entre la cantidad total de resultados posibles, considerándose así a la probabilidad como la proporción o frecuencia relativa con la que ocurre un determinado evento, lo que nos lleva a que para la elaboración de la matriz de resultados, existan diversos criterios que pueden aplicarse, según sea que las decisiones que se toman sean en condiciones de certidumbre, riesgo, incertidumbre o conflicto, como se mencionó anteriormente.

**CAPITULO II.  
EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.**

**II.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.**

**INTRODUCCION AL RIESGO Y A LA INCERTIDUMBRE.**

Si hay alguna constante en la historia del progreso humano, y en particular en la historia de los últimos años, esta constante ha de ser que nada es constante. La tormenta es para siempre. Se acabó la calma.

Una empresa hoy en día ha de ser administrada teniendo en cuenta dos hechos fundamentales:

1. El cambio es y va a ser constante.
2. El mundo se ha quedado pequeño. La competencia y el cambio ahora pueden venir desde cualquier parte del mundo.

Pero no todo es peligro; el cambio constante también significa constantes oportunidades para hacer negocios, aunque los métodos antiguos, adaptados a un mundo estático ya no sean tan funcionales; hacen falta pues, nuevos métodos.

Cada día aparecen en las escuelas y en las empresas nuevos métodos que atestiguan la necesidad de estar siempre al día y preparados para hacer frente a la competencia, de donde quiera que venga.

El sector financiero, tanto dentro del propio sector financiero como dentro de los departamentos financieros de compañías cuyas actividades principales no son de índole financiera, tampoco han sido inmunes al cambio, aunque han sido en general mucho más reacias a adaptarse, pero también necesitan nuevos métodos.

Dentro de los nuevos instrumentos empleados en finanzas podemos encontrar a los cuatro productos básicos o instrumentos financieros derivados (opciones, futuros, contratos adelantados y permutas financieras). En los últimos años, gracias a estos instrumentos derivados, ha habido una verdadera revolución en el ámbito de lo que es posible hacer para responder a los cambios, y al riesgo que éstos cambios representan en los mercados financieros.

A primera vista, el riesgo parece inevitable, puesto que nunca seremos capaces de predecir el futuro con total certeza. Y, sin embargo, esto no es así, al menos no en parte, ya que podemos evitar el riesgo o sus efectos, sin necesidad de predecir con total certeza el futuro, porque afortunadamente contamos con la probabilidad y la estadística para tratar al riesgo de una manera rigurosamente matemática.

Algunos métodos en finanzas, como los que permitieron la creación de los instrumentos financieros derivados, no son más que el resultado de aplicar conceptos estadísticos a un tipo de incertidumbre que presenta diariamente el

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

futuro en el mundo de las finanzas, para luego poder actuar con confianza sobre los resultados. Sin embargo, conviene aclarar aquí algo muy importante, que riesgo e incertidumbre son dos cosas distintas, relacionadas sí, pero al final de cuentas, diferentes.

Por definición<sup>32</sup>, se entiende lo siguiente en cada caso:

- ✓ Riesgo. (Del antiguo *resgar*, cortar, del latín *resecāre*). sustantivo masculino. Contingencia o proximidad de un daño. 2. Cada una de las contingencias que pueden ser objeto de un contrato de seguro.
  - Contingencia. (Del latín *contingentĭa*). sustantivo femenino. Posibilidad de que una cosa suceda o no suceda. 2. Cosa que puede suceder o no suceder. 3. Riesgo.
- ✓ Incertidumbre. sustantivo femenino. Falta de certidumbre; duda, perplejidad.
  - Certidumbre. (Del latín *certitūdo*, *-inis*). sustantivo femenino. Certeza. 2. antiguo Seguro, obligación de cumplir alguna cosa.
  - Certeza (De *cierto*). sustantivo femenino. Conocimiento seguro y claro de alguna cosa.
  - Perplejidad. (Del latín *perplexitas*, *-ātis*). sustantivo femenino. Irresolución, confusión, duda de lo que se debe hacer en una cosa.

A partir de estas definiciones, podemos observar que riesgo e incertidumbre no se definen de la misma forma, ni siquiera se pueden considerar como palabras sinónimas, lo que nos indica que, en efecto, riesgo e incertidumbre no son lo mismo.

### RIESGO.

Cada campo del conocimiento tiene su propia y muy particular terminología. De esta manera, términos que tienen significados simples en la vida diaria, con frecuencia se ven complicados en su connotación al ser aplicados en campos especializados. Este es el caso particular del concepto de riesgo.

Hasta nuestros días, los profesionales de los diversos campos de estudio no han podido acordar una definición de riesgo aplicable a todos ellos, ya que en cada área, dependiendo de sus características, tiene un propósito distinto.

Esto nos lleva a pensar que dada una determinada situación, hay cierta inseguridad sobre lo que resultará de ella y que, además, existe la posibilidad de que dicho resultado sea desfavorable. En términos generales esta noción intuitiva es satisfactoria, aunque convendría formalizarla para darle una mayor precisión al concepto de riesgo, más acorde con las finanzas, nuestra área de estudio.

En términos generales, el riesgo se refiere a la variación en los resultados posibles. Mientras más varíen, se dice que el riesgo es mayor. El riesgo también es considerado una eventualidad, es decir, es la posibilidad de sufrir pérdidas, que pueden convertirse o no en realidad. Para que sea asegurado el daño que ocasiona la conversión del riesgo en un siniestro real, debe poder valuarse por su

<sup>32</sup> Real Academia Española, Diccionario de la Lengua Española, Madrid: Espasa-Calpe, 1970. (19ª. ed.).

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

equivalente en dinero. Al usar esta palabra en el lenguaje de Seguros, suelen dársele dos significados distintos:

- a) El peligro contra cuyos daños se otorga el contrato de seguros, por ejemplo el Riesgo de Incendio, el Riesgo de Explosión, etc.
- b) Un determinado conjunto de bienes protegidos mediante dicho contrato.

El riesgo puede cuantificarse de varias formas diferentes. El rango de los resultados es una medida burda del riesgo. Otra alternativa es calcular la varianza (o en todo caso, la desviación estándar). Esta es una medida un poco más sofisticada del riesgo que el rango, ya que toma en cuenta las probabilidades de esas desviaciones alrededor del valor esperado.

### DEFINICION DE RIESGO.

Dentro de las acepciones más comunes que podemos encontrar del concepto de riesgo se encuentran las siguientes<sup>33</sup>:

- ✓ Incertidumbre o el grado de incertidumbre, acerca de la ocurrencia de una pérdida. Generalmente es aceptado el hecho de que tanto riesgo como incertidumbre están relacionados y en realidad así es, aunque éste último sea un término un tanto ambiguo. El riesgo es una combinación de azares medidos por la probabilidad, es un estado del mundo real mientras que la incertidumbre no lo es. La incertidumbre surge cuando se tiene un conocimiento imperfecto sobre todos o alguno de los datos del problema.
- ✓ Dispersión o variación de los resultados esperados. Los estadistas han definido el riesgo como el grado de dispersión de los valores alrededor de una posición central, conocida como valor esperado o esperanza matemática. Una medida de este riesgo es lo que en estadística se conoce como desviación estándar y que permite decir si existe un menor o mayor riesgo en una situación específica.
- ✓ Posibilidad de que ocurra un hecho fortuito que genere una pérdida. El término "posibilidad" significa que la probabilidad del evento se encuentra evaluada entre 0 y 1 (o su equivalente entre el 0% y el 100%), y que la verdadera noción del riesgo implica que el resultado es cuestionable; mientras que la idea de fortuito es inherente a la definición de riesgo, es decir, que cuando existe el riesgo debe haber por lo menos dos posibles y diferentes resultados. Esta significación está muy cercana a la acepción común usada en el lenguaje diario.
- ✓ Probabilidad de que ocurra un hecho diferente del esperado, independientemente de que tal hecho genere una pérdida o una ganancia. Una variante del concepto de riesgo como dispersión sostiene que éste es una probabilidad objetiva de que el resultado actual de un evento difiera significativamente del resultado esperado. Por

<sup>33</sup> BARROSO Mejía, María de la Paz y RODRIGUEZ Gómez del Campo, María, Cálculo actuarial del riesgo, México: Mendoza, 1987, pp. 8-12.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

probabilidad objetiva se entiende una frecuencia relativa basada en el mejor conocimiento científico de que se disponga. El punto clave de esta definición reside en que el riesgo no es la probabilidad de una sola pérdida u ocurrencia, sino la de algunos resultados diferentes de lo esperado.

Si todas estas acepciones significaran más o menos lo mismo no habría ningún problema, pero no es así. Por lo que es conveniente elaborar una nueva definición más acorde con nuestro estudio, pero que tenga como base las definiciones ya citadas.

Partiendo de todo esto, podemos subrayar las siguientes características del riesgo:

- ✓ Es real (debe de existir y no debe de ser subjetivo).
- ✓ Es casual.
- ✓ Es contrario a lo esperado.
- ✓ Es inevitable.
- ✓ Representa una posible pérdida cuantificable (implicando con ello un costo financiero).
- ✓ Se realiza en una época incierta.
- ✓ Es mensurable (medible).
- ✓ Es tasable (representable en forma de probabilidad).
- ✓ Implica una exposición pareja, aunque no del mismo grado (es decir, mismo riesgo, pero grado de exposición distinto).
- ✓ Es contingente (que puede o no suceder, es accidental).
- ✓ Es fortuito (que no se espera, que no se busca o no se desea, que puede o no suceder).
- ✓ Es sistemáticamente repetitivo (aunque no es deseable que sea ni muy raro, ni muy frecuente).

Por lo que podríamos concluir, a manera de definición personal lo siguiente: el riesgo es un suceso real, casual, contrario a lo esperado e inevitable, que representa una posible pérdida en una época incierta.

El riesgo debe ser mensurable y tasable para fijarle un costo financiero. Debe de haber una exposición pareja al riesgo, aunque no del mismo grado y finalmente, el riesgo debe ser contingente, fortuito y sistemáticamente repetitivo, aunque no es deseable que sea ni muy raro, ni muy frecuente.

### CLASIFICACION DEL RIESGO.

El riesgo puede ser clasificado de muchas maneras, dependiendo de la característica de éste que sea tomada en cuenta. A continuación se presentan las clasificaciones más usadas en diversos ámbitos.

1.- Riesgos sobre bienes materiales y sobre personas<sup>34</sup>.

Los primeros son aquellos que afectan directamente a los objetos como

---

<sup>34</sup> Apuntes personales de la materia de Seguro de Daños.



## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

pueden ser: el incendio de una casa, el robo de una joya, la pérdida de bultos caídos al mar, etc. Los segundos son aquellos que atañen directamente a las personas, por ejemplo: una enfermedad, un accidente o la muerte.

### 2.- Riesgos físicos y morales<sup>35</sup>.

El riesgo físico es todo aquel que puede causar un daño al bien asegurado, ya se derive de situación, estructura, ocupación, explosión, etc.

El riesgo moral son aquellos peligros que se derivan de disposiciones o actitudes mentales; en este grupo se incluyen aquellos peligros causados por falta de honradez, locura, descuido, indiferencia y otras causas de origen psicológico.

### 3.- Riesgos estacionarios y variables<sup>35</sup>.

Los riesgos estacionarios son aquellos en los que la probabilidad de ocurrencia del siniestro no varía a través del tiempo, por ejemplo: la rotura de un cristal; mientras que los riesgos variables son aquellos en los que la probabilidad de ocurrencia cambia con el transcurso del tiempo, por ejemplo: la descompostura de una maquina.

### 4.- Riesgos homógrados y heterógrados<sup>36</sup>.

En el caso de los riesgos homógrados el efecto que producen siempre se da con el mismo grado o intensidad. Si se trata de un riesgo heterógrado el efecto que produce su ocurrencia varía en grado o intensidad, según el caso. Un ejemplo de riesgo homógrado es la muerte, mientras que un accidente es un riesgo heterógrado.

### 5.- Riesgos dinámicos y estáticos<sup>37</sup>.

Los riesgos dinámicos son aquellos resultantes de los cambios en la economía, como los cambios en el nivel de precios, en las preferencias del consumidor, etc. Los riesgos estáticos envuelven aquellas pérdidas que ocurren aún cuando no haya cambios en la economía, como podrían ser las derivadas de deshonestidad de los individuos.

### 6.- Riesgos fundamentales y particulares<sup>38</sup>.

Esta clasificación está basada en las diferencias de origen y consecuencias de las pérdidas. Los riesgos fundamentales envuelven pérdidas impersonales en su origen y consecuencias, son riesgos causados en su mayoría por la economía social, fenómenos políticos o por ocurrencias físicas que afectan generalmente al total de la población. Los riesgos particulares envuelven fenómenos físicos que pueden causar pérdidas a individuos o grupos reducidos de personas, por ejemplo: el incendio de una casa, el robo de un banco, etc.

<sup>35</sup> HERMIDA Rosales, Adolfo, Contabilidad de seguros, México: Rodríguez Hnos., 1978, p. 8.

<sup>36</sup> Apuntes personales de la materia de Seguro de Daños.

<sup>37</sup> Apuntes personales de la materia de Seguro de Daños.

<sup>38</sup> Apuntes personales de la materia de Seguro de Daños.

<sup>38</sup> BARROSO Mejía, María de la Paz y RODRIGUEZ Gómez del Campo, María, Cálculo actuarial del riesgo, México: Mendoza, 1987, p. 15.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

De esta clasificación se desprende el riesgo político, que es el riesgo de invertir en países que no son estables o que puedan no cumplir sus obligaciones con los accionistas, los propietarios de bonos o socios de Joint Ventures (Alianzas Estratégicas). Existen agencias de clasificación internacionales que clasifican a los países según su riesgo político.

### 7.- Riesgos intrínsecos y exógenos<sup>39</sup>.

Los primeros son riesgos propios de la actividad de una compañía, generalmente no son susceptibles de cobertura. Por ejemplo, el riesgo crediticio es la capacidad de solvencia alcanzada por administrar los riesgos intrínsecos.

Los riesgos exógenos son aquéllos fuera del control de la compañía, como los riesgos de variaciones indeseables en el tipo de cambio, las tasas de interés y en algunos casos, los precios. Con frecuencia es posible cubrirlos. Son ejemplos de este tipo de riesgo:

a) Riesgo cambiario: se define como el riesgo de una variación en las ganancias netas como resultado de movimientos en un cierto tipo de cambio.

b) Riesgo de tasa de interés: se define como el riesgo de una variación en los valores esperados como resultado de movimientos en la tasa de interés.

Se menciona que el riesgo es indeseable porque cuando éste se introduce, la utilidad marginal o el propio capital de una empresa corren el riesgo de reducirse; ya que el efecto del temor en los seres humanos es perjudicial y porque el movimiento libre de capital entre industrias, firmas y productos se encuentra interferido.

### 8.- Riesgos puros y especulativos<sup>40</sup>.

El término riesgo puro, es usado para designar aquellas situaciones en las que únicamente se presenta o no una pérdida total. El riesgo especulativo en contraste, describe la situación en la que hay posibilidad de pérdida, pero también la posibilidad de ganancia. Ejemplo de riesgo puro es el que se corre por la ruptura de ventanales en un edificio o casa - habitación, en tanto que un riesgo especulativo podría ser la inversión en acciones de cierto capital, el cual puede dar utilidades o en caso contrario, causar pérdidas.

En el ámbito de los seguros, es importante diferenciar entre los riesgos especulativos y los puros, pues normalmente los riesgos especulativos no son asegurables, mientras que de los riesgos puros, algunos son asegurables y otros no lo son.

De entre los riesgos puros que si son asegurables, encontramos los siguientes:

a) Riesgos personales.

Dentro de éstos hay 4 formas básicas:

i. Muerte prematura.

ii. Edad avanzada dependiente.

<sup>39</sup> MANSSELL Carstens, Catherine, Las nuevas finanzas en México, México: Milenio, 1994, pp. 230-244.

<sup>40</sup> BARROSO Mejía, María de la Paz y RODRIGUEZ Gómez del Campo, María, Cálculo actuarial del riesgo, México: Mendoza, 1987, p. 16.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

iii. Enfermedad o inhabilidad.

iv. Desempleo.

b) Riesgos sobre propiedades.

Tienen dos diferentes tipos de pérdidas:

i. Pérdida directa.

ii. Pérdida indirecta o consecucional.

Por ejemplo, si una casa se quema, su propietario pierde el valor de la casa (pérdida directa) y entonces no tendrá lugar donde vivir y deberá afrontar otros gastos (pérdida indirecta o consecucional). Además, dentro de esas pérdidas se puede dar la de la propiedad misma o la del uso de la propiedad, u originar otros gastos como consecuencia de la misma.

c) Riesgos legales.

El peligro básico en los riesgos legales es la injuria no intencional o el daño causado a las propiedades de otras personas por negligencia o falta de cuidado. Los riesgos legales incluyen la posibilidad de pérdida, consecuencia del no respeto de los derechos de los demás, sean causados con o sin intención pero que atenten directamente contra la persona o sus propiedades.

d) Riesgos consecuencia del incumplimiento de otros.

Cuando una persona se compromete a realizar un trabajo o a prestar un servicio y no lo hace, representa una pérdida para quien contrató sus servicios.

9.- Riesgos financieros y no financieros<sup>41</sup>.

El riesgo en sí mismo incluye situaciones con posibles consecuencias adversas, en ocasiones esa adversidad incluye pérdidas financieras, mientras que en otras no las contempla. De aquí que se clasifiquen los riesgos tomando en cuenta las consecuencias de pérdida financiera después que ha ocurrido un suceso.

10.- Riesgos sistemáticos (de mercado) y no sistemáticos (asistemáticos o específicos); también conocidos como riesgos no diversificables y diversificables respectivamente<sup>42</sup>.

Estos tipos de riesgo son aplicables a toda inversión (acciones, bonos, activos fijos, etc.). De hecho, la suma de estos dos riesgos es igual al riesgo total de la inversión.

El riesgo sistemático tiene una fuente común que afecta a todas los instrumentos de inversión de la misma manera, por ejemplo las condiciones económicas cambiantes. Este tipo de riesgo no se elimina con la diversificación ya que todos los instrumentos de inversión se ven afectados por los factores de la misma manera. El riesgo no diversificable (sistemático) es uno de los riesgos de mercado que los inversores con una cartera de acciones no pueden diversificar.

El riesgo no sistemático (asistemático o específico) se atribuye a eventos especiales que afectan a un instrumento considerado individualmente. El riesgo no

<sup>41</sup> BARROSO Mejía, María de la Paz y RODRIGUEZ Gómez del Campo, María, Cálculo actuarial del riesgo, México: Mendoza, 1987, p. 15.

<sup>42</sup> KOCH, Richard, Diccionario de management y finanzas, Términos, técnicas e instrumentos, desde la A a la Z, Barcelona: Financial Times, 1995, Tomos I y II, pp. 526-528.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

sistemático (diversificable) si se puede eliminar con la diversificación, ya que el efecto de estos eventos sobre un instrumento de inversión no deberá tener relación con los otros instrumentos de inversión.

### 11.- Riesgos específicos de la compañía y del mercado<sup>43</sup>.

El riesgo específico de la compañía es causado por factores tales como pleitos legales, huelgas, programas de comercialización exitosos y no exitosos, obtención y pérdida de contratos de importancia mayor y otros eventos que son de naturaleza única para una empresa en particular. Puesto que estos eventos son esencialmente aleatorios, sus efectos sobre una cartera pueden ser eliminados mediante diversificación.

El riesgo de mercado es aquella parte del riesgo de un valor que no puede ser eliminada mediante diversificación. Es también llamado riesgo no diversificable; es un riesgo derivado de la tenencia de acciones, independiente de la evolución del precio de las acciones de una empresa o empresas determinadas, y muy relacionado con el mercado de valores global. Este riesgo se origina a partir de factores que afectan en forma sistemática a la mayoría de las empresas, tales como guerras, inflación, recesiones y tasas de interés altas. Puesto que la mayoría de las acciones tenderán a verse negativamente afectadas por estos factores, no es posible eliminar el riesgo sistemático por medio de la diversificación.

También a partir de este manejo se desprende el Riesgo Relevante, es la contribución al riesgo de la cartera por parte de un instrumento en particular; es el riesgo de un valor que no puede ser diversificado, es decir, su riesgo de mercado. Este refleja la contribución de un valor al riesgo de una cartera.

### 12.- Riesgos anómalos, clasificados en riesgos ordinarios no susceptibles de normal mutualización y riesgos extraordinarios de portada catastrófica<sup>44</sup>.

Los riesgos ordinarios no susceptibles de normal mutualización son aquellos que, aunque se refieran a eventos que forman objeto de las formas ordinarias de seguro, presentan características peculiares que no permiten su asimilación al cuadro de una masa homogénea de coberturas. Se trata de riesgos cuyas dimensiones no son usuales; riesgos cuya cobertura da lugar a la formación de acumulaciones peligrosas; riesgos para los cuales no hay precisas bases de estimación.

Los riesgos extraordinarios de portada catastrófica son aquellos que se distinguen por la naturaleza excepcional del evento y por las consecuencias dañinas que pueden originar. Se comprenden en dicha categoría los riesgos debidos a eventos de la naturaleza y de la meteorología; además, aquellos que reflejan acontecimientos colectivos debidos a la acción del hombre (guerras, revoluciones, etc.).

<sup>43</sup> WESTON, J. Fred y BRIGHAM, Eugene F., Fundamentos de administración financiera, México: Mc. Graw Hill, 1994, pp. 209-212.

<sup>44</sup> Apuntes personales de la materia de Seguro de Daños.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

### 13.- Riesgos que amenazan al hombre<sup>45</sup>.

Los riesgos que amenazan al hombre en su persona y en sus bienes, así como en sus relaciones con los demás, son de tres clases:

- a) Dependen de fuerza mayor.
- b) Dependen del acto de un tercero.
- c) Dependen de la propia actuación personal.

Los riesgos que dependen de fuerza mayor, son acontecimientos que tienen su origen en los elementos de la naturaleza o en la vida social y son susceptibles de producirse en cualquier momento, por ejemplo: el fuego, una enfermedad, un terremoto, etc., en que generalmente nadie es responsable de los daños causados por esos acontecimientos. Tales riesgos pueden cubrirse de distintos modos, aunque solamente la previsión es la única que permite al hombre, compensar los riesgos, siendo benéfico establecer una garantía para la propia persona amenazada, lo cual implica un sacrificio en los ingresos del presente, para atender a esas necesidades futuras.

De manera similar sucede con los otros riesgos que dependen del acto de un tercero (un robo), así como los que dependen de la propia actuación personal (un conductor de automóvil que ocasione un accidente).

### 14.- Riesgos ambientales y de las empresas<sup>46</sup>.

El riesgo ambiental es aquel que afecta a los resultados de una empresa debido a los cambios imprevistos en el ambiente económico en el que se desenvuelve la misma y que escapa totalmente a su control. Así una empresa no sólo depende de lo eficientes que sean sus directivos para controlar el riesgo propio del negocio de la compañía, sino que también dependerá de lo bien que controlen el riesgo ambiental.

Por otro lado, los riesgos a los que está expuesta una empresa los podemos destacar como sigue:

- a) Movimientos en los precios de las materias primas.
- b) Variaciones en los tipos de cambio de las divisas en las que se denominan dichas materias primas.
- c) Oscilaciones en el precio de la energía, que se necesita para procesar las materias primas.
- d) Cambios en el tipo de cambio de su propia moneda (si aumenta, reducirá su competitividad en el exterior, ocurriendo lo contrario si desciende).
- e) Cambios en las tasas de interés de su país, que afectarán al costo de su endeudamiento y, posiblemente, a sus ingresos por ventas.
- f) Alteraciones en los tipos de interés de otros países, que afectarán a sus competidores y, por lo tanto, al comportamiento de las ventas de la empresa.

Cada una de estas influencias puede ser resumida a través de una representación gráfica denominada perfil del riesgo, que identifica y mide el riesgo financiero. La inclinación de la recta que mide el perfil del riesgo indica la

<sup>45</sup> HERMIDA Rosales, Adolfo, Contabilidad de seguros, México: Rodríguez Hnos., 1978, pp. 1-2.

<sup>46</sup> DIEZ de Castro, Luis y MASCAREÑAS, Juan, Ingeniería financiera, la gestión en los mercados financieros internacionales, Madrid: Mc. Graw Hill, 1994, pp. 422-424.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

sensibilidad del comportamiento de la empresa (nivel de resultados) a las variaciones en precios, tipos de cambio o tasas de interés (ver Figura 1).

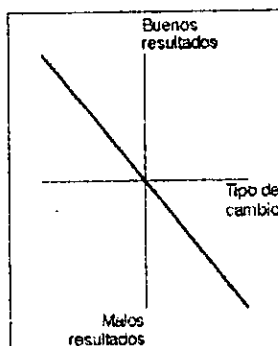


Figura 1: Perfil del riesgo para el tipo de cambio.

Ante estos nuevos y mayores riesgos, las empresas tratan en primer lugar de examinar su propia estructura y las características de sus competidores intentando identificar aquellos riesgos que más pueden afectarles. A continuación, cabe una doble actitud:

- a) tratar de preverlos e intentar evitarlos, o
- b) ante la ineficacia constatada de las previsiones, tratar de protegerse, es decir, cambiar y reforzar el perfil de riesgo, con lo que ya no se trata de evitar el riesgo, lo que es imposible, sino de "gestionarlo".

Las empresas identifican sus riesgos, luego dibujan los perfiles de los mismos con relación a cada factor que les puede afectar en su comportamiento y, por último, se centran en aquellos que más les afectan.

Esta actitud, que es la que conduce directamente a la Ingeniería Financiera, se puede materializar de dos formas:

- a) cambiando el tipo de operaciones que realiza la empresa como, por ejemplo, fusionándose con otra que tenga un perfil de riesgo distinto, o
- b) añadiendo a la cartera alguna operación financiera que cubran los posibles riesgos, como el uso de productos financieros de los denominados "fuera de balance", que permiten a la empresa dejar sus operaciones intactas mientras la protegen de las fluctuaciones en su ambiente.

Debido a que el costo de la primera es bastante más grande que el de la segunda, las empresas tienden cada vez más a utilizar esta última.

Lo que la empresa desea es gestionar su riesgo ambiental y continuar con el negocio que mejor conoce: el suyo propio. Precisamente, la posibilidad de separar el riesgo de las fluctuaciones en los precios de las operaciones físicas subyacentes de una empresa y gestionarlos separadamente, a través del uso de productos derivados, es la mayor de las innovaciones financieras de la década de los ochenta. Pero es que, a su vez, a medida que se van creando productos con esta finalidad se aprecia su aplicación, no sólo en la cobertura de riesgos, sino también para cubrir otras necesidades de la empresa.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

### 15.- Riesgos correspondientes a un país<sup>47</sup>.

La clasificación del riesgo correspondiente a un país, es un elemento de suma importancia en la determinación del límite de financiamiento que el banco que hace la evaluación, está dispuesto a otorgar a un país en cuestión:

a) **Riesgo Corporativo.** Un banco domiciliado en el país "A" otorga un empréstito a una corporación privada domiciliada en el país "B", en una moneda que es distinta a la del país de residencia de la corporación. Para evaluar el riesgo de dicho crédito se deben tomar en cuenta las consideraciones de tipo estrictamente comercial, análisis de crédito. Es lo que también se llama riesgo comercial y su determinación está en función de los análisis de los estados financieros de la empresa, situación de la misma dentro de la industria a la que pertenece, perspectivas a mediano y largo plazo de dicha industria y en general todos aquellos indicadores que den solidez y buen estado a la empresa.

b) **Riesgo Gubernamental.** En condiciones de relativa similitud, los bancos transnacionales le han atribuido a las entidades gubernamentales una mayor solvencia que a las empresas nacionales de carácter privado. Existe la opinión generalizada de que un país aún cuando esté en bancarrota, no entra en un proceso legal de liquidación como lo haría una empresa privada.

c) **Riesgo Soberano.** Se refiere a todos los problemas vinculados con la posibilidad de entablar juicio, dictar sentencia y ejecutarla contra una soberanía cuando ésta incurra en incumplimiento con sus acreedores externos.

d) **Riesgo País.** Es la evaluación del riesgo de un país con sus 2 componentes fundamentales: el riesgo político y el riesgo económico, que a su vez requieren de un análisis cualitativo y cuantitativo. Ambos tratan de dar respuesta a la pregunta básica que se hacen los bancos al otorgar empréstitos a un gobierno: ¿querrá y podrá pagar el gobierno?

i. **Riesgo Político.** Contempla la posibilidad de un rechazo a las deudas contratadas, esto es, la negativa de pagar las deudas contratadas con el exterior por el motivo que sea. Otro aspecto importante es la confianza que los bancos acreedores tengan en las acciones tomadas por las autoridades del país deudor para asegurar la continuidad en el servicio de la deuda. Los elementos de evaluación son:

- Grado de oposición al régimen existente.
- Mecanismos institucionales para la transmisión del poder.
- Indicadores varios de estabilidad y consenso social.

ii. **Riesgo Económico.** Es el resultado de un análisis que trata de dar respuesta a la pregunta de si el país tendrá en el futuro divisas disponibles en cantidad suficiente para cumplir los compromisos contraídos con los acreedores internacionales, ya que la disponibilidad de divisas es el punto central en este tipo de análisis; el aspecto más importante del mismo gira alrededor de la balanza de pagos del país en cuestión.

---

<sup>47</sup> Apuntes personales de la materia de Economía.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

### 16.- Riesgos en la estructura de capital<sup>48</sup>.

a) Riesgo de negocio de la empresa: es el que aparecería en forma inherente a las operaciones de la empresa si no usara deudas (apalancamiento financiero). Entre más grande sea el riesgo de negocio de la empresa, más baja será su razón óptima de endeudamiento.

b) Riesgo comercial: es el que se asocia con las proyecciones de los rendimientos futuros de una empresa sobre los activos, o de los rendimientos sobre el capital contable si la empresa no usa deudas, y es el determinante individual más importante de la estructura de capital.

c) Riesgo financiero: es el riesgo adicional que asumen los accionistas comunes como resultado de las decisiones de la empresa de usar deudas (apalancamiento financiero).

### 17.- Riesgos según su aceptación por los seguros<sup>49</sup>.

También los riesgos se pueden clasificar según su aceptación por parte de la actividad aseguradora, como se establece en la Tabla 1.

### 18.- Riesgos de un proyecto<sup>50</sup>.

a) Riesgo individual: es el que tendría un activo si fuera el único que poseyera una empresa; se mide a través de la variabilidad de los rendimientos esperados de dicho activo.

b) Riesgo corporativo (interno de la empresa): es aquel riesgo que no considera los efectos de la diversificación de los accionistas; se mide a través de los efectos de un proyecto sobre la variabilidad en las utilidades de la empresa.

c) Riesgo de beta (de mercado): es aquella parte del riesgo de un proyecto que no puede ser eliminada por la diversificación; se mide a través del coeficiente beta de un proyecto.

### 19.- Riesgo de insolvencia<sup>51</sup>.

Se refiere a aquel en el que el prestatario o emisor no pague los intereses o el principal a que se había obligado en el contrato de emisión de títulos. A mayor riesgo se exigirá mayor interés.

Ese riesgo es evaluado por empresas de calificación independientes, las cuales puntúan la capacidad y probabilidad de pagar los intereses y el principal de la deuda de las compañías calificadas a través de una notación. Para calificarlas se estudia: el equipo directivo (historial, situación actual), posición en el mercado (tamaño de la empresa, cuota de la empresa, antigüedad), posición financiera (liquidez), plan de actividades: (políticas del grupo de gestión).

El diferencial de rendimiento es la diferencia entre el rendimiento de dos

<sup>48</sup> WESTON, J. Fred y BRIGHAM, Eugene F., Fundamentos de administración financiera, México: Mc. Graw Hill, 1994, pp. 797-802.

<sup>49</sup> Apuntes personales de la materia de Legislación de Seguros.

<sup>50</sup> WESTON, J. Fred y BRIGHAM, Eugene F., Fundamentos de administración financiera, México: Mc. Graw Hill, 1994, pp. 702-703.

<sup>51</sup> DIEZ de Castro, Luis y MASCAREÑAS, Juan, Ingeniería financiera, la gestión en los mercados financieros internacionales, Madrid: Mc. Graw Hill, 1994, pp. 85-88.



## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

instrumentos semejantes pero con distinta calificación y es un concepto importante puesto que el diferencial entre dos categorías de riesgo nos proporciona una medida de la prima de insolvencia, que es el diferencial de rendimiento entre un bono con una calificación determinada y uno sin riesgo.

### Riesgos según su aceptación por los seguros

C l a s i f i c a c i ó n	d e  r i e s g o	Pérdida del poder ganancial	Personal	Fallecimiento Herida accidental Enfermedad Vejez Maternidad
		Comercial	Interrupción de negocios Pérdida de utilidades Arrendamiento	
		Destrucción o daños	Incendio Daños de guerra Averías por agua derramada Motín o insurrección Daño físico por automóviles	
		Improbidad	Robo, asalto, hurto Fraude Infidelidad	
	Pérdida de bienes	Fallas ajenas	Malas deudas Contratos	
	Responsabilidad civil	Para los empleados Para el público		
	Gastos futuros	Gastos de enfermedad Gastos de escombros y derribo Gastos de sustitución Gastos de mantenimiento Arrendamiento adicional		

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

### 20.- Riesgo de cambio<sup>52</sup>.

Supone que la variación de una divisa determinada producirá una alteración en el valor de un activo, deuda, beneficio o una corriente de flujos de caja esperados en términos de la moneda nacional.

Las categorías de la exposición al riesgo de cambio son:

a) Exposición de transacción. Son las obligaciones de cobro o pago en moneda extranjera.

b) Exposición contable. Son la consolidación de los activos y pasivos denominados en moneda extranjera, en el proceso de preparar unos estados contables consolidados. Se pueden presentar pérdidas o ganancias en ciertas partidas como resultado de las variaciones de los tipos de cambio.

c) Exposición económica. Es cuando el valor actual de la corriente de flujos de caja esperados, ya sea en moneda nacional o extranjera, pueda variar al alterarse los tipos de cambio.

### 21.- Riesgos de los valores negociables o comercializables<sup>53</sup>.

a) Riesgo de incumplimiento (o riesgo de insolvencia): es el riesgo de que un prestatario deje de cumplir con los pagos de intereses, o de reembolsar el monto del principal de un préstamo. Es la posibilidad de incumplimiento del compromiso adquirido por el prestatario en una operación de endeudamiento, que conlleva a una elevación en la rentabilidad exigida por el prestamista, con la que se intenta cubrir el riesgo de incumplimiento.

b) Riesgo de eventos imprevistos: es el riesgo de que ocurra un evento que repentinamente aumente el riesgo de incumplimiento de pago de una empresa.

c) Riesgo del precio de la tasa de interés: es aquel riesgo de que haya disminuciones en los precios de los bonos y al cual se encuentran expuestos los inversionistas debido a la presencia de tasas de interés crecientes.

d) Riesgo de la tasa de reinversión de la tasa de interés: es aquel en el que el ingreso proveniente de una cartera de bonos disminuye debido al hecho de tener que reinvertir los flujos de efectivo a una tasa más baja.

d) Riesgo de inflación: es el riesgo de que la inflación reduzca el poder de compra de una suma determinada de dinero.

e) Riesgo de comerciabilidad: es el riesgo de que los valores no se puedan vender fácilmente a un valor cercano al precio cotizado en el mercado.

f) Riesgo de variabilidad: es el riesgo de que el tipo de interés varíe por tratarse de instrumentos cuyo rendimiento se conoce de antemano, comparados con instrumentos cuyo rendimiento es aleatorio, por ejemplo: las obligaciones y las acciones. Así, a igualdad de rendimiento esperado, las decisiones se dirigen hacia aquellas operaciones en que la variabilidad (riesgo) sea menor.

g) Riesgo de tipo de cambio: es el riesgo de que una divisa determinada varíe produciendo una alteración de su valoración en términos de la moneda nacional.

<sup>52</sup> DIEZ de Castro, Luis y MASCAREÑAS, Juan, Ingeniería financiera, la gestión en los mercados financieros internacionales, Madrid: Mc. Graw Hill, 1994, pp. 40-42.

<sup>53</sup> WESTON, J. Fred y BRIGHAM, Eugene F., Fundamentos de administración financiera, México: Mc. Graw Hill, 1994, pp. 503-505.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

### 22.- Riesgos en las acciones<sup>54</sup>.

Las acciones son valoradas por 2 características esenciales: su rentabilidad y su riesgo. Además, si estamos hablando de acciones internacionales, existe un tercer factor a considerar: el tipo de cambio; ya que lo normal es que este tipo de acciones este expresada para su venta en una moneda distinta a la que el comprador las está valorando.

Desde el momento en que no podemos conocer con certeza los valores futuros que necesitamos para determinar nuestro rendimiento, estamos expuestos a un riesgo, al riesgo de que los valores estimados sean distintos de los previstos, como por ejemplo la variabilidad del tipo de cambio (conocido como riesgo de cambio), y que hará que el valor final del nuestra operación no coincida con el valor esperado.

Por lo tanto, las acciones internacionales poseen un mayor riesgo en comparación con las nacionales.

Para cubrir el riesgo de cambio se puede utilizar un contrato a plazo o un contrato de futuros, aunque esto puede reducir el nivel de los rendimientos esperados.

Otra forma de protección contra el riesgo consiste en la diversificación de la cartera de acciones de diferentes países. De hecho el problema consiste en conformar la cartera idónea de instrumentos con los mejores rendimientos a un nivel razonablemente bajo de riesgo. A este proceso se le conoce como la Teoría de Selección de Carteras, desarrollada por Harry Markowitz en los años 50's.

Esta teoría hace uso de la Programación Paramétrica (Programación Lineal) para maximizar el rendimiento y minimizar el riesgo de un conjunto de carteras, identificando a esto como lo que él llamó la frontera eficiente.

También toma en cuenta las curvas de indiferencia en particular para 3 tipos distintos de inversionistas en relación al riesgo: el adverso (a mayor riesgo debe recibir mayor rendimiento), el indiferente (por cada unidad de riesgo, se conforma con el mismo rendimiento marginal) y el propenso (por un mínimo rendimiento marginal está dispuesto a correr cada vez mayores riesgos). De la combinación de todos estos elementos surge la cartera más eficiente.

Si bien con las acciones siempre existe un nivel de riesgo, existen instrumentos financieros con riesgos muy bajos o prácticamente nulos, como los Bonos del Tesoro Estadounidense, que son activos financieros libres de riesgo.

Esto modifica la selección de la cartera más eficiente y da como resultado que pueda haber unas carteras mejores que otras; por ejemplo, hay carteras formadas con títulos de cierto riesgo que al combinarse con activos sin riesgo proporcionan la mejor combinación posible.

De aquí surge el teorema de la separación de James Tobin, que dice que para elegir la cartera óptima se puede determinar la mejor cartera formada exclusivamente por títulos de riesgo (cartera de mercado) y elegir la combinación óptima entre títulos sin riesgo, aunque la configuración de la cartera de mercado dependerá de la preferencia personal de cada inversionista, es decir, dependerá

---

<sup>54</sup> DIEZ de Castro, Luis y MASCAREÑAS, Juan, Ingeniería financiera, la gestión en los mercados financieros internacionales, Madrid: Mc. Graw Hill, 1994, pp. 92-93.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

de si es un inversionista adverso, indiferente o propenso.

Se aclara que el riesgo de una cartera se mide por la desviación típica de su rentabilidad y cuando ésta se encuentra en equilibrio, se da la relación entre la rentabilidad esperada y el riesgo de las carteras al nivel de eficiencia. Pero todo esto no pasa con carteras ineficientes ni con los títulos aislados.

Sin embargo, el modelo de valoración de activos financieros (CAPM) nos dice que en el equilibrio todos los títulos y carteras, sean eficientes o no, se situarán en la recta del mercado de títulos (SML), de tal manera que cuando se añade un nuevo título a la cartera, el único riesgo por el que será premiado será la covarianza del rendimiento del título con el del mercado y no su riesgo total medido por la varianza o por la desviación típica.

De este modelo se obtiene el coeficiente de volatilidad  $B_i$  que indica la volatilidad de la rentabilidad del título en relación a las variaciones de la rentabilidad del mercado. Si  $B_i > 1$  los títulos tendrán un riesgo superior al de la cartera de mercado y se denominan agresivos, si  $B_i < 1$  tendrán un riesgo menor que la cartera de mercado y se les denomina defensivos.

Existe un modelo de mercado desarrollado por Sharpe que relaciona el rendimiento de mercado (variable independiente) con el rendimiento del título o cartera (variable dependiente) y utiliza el análisis de regresión lineal simple para que, una vez construido el modelo, se puedan realizar proyecciones y ajustes estadísticos.

De este modelo se identifican el riesgo sistemático que indica el riesgo del título de la cartera que depende única y exclusivamente del mercado o factores macroeconómicos, y el riesgo específico que depende sólo de la propia empresa y no del mercado, y que tiene la propiedad de ser diversificable y prácticamente, anulable con una buena diversificación de instrumentos. Es más, se establece que una cartera eficiente tiene un riesgo específico igual a cero, ya que el mercado sólo paga el riesgo sistemático de la inversión.

Además, se cuenta con la teoría de la valoración por arbitraje (APT). Esta teoría es un modelo de equilibrio de cómo determinar los precios de los activos financieros y establece que en un mercado financiero competitivo el arbitraje asegurará que activos sin riesgo proporcionen el mismo rendimiento esperado, si bien son muchos los factores que le afectan, se debe saber manejar los modelos de regresión multivariantes.

### 23.- Riesgos en los futuros financieros<sup>55</sup>.

En el caso de los futuros financieros sólo se genera el riesgo residual. Las imperfecciones de la cobertura dan lugar al riesgo residual, que es el riesgo que corre una posición en el activo financiero que ha sido protegida imperfectamente, cuando la base converge hacia cero conforme el contrato de futuros se aproxime a su fecha de vencimiento, lo que implica que, o bien el precio del futuro se mueva más rápidamente que el del activo financiero o, por el contrario, que es éste el que lo hace con mayor velocidad que el otro. Dicho riesgo residual se subdivide en la

<sup>55</sup> DIEZ de Castro, Luis y MASCAREÑAS, Juan, Ingeniería financiera, la gestión en los mercados financieros internacionales, Madrid: Mc. Graw Hill, 1994, pp. 283-285.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

siguiente serie de riesgos:

a) **Riesgo de la base:** es cualquier cambio inesperado en la relación de los precios del activo financiero y del futuro o en el costo de mantenimiento que afecta al valor de la base (diferencia entre el precio del futuro y el precio de contado del activo financiero) haciéndolo variar.

b) **Riesgo de correlación:** surge del hecho de que el instrumento de cobertura no tiene la misma sensibilidad respecto a las variaciones del tipo de interés del mercado, que el activo financiero a proteger.

c) **Riesgo de liquidez:** surge cuando en la fecha de vencimiento del contrato de futuros es imposible encontrar en el mercado financiero de contado un activo financiero entregable al comprador del futuro.

d) **Riesgo de insolvencia:** surge cuando la contraparte incumple su obligación financiera, aunque esta muy limitado debido a la existencia de un depósito de garantía exigido por la Cámara de Compensación, así como el proceso diario de ajuste al mercado por el cual a ambas partes se les liquida cada día sus pérdidas o beneficios.

e) **Riesgo de redondeo:** proviene del hecho que el número teórico de contratos a comprar no será normalmente un número entero.

### 24.- Riesgos en las operaciones swap<sup>56</sup>:

a) **Riesgo de crédito:** probabilidad de incumplimiento por la contraparte de los términos del acuerdo swap.

b) **Riesgo de mercado o sistemático:** se debe a la incertidumbre que acompaña a los movimientos de los tipos de interés. A mayor plazo del vencimiento swap, mayor riesgo.

c) **Riesgo de desacuerdo:** se refiere a las dificultades asociadas a que ciertos términos de planteamiento del contrato swap estén equivocados.

### EL RIESGO FINANCIERO.

Aunque existen muchas y muy variadas formas de clasificar al riesgo, dependiendo de la característica de éste que sea tomada en consideración, sin embargo de nuestro particular interés podemos mencionar el riesgo financiero. Una definición para el riesgo financiero establece que "el riesgo incluye situaciones con posibles consecuencias adversas, en ocasiones esa adversidad incluye pérdidas financieras, mientras que en otras no. De aquí, que se clasifiquen los riesgos tomando en cuenta las consecuencias de pérdida financiera después que ha ocurrido un suceso"<sup>57</sup>.

Otra, forma de definir al riesgo financiero es la siguiente: "es el riesgo adicional que asumen los accionistas comunes como resultado de las decisiones de la empresa de usar deudas (apalancamiento financiero)"<sup>58</sup>.

<sup>56</sup> DIEZ de Castro, Luis y MASCAREÑAS, Juan, Ingeniería financiera, la gestión en los mercados financieros internacionales, Madrid: Mc. Graw Hill, 1994, p. 302.

<sup>57</sup> BARROSO Mejía, María de la Paz y RODRIGUEZ Gómez del Campo, María, Cálculo actuarial del riesgo, México: Mendoza, 1987, p. 15.

<sup>58</sup> WESTON J. Fred y BRIGHAN Eugene F., Fundamentos de administración financiera, México: Mc. Graw Hill, 1994, p. 799.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

A partir de esta ultima definición se establece que el apalancamiento financiero se refiere al uso de valores de renta fija -deudas y acciones preferentes- mientras que el riesgo financiero consiste en el riesgo adicional que recae sobre los accionistas comunes como resultado del uso (precisamente) del apalancamiento financiero. Al usar deudas y acciones preferentes (apalancamiento financiero), la empresa concentra su riesgo comercial (nivel de riesgo de las operaciones de una empresa cuando no usa deudas) sobre los accionistas comunes.

### EL FACTOR RIESGO EN LOS RESULTADOS DE UNA EMPRESA.

Todos los campos de la actividad económica implican, en mayor o menor grado, la toma de riesgos. Ningún negocio tiene asegurado operar con utilidades todo el tiempo. Así pues, el riesgo es un elemento que siempre está presente en una empresa. Ninguna empresa tiene garantizado generar utilidades bajo cualquier circunstancia.

Aunque no se pueda negar la presencia del riesgo en cualquier empresa, sí es importante reconocer que hay diferentes tipos y niveles de riesgo, como los vistos anteriormente.

### INCERTIDUMBRE.

Generalmente es aceptado el hecho de que riesgo e incertidumbre están relacionados y de hecho es así, pero el último es un término un tanto ambiguo. Por ejemplo, Alan H. Willett en su obra de la Teoría Económica del Riesgo y el Seguro, llega a la conclusión de que las incertidumbres son ilusiones basadas en las imperfecciones del conocimiento humano; en esa misma obra habla de que el riesgo es entendido como el acto de tener una oportunidad o bien como el grado de incertidumbre acerca de la ocurrencia de una pérdida. Este fragmento ilustra uno de los significados de incertidumbre pero hay otros de mayor importancia, como el de Irving Pfeffer en su Teoría Económica y Seguros, donde habla de la incertidumbre como un estado de la mente relativo a una situación específica, aunque por otro lado dice que "riesgo es una combinación de azares medidos por la probabilidad, que es un estado del mundo real y que la incertidumbre no lo es". La incertidumbre surge cuando se tiene un conocimiento imperfecto sobre todos o alguno de los datos del problema, de tal manera que no se la pueda medir usando la probabilidad.

En la Teoría de Decisiones, incertidumbre es una condición en la que el tomador de decisiones no es capaz de asignar una probabilidad objetiva a la posibilidad de ocurrencia del evento. Bajo condiciones de certeza relativa (riesgo), este profesionista puede asignar una probabilidad entre cero y uno.

Sin embargo, esta definición no ha encontrado aceptación entre los teóricos en seguros ya que ellos piensan que al definir el riesgo como incertidumbre pueden medirlo con alguna(s) herramienta(s) de la estadística para conocer la dispersión de los resultados; así pues, están en la posibilidad de efectuar análisis cuantitativos no sólo del riesgo, sino también de la incertidumbre.

### ELECCION BAJO INCERTIDUMBRE.

El mundo real, se caracteriza por la existencia de incertidumbre. Así, la incertidumbre está presente en el mercado, puesto que una empresa o un

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

consumidor pueden ser incapaces de predecir exactamente los precios a los que se debe comprar o vender. La tecnología es otra fuente de incertidumbre, ya que la empresa es incapaz de predecir con exactitud la producción que se obtendrá mediante el empleo de un conjunto de factores.

La relajación del supuesto de certidumbre puede ofrecernos nuevos enfoques y justificar la formulación de nuevos comportamientos, como pueden ser los que resultan del funcionamiento de los mercados de futuros, la actividad de los especuladores o el desarrollo de los seguros.

### LA INCERTIDUMBRE Y LAS EXPECTATIVAS.

¿Cómo afecta la presencia de incertidumbre en finanzas a la teoría del capital? En realidad casi todos los préstamos o inversiones tienen un mayor o menor grado de riesgo. El grado de riesgo varía de unas inversiones a otras, pero ninguna está totalmente libre de riesgo.

Por lo tanto, para que el público mantenga activos arriesgados, debe ofrecérsele un rendimiento adicional, es decir, una prima de riesgo.

Las elevadas tasas de rendimiento de los activos o proyectos arriesgados deben incluir primas de riesgo para que los inversores afronten esas inversiones tan arriesgadas.

### LA FORMULACION DE LA INCERTIDUMBRE.

La primera pregunta que cabe formularse es ¿cómo se manifiesta la incertidumbre? Desde una perspectiva, la incertidumbre surge cuando se tiene un conocimiento imperfecto sobre todos o alguno de los datos del problema, o sobre la consecución del objetivo último en relación con el cual se toman las decisiones.

Lo que resulta pertinente preguntarse ahora es qué tipo de conducta cabe adoptar en un contexto en el que para la mayoría de los datos relevantes no se tiene un conocimiento perfecto. Lo que resulta indudable es que el individuo está obligado a elegir y tomar decisiones, de manera que parece lógico aceptar o suponer que intentará que dichas decisiones sean la resultante de un comportamiento racional.

Un requisito para un comportamiento racional en un contexto incierto, es decir, bajo incertidumbre, es que el individuo pueda traducir dicha incertidumbre en riesgo, asignando probabilidades a los resultados posibles. En este caso diríamos que las decisiones del consumidor reflejan su comportamiento ante el riesgo. De esta manera el individuo recurre a ciertos procedimientos para convertir la incertidumbre en certeza relativa (o riesgo).

En este sentido conviene distinguir entre incertidumbre objetiva y subjetiva. La incertidumbre objetiva ligada a un determinado suceso se considera como una característica del mundo exterior que puede estudiarse y medirse sin hacer referencia a los individuos afectados. En este sentido, la probabilidad objetiva puede determinarse calculando la frecuencia relativa con que ese suceso ocurre a lo largo de una serie de experimentos.

Pero con frecuencia se adopta una visión subjetiva de la incertidumbre, que recoge las creencias del agente económico cuyo comportamiento se estudia. La probabilidad subjetiva de que salga "cruz" al lanzar una moneda al aire refleja las creencias del individuo de que se trate. Lo que debe destacarse es que en la

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

descripción del comportamiento de un individuo lo relevante es la probabilidad que éste asigna a las consecuencias de sus acciones, pues serán estas probabilidades las que utilizará en sus propios cálculos y las que le guiarán en la adopción de sus decisiones.

Desde esta perspectiva, cualquier suceso es susceptible de recibir una probabilidad subjetiva, independientemente de que pueda o no asignársele una probabilidad objetiva. El cálculo de las probabilidades subjetivas está basado en las elecciones que los individuos efectúan entre alternativas que prometen ciertos premios si tienen lugar los sucesos especificados.

Por lo tanto, se puede suponer que los agentes económicos realizan elecciones bajo incertidumbre sobre la base de las probabilidades subjetivas que asignan a los sucesos.

El sistema económico ha dado respuesta tanto a las demandas de los individuos que sienten aversión al riesgo creando los seguros, como también ha propiciado la aparición de, por ejemplo, los casinos, para atender los deseos de los amantes del riesgo. Asimismo, han aparecido los mercados de futuros que pretenden alcanzar un doble objetivo, reducir la incertidumbre entre la población y convertir la incertidumbre en certeza. Esta doble tarea se lleva a cabo en los mercados de futuros, pues en ellos se compran y venden contratos que prometen la entrega de una cierta cantidad de una mercancía en una fecha futura determinada, a un precio fijo, a pagarse en esa fecha. De esta manera, los mercados de futuros constituyen un ejemplo de como se redistribuye la incertidumbre entre la población y se convierte a la incertidumbre en certeza.

### PRINCIPIO DE INCERTIDUMBRE DE HEISENBERG.

El principio de incertidumbre de Heisenberg dice, a grandes rasgos, que los recursos de percepción con que contamos son importados. Por lo tanto, los resultados de la observación, medición y apreciación del objeto de estudio son inciertos y también las conclusiones y resultados de nuestros estudios. Además, es difícil estudiar un objeto sin alterarlo, o alterar su medio natural, lo cual exacerba lo antes dicho.

El principio de incertidumbre de Heisenberg, junto con otros conceptos básicos de la mecánica cuántica, ubicaron al concepto de "verdad" dentro de un contexto probabilístico. Al relacionar la verdad con riesgo e incertidumbre, quedó destrozada la asociación existente entre verdad y bondad. Así, el concepto de bondad permanece en el reino de lo filosófico, lo teológico y de la percepción individual. Lo verdadero pertenece al dominio del intelecto y de los sistemas cerebro - sensoriales del individuo; es posible aproximarse a la verdad universal sin alcanzarla jamás. Por lo tanto, la bondad de una decisión se medirá de acuerdo con el grado en que se alcanzan los objetivos del decisor.



### II.2. TIPOS DE INCERTIDUMBRES.

#### PRINCIPIOS MATEMATICOS DE INCERTIDUMBRE.

Muchas disciplinas matemáticas tratan con la descripción de incertidumbres, como por ejemplo: la teoría de probabilidad, la teoría de la informática y la teoría de los conjuntos difusos, entre otras. Es de lo más conveniente clasificar esas disciplinas por el tipo de incertidumbre que manejan. Fundamentalmente partimos de dos tipos de incertidumbres: las estocásticas y las léxicas.

#### INCERTIDUMBRE ESTOCASTICA.

Incetidumbre estocástica trata con la incertidumbre de la ocurrencia de un cierto evento. Considere la declaración 1:

---

Declaración 1

La probabilidad de alcanzar el objetivo es 0.8.

---

El evento en sí mismo -alcanzar el objetivo- esta bien definido. Cercano, aunque no preciso. La incertidumbre en esta declaración es si el objetivo es alcanzado o no. La incertidumbre esta cuantificada por un grado de probabilidad. En el caso de la declaración 1, la probabilidad es de 0.8. Las declaraciones como estas pueden ser procesadas y combinadas con otras declaraciones usando métodos estocásticos, tales como cálculos bayesianos de probabilidad condicional.

#### INCERTIDUMBRE LEXICA.

Un diferente tipo de incertidumbre subyace en el lenguaje humano, es la así llamada incertidumbre léxica. Este tipo de incertidumbre trata con la imprecisión que es inherente en la mayoría de las palabras que usamos para evaluar conceptos y llegar a conclusiones. Considere términos tales como "un hombre alto", "días calurosos" o "monedas estables", que no tienen exactas definiciones subyacentes. El que un hombre sea considerado "alto" depende de muchos factores. Un niño tiene un diferente concepto de un hombre "alto" del que tiene un adulto. También, el contexto y los antecedentes de una persona que hace una evaluación juegan un papel importante. Incluso para una persona individual, una definición exacta sobre si un hombre es considerado "alto" no existe. No existe ninguna ley que determine el limite sobre el cual un hombre es percibido como "alto". Esto no tendría sentido de todas maneras, desde que una ley defina que todos los hombres más altos de 188 cm. serían altos implicaría que un hombre con una altura de 185.5 cm. no es alto para nada.

La ciencia que trata con la forma en que evaluamos los conceptos y cómo se derivan en decisiones, es la psico - lingüística. Esta ha estado comprobando que usamos palabras como "categorías subjetivas" para clasificar figuras tales como

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

"altura", "temperatura" e "inflación". Al usar esas categorías subjetivas, las cosas en el mundo real son evaluadas por el grado en el cual ellas satisfacen los criterios.

Aunque la mayoría de esos conceptos no están precisamente definidos, podemos usarlos para evaluaciones bastante complejas y para tomar decisiones que están basadas en una gran variedad de factores. Al usar la abstracción y al pensar en analogías, una pocas declaraciones pueden describir complejos contextos que serían muy difíciles de modelar con precisión matemática. Por ejemplo considérese la declaración 2:

---

Declaración 2:

Probablemente tendremos un exitoso año financiero.

---

A primera vista, la declaración 2 es muy parecida a la declaración 1. Sin embargo, existen diferencias significativas. Primero, el evento en sí mismo no está claramente definido. Para algunas compañías, un exitoso año financiero significa que se libren de la bancarrota; para otras esto significa sobrepasar las ganancias del año anterior. Incluso para una sola compañía, no existe un límite fijo que defina si un año financiero es considerado exitoso o no. Por lo tanto, el concepto de un "exitoso año financiero" es una categoría subjetiva.

Otra diferencia subyace en las formas de expresar la probabilidad. Mientras en la declaración 1 la probabilidad está expresada en un sentido matemático, la declaración 2 no cuantifica una probabilidad. Si alguien expresa que un cierto tipo de avión "probablemente" tiene problemas, la probabilidad matemática puede bien ser menor del 10%, lo cual aún justifica este juicio. Si alguien expresa que el alimento en un cierto restaurante caro es "probablemente" bueno, la probabilidad matemática puede bien ser superior del 90%. Por lo tanto, la expresión de probabilidad en la declaración 2 es una probabilidad percibida más que una probabilidad matemáticamente definida tal como la de la declaración 1. En la declaración 2, la expresión de probabilidad es solo tan subjetiva como la categoría de "un hombre alto".

### MODELANDO LA INCERTIDUMBRE LINGÜÍSTICA.

Declaraciones usando categorías subjetivas, tales como la declaración 2, juegan un mayor papel en el proceso de la toma de decisiones. Aunque esas declaraciones no tienen contenido cuantitativo, podemos usarlas exitosamente para evaluaciones complejas. En muchos casos, la incertidumbre que subyace en la definición de las palabras que usamos añade una cierta flexibilidad. Por ejemplo, considere las negociaciones anuales para incrementar el salario entre uniones sindicales y representantes de las empresas. Ambos lados desean lograr el mismo objetivo: un apropiado incremento salarial. El problema empieza cuando ellos tienen que expresar en porcentaje lo que quieren decir con "apropiado".

La flexibilidad que subyace en las palabras y declaraciones que empleamos es ampliamente usada en la sociedad. En la mayoría de las sociedades occidentales, el sistema legal consiste de un cierto número de leyes, cada una de las cuales describe una diferente situación. Por ejemplo, una ley podría expresar

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

que el ladrón de un coche debería ser castigado con dos años en prisión. Otra ley podría definir una penalidad menor. En una corte, el juez podría haber decidido el número exacto de días en prisión para un ladrón que robo un carro mientras estaba bajo la influencia de alcohol en la sangre a un nivel de 0.1%, que tuviera un hijo enfermo y que hubiera sido abandonado por su esposa el día anterior. Desde el momento en que no existe una ley específica para cada caso, el juez tiene que combinar todas las leyes aplicables para determinar una decisión justa. Esto es solo posible debido a la flexibilidad en la definición de las palabras y declaraciones usadas por cada ley.

### LOGICA DIFUSA COMO LOGICA HUMANA.

La idea básica es simple: en realidad, usted no puede definir una regla para cada situación posible. Reglas exactas (o leyes) que cubran la respectiva situación perfectamente pueden solo ser definidas para unas pocas situaciones distintas. Esas reglas representan puntos discretos en el continuo de posibles situaciones y nosotros nos aproximamos a ellas. Por lo tanto, en un dado caso, combinamos las reglas que describen casos similares. Esta aproximación es posible debido a la flexibilidad en la definición de las palabras que constituyen las reglas. Igualmente, la abstracción y el pensamiento en analogías es solo interpretado como posible por la flexibilidad de la "lógica humana".

Para poder implementar esta lógica humana en la solución de sistemas, se requiere de un modelo matemático de la lógica humana. La lógica difusa ha sido desarrollada como tal modelo matemático. Esta permite la representación de decisiones humanas y la evaluación de procesos en forma algorítmica, es decir, por medio de un procedimiento de cálculo. Pero existen límites a lo que la lógica difusa puede hacer. El completo alcance del pensamiento humano, la fantasía y la creatividad no pueden ser imitados con la lógica difusa. Sin embargo, la lógica difusa puede derivar una solución para un dado caso sin las reglas que han sido definidas para casos similares. Así, si usted puede describir en reglas el contexto de la decisión deseada para ciertos casos distintos, la lógica difusa efectivamente pondera este conocimiento dentro de una solución completa.

### LOGICA DIFUSA CONTRA TEORIA DE PROBABILIDADES.

La gente que trabaja extensivamente con la teoría de probabilidades muchas veces tiene de particular que niega la utilidad de la lógica difusa en sus aplicaciones. Incluso hoy, algunos demandan que las técnicas convencionales de modelado matemático son suficientes para modelar la toma de decisiones al estilo humano. Por ejemplo, el autor Jon Konieki escribió en la revista *AI Expert* de 1991:

"... La lógica difusa esta basada en el pensamiento difuso. Esta falla en distinguir entre los temas específicamente dirigidos por los métodos tradicionales de la lógica, la toma de decisiones y la estadística..."

El fundador de la lógica difusa, Lotfi Zadeh, atribuye esta crítica a "el principio del martillo", el cual establece que si usted tiene un martillo en la mano y si esta es su única herramienta, todo empieza a parecerse a un clavo. El problema resultante de esto es que cuando usted sólo desea colgar un cuadro en la pared,

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

inclusivo un martillo y un tornillo trabajaran de algún modo. El peligro entonces es que la gente desarrolla herramientas más sofisticadas y complicadas en lugar de buscar una herramienta más elegante y efectiva como un destornillador. Max Planck, quien proclamó su teoría cuántica en el año de 1900 y que ganó el premio Nobel por su trabajo, dijo una vez:

"Una nueva verdad científica no triunfa al convencer a sus oponentes y hacerlos ver la luz, sino más bien debido a que sus oponentes eventualmente mueren y una nueva generación crece y es familiar con ella..."

Mas que continuar esta discusión aquí, se ilustrará la diferencia entre la incertidumbre estocástica y la incertidumbre lingüística usando la declaración 3:

---

### Declaración 3

Pacientes sufriendo de hepatitis mostraron en 60% de todos los casos fiebre alta, en 45% de todos los casos una piel de color amarilla y en 30% de todos los casos nausea.

---

Si usted encuentra tal declaración en un texto medico y desea implementarla en un sistema, esto parece muy fácil a primera vista. Si tiene un paciente que sufre de fiebre alta y nauseas, pero tiene su piel de color normal, no amarillenta, puede calcular la probabilidad de una infección de hepatitis usando cálculo bayesiano.

Aunque esto parece muy fácil, el problema empieza cuando se tiene que definir lo que es "fiebre alta". Si lee libros de medicina o le pregunta a los doctores, obtendrá respuestas variadas. Incluso si la mayoría de los doctores estuvieran de acuerdo en que el limite esta alrededor de los 39°C, esto no significa que un paciente con una temperatura corporal de 38.9°C no tiene fiebre alta, mientras que otro paciente con 39.1°C verdaderamente tiene una fiebre alta.

Si tan fino limite estuviera justificado, lo inverso también debería de existir. Esto es, que de una medida tan precisa de la temperatura del cuerpo, resultará en un diagnostico muy preciso. Si esto fuera verdad, usted podría medir su temperatura corporal hasta el dato más significativo y esperar a que un doctor le dijera, con solo ver esta información tan precisa, de que enfermedad sufre usted. Esto, sin embargo, no sucede en la realidad. Un doctor tendrá un diagnostico preciso no por la precisión de un parámetro singular sino mas bien por evaluar los parámetros de muchos síntomas. Por lo tanto, la precisión de cada parámetro no implica, en la mayoría de los casos, la calidad de los resultados. Sobre el diagnostico, si el doctor le pregunta a usted si suda en la noche, es muy probable que no este interesado en la cantidad precisa de gramos sino más bien en una tendencia general.

Como la declaración 3 lo ilustra, la incertidumbre estocástica y la incertidumbre lingüística son diferentes. La incertidumbre estocástica trata con la incerteza de si un evento específico tendrá lugar y la teoría de probabilidades le permite modelar esto. En contraste, la incertidumbre léxica trata con la

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

incertidumbre de la definición del evento en sí mismo. La teoría de probabilidades no puede ser usada para modelar esto debido a que la combinación de categorías subjetivas en los procesos de toma de decisiones humanas no siguen sus axiomas.

### CLASIFICACION DE LAS INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

Aunque existen varias definiciones de riesgo, una de ellas considera al riesgo como toda incertidumbre de pérdida. Definido de esta manera, el riesgo parece ser independiente de cualquier medida o probabilidad. Aunque generalmente se consideran aquellas pérdidas que sean de carácter financiero, esto nos conduce a una clasificación más general del riesgo, en la cual el riesgo se divide en dos grandes ramas: riesgos especulativos y riesgos puros.

Los riesgos especulativos son aquellos donde existe probabilidad de obtener ganancias así como probabilidad de pérdida; mientras que los riesgos puros se caracterizan por la posibilidad de que exista o no, una pérdida.

Al definir riesgo como toda incertidumbre de pérdida financiera, se facilita su conocimiento y su manejo, al permitirnos clasificar las posibles incertidumbres que sean de igual naturaleza. Dicha clasificación se presenta a continuación<sup>59</sup>:

- Incertidumbres financieras:
  - Significantes
  - Insignificantes:
    - Ciertas
    - Relativas

Deponiendo del monto de la posible pérdida, una incertidumbre financiera se clasificará como significativa o insignificante. Estas últimas, es decir, las incertidumbres financieras insignificantes, se dividen, a su vez, en ciertas y relativas, donde la posición financiera de un individuo o de un grupo social junto con el monto de la posible pérdida dan los márgenes de relatividad.

Las incertidumbres financieras están fuertemente relacionadas con el estado que la sociedad guarda. Dicho estado puede ser de carácter estático o dinámico. El estado dinámico es el sello de la actual sociedad y trae consigo incertidumbres llamadas dinámicas. Si la serie de factores que afectan a nuestra sociedad desaparecieran, se presentaría el estado estático. Este estado propiciaría incertidumbres que recibirían el nombre de estáticas.

Tanto el estado dinámico como el estático se relacionan con la clasificación general del riesgo, es decir, con los riesgos puros y especulativos. Las incertidumbres originadas en el estado dinámico tienen la fuerza que parece asegurar la permanencia de posibles ganancias o pérdidas, razón por la cual se asocian, comúnmente, riesgos especulativos e incertidumbres dinámicas. Ambos, riesgos especulativos e incertidumbres dinámicas, generalmente se caracterizan por un comportamiento errático e infrecuente. Es por ello que no existe un estado

---

<sup>59</sup> MARTINEZ Fuentes, Vicente José y DELGADILLO Ocampo, María de Lourdes, Administración de riesgos de personal, México: Tesis de Licenciatura, 1986, p. 6.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

incertidumbres que cumplen con las anteriores características reciben el nombre de incalculables.

Por otra parte, los riesgos puros se caracterizan por ocurrir con cierta regularidad, esto es, su comportamiento es observable y esto facilita la creación de estadísticas basadas en la repetición de incertidumbres semejantes en cierto tiempo. El suponer que no existirán cambios o, en otras palabras, que la sociedad mantiene un estado estático, otorga validez a dichas estadísticas, ya que de esa manera podrán ser utilizadas como instrumentos de cálculo. Por esto, es posible predecir la realización de algún evento indeseable. Bajo este esquema, a toda incertidumbre que pueda ser objeto de predicción, se le conoce como incertidumbre calculable.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

### II.3. METODOS PARA AFRONTAR INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

#### UN POCO DE FINANZAS.

Dicen que en un sentido real, las finanzas son la piedra angular del sistema empresarial. Pero, ¿qué son las finanzas? Comenzaremos por dar un panorama muy generalizado de las finanzas, empezando naturalmente por su definición<sup>60</sup>:

financiación. sustantivo femenino. Acción y efecto de financiar.

financiamiento. sustantivo femenino. Acción y efecto de financiar.

financiar. (Del francés *financer*.) verbo transitivo. Crear o fomentar una empresa aportando el dinero necesario.

financiero, ra. (Del francés *financier*, de *finances*, hacienda pública.) adjetivo. Perteneciente o relativo a la hacienda pública, a las cuestiones bancarias y bursátiles o a los grandes negocios mercantiles. 2. sustantivo masculino y femenino. Persona versada en la teoría o en la práctica de estas mismas materias.

finanza. (Del francés *finances*, de *finer*, *finar*.) sustantivo femenino. antiguo. Obligación que uno asume para responder de la obligación de otro. 2. antiguo. Rescate.

finanzas. sustantivo femenino. plural. Caudales, bienes. 2. Hacienda pública.

Pero también podemos encontrar en otro diccionario las siguientes definiciones<sup>61</sup>:

financiación o financiamiento. sustantivo femenino. Acción y efecto de financiar. Economía. Obtención de fondos para la normal ampliación y funcionamiento de una empresa o entidad.

financiar. (del francés *financer*) verbo transitivo. Crear o fomentar [una empresa] aportando el dinero necesario. Sufragar los gastos de una actividad, obra, etc.

financiero -ra. (del francés *financier* <*finances*, hacienda pública) adjetivo. Relativo a la hacienda pública, a la banca o a los grandes negocios mercantiles. sustantivo masculino y femenino. Persona versada en estas materias. sustantivo femenino. Sociedad anónima cuyo objeto es la financiación de la parte aplazada del precio de una venta normalmente en forma de efectos o letras de cambio.

finanzas. (del francés *finances*) sustantivo femenino. plural. Galicismo por hacienda, negocios, banca, asuntos económicos.

Finalmente de la otra obra podemos tomar las siguientes definiciones<sup>62</sup>:

<sup>60</sup> Real Academia Española, Diccionario de la Lengua Española, Madrid: Espasa-Calpe, 1970, Decimonovena Edición, Tomo III, p. 624.

<sup>61</sup> Diccionario Enciclopédico Vox Lexis 22, Barcelona: Círculo de Lectores, 1976, Volumen 9, p. 2377.

<sup>62</sup> Enciclopedia Salvat Diccionario, México: Salvat, 1983, Tomo 5, p.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

financiación. sustantivo femenino. Acción y efecto de financiar. Para la empresa hay dos fuentes principales de financiación: las externas y las internas. 1) Las fuentes de financiación externas son: a) la emisión de valores, ya sean acciones, que conceden una participación en la propiedad de la empresa, u obligaciones, que no son más que un empréstito a un interés fijo; y b) los créditos bancarios que pueden ser a corto plazo, concedidos por los bancos comerciales, y a largo plazo, suministrados por la banca industrial. 2) La fuente de financiación interna es la llamada autofinanciación, que consiste en la inversión de parte de los beneficios propios. La financiación estatal se realiza por medio de impuestos y otras recaudaciones públicas.

financiamiento. sustantivo masculino. Acción y efecto de financiar.

financiar. (Del francés *financer*.) verbo transitivo. Aportar el dinero necesario para una empresa. Sufragar los gastos de una actividad, obra, etc.

financiero, ra. (Del francés *financier*.) adjetivo. Perteneciente o relativo a la hacienda pública, a las cuestiones bancarias y bursátiles o a los grandes negocios mercantiles. adjetivo y sustantivo. Que financia. sustantivo masculino y femenino. Persona versada en la teoría o en la práctica de estas mismas materias.

financista. adjetivo y sustantivo. Americanismo. Financiero.

finanzas. (Del francés *finances*.) sustantivo femenino. plural. Caudales, bienes. Hacienda pública. Por extensión, disciplina relacionada con la inversión de dinero en empresas, bancos, bolsa, etc.

A partir de las anteriores definiciones, podemos decir que las finanzas representan aquella función que tiene por objeto planear y controlar el flujo de fondos de una empresa o institución, es decir, lograr que los fondos de ésta se apliquen de la mejor manera deseable para que se consiga con ellos el máximo resultado posible. De esta manera podemos decir que las finanzas se abocan al estudio de la actividad financiera en sus tres momentos o instancias: obtención, manejo y aplicación de los recursos financieros.

También podemos señalar que las finanzas constan de tres áreas interrelacionadas<sup>63</sup>:

1. Mercados de dinero y capitales. Aquí se tratan muchos tópicos que se cubren en la macroeconomía.
2. Inversiones. Se centra en las decisiones de individuos y de instituciones financieras y de otra naturaleza cuando eligen valores para sus carteras de inversiones. Las tres funciones principales del área de inversiones son las siguientes:
  1. Ventas.
  2. Análisis de valores individuales.
  3. Determinación de la mezcla óptima de valores para un

---

1410.

<sup>63</sup> WESTON, J. Fred y BRIGHMAN, Eugene F., Fundamentos de administración financiera, México: Mc. Graw Hill, 1994, pp. 5-6.



## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

inversionista dado.

3. Administración financiera. Son las finanzas en los negocios, cuya área de desempeño se relaciona con la administración real de la empresa.

### EL RIESGO FINANCIERO.

Si bien las empresas enfrentan una multitud de riesgos, que van desde los suyos propios (denominados a veces riesgos industriales para unos, o riesgos inherentes para otros), hasta los denominados riesgos financieros, que son independientes de la empresa misma; son precisamente éstos últimos los que marcan un mayor interés en el estudio de las finanzas.

Para tratar de comprender un poco mejor el riesgo financiero, es importante poder apreciar sus componentes básicos. De esta manera podemos empezar por establecer que un riesgo inherente a la empresa es aquel que se desprende de su propia labor. Por ejemplo, un desplome en el precio del petróleo es un riesgo inherente para Pemex, y este tipo de fluctuaciones afecta sus ingresos y su situación financiera.

En cuanto al riesgo financiero propiamente dicho, se puede decir que es el impacto sobre el rendimiento financiero de la empresa, producto de su apalancamiento financiero, de su posición en divisas y de su posición en valores, fundamentalmente.

De esta manera, habría que aclarar que por riesgo de apalancamiento se entiende el riesgo que es producto de las deudas financieras contraídas por la empresa y que surge por el movimiento o variación en las tasas de interés que, en caso de subir, afectarán a la empresa porque tendrá que realizar un mayor desembolso para cubrir sus obligaciones.

El riesgo cambiario aparece por la variación o fluctuación del tipo de cambio de las divisas que maneja la empresa y con el cual tiene que vivir por comprar maquinaria extranjera, por sus compañías subsidiarias ubicadas en el extranjero, por sus deudas en divisas que no son las de su país de origen, etc.

También encontramos el riesgo por posición en valores, ya que el portafolio de valores (como instrumentos de deuda, acciones, etc.) afecta también la posición financiera de la empresa. Si estos valores suben o bajan pueden beneficiar o afectar a la firma.

Además de que ligados a estos riesgos se encuentra también el riesgo por liquidez, el cual surge cuando una sociedad no puede pagar sus obligaciones y afecta al acreedor y, por otro lado, está el riesgo contraparte o riesgo crediticio, que se da fundamentalmente en las operaciones financieras entre dos intermediarios; por ejemplo, entre un banco con otro banco, o un banco con una casa de bolsa, en un día específico.

En términos generales, todos estos riesgos confirman el riesgo financiero al que está expuesta la empresa, por lo menos el aspecto del riesgo.

### ANALISIS ECONOMICO DEL RIESGO Y LA INCERTIDUMBRE: LA ECONOMIA DE LA INCERTIDUMBRE.

Pero en realidad, la vida económica no sólo está llena de riesgos, sino también de incertidumbres. La vida es arriesgada. La economía moderna ha

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

comenzado recientemente a incorporar la incertidumbre al análisis de la conducta de las empresas y de las economías domésticas.

La actividad económica es muy compleja. La primera complicación se debe a la incertidumbre de la vida económica. Las economías domésticas deben hacer frente a las diversas incertidumbres, como los salarios o el empleo futuros, o como el rendimiento de sus inversiones en educación o en activos financieros. Las empresas también deben hacer frente a la incertidumbre sobre los precios de sus productos y demás factores, las convulsiones políticas, la evolución del cambio tecnológico en su industria y el grado de rivalidad de sus competidores nacionales y extranjeros. El estudio de esta área se denomina economía de la incertidumbre.

La segunda complicación se debe a la interdependencia estratégica de los agentes económicos. El estudio de los juegos económicos en los que participan los individuos, las empresas y los países se conoce con el nombre de teoría de los juegos, donde también se manejan incertidumbres.

Un papel importante en la difusión de los riesgos en el espacio y el tiempo es el que juegan los mercados especulativos, ya que sirven para mejorar los patrones de precios y de asignación en el espacio y en el tiempo, así como para ayudar a transferir los riesgos. Estas tareas son realizadas por especuladores que, espoleados por el deseo de comprar barato y vender caro, muestran de hecho, el funcionamiento de la mano invisible, reasignando los bienes de las épocas de festín (cuando los precios son bajos) a las de hambre (cuando los precios son altos).

### LA TEORIA DE LA CONDUCTA DE LOS INDIVIDUOS EN CONDICIONES DE INCERTIDUMBRE.

Generalmente observamos que queremos evitar la incertidumbre. Cuando deseamos evitar el riesgo y la incertidumbre, somos "renuentes al riesgo". Una persona es renuente al riesgo cuando el disgusto que le causa la pérdida de una determinada cantidad de renta es mayor que el placer que le reporta la obtención de esa misma cantidad de renta. Una apuesta cuyo valor esperado es cero se denomina apuesta justa. Si rechazamos todas las apuestas justas, somos renuentes al riesgo.

Generalmente, los individuos son renuentes al riesgo, prefieren una cosa segura a unos niveles de consumo inciertos, manteniéndose todo lo demás constante. Por este motivo, todas las actividades que reducen la incertidumbre o el riesgo del consumo de los individuos, mejoran el bienestar económico.

### LA TEORIA ESENCIAL EN QUE SE BASAN LOS MERCADOS DE SEGUROS.

Como ya se mencionó, los individuos renuentes al riesgo desean evitarlo. Los mercados hacen frente a los riesgos repartiéndolos, es decir, repartiendo los riesgos que serían grandes para una persona a fin de que sean pequeños para un gran número de ellas. El principal instrumento de reparto del riesgo es el seguro, que es un tipo de juego, pero a la inversa, ya que produce, de hecho, exactamente el efecto contrario del riesgo. Mientras que la meteorología crea riesgos, el seguro ayuda a aminorarlos y repartirlos.

La compañía de seguros reparte los riesgos aunando muchos riesgos diferentes. La ventaja de la compañía de seguros se halla en que lo que es

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

impredecible en el caso de una sola persona es sumamente predecible en el caso de toda la población (Ley de los grandes números).

Normalmente suponemos que el seguro es la principal manera de evitar los riesgos, pero esta función también es desempeñada entre otros, por los mercados de capitales en las economías de mercado, ya que la propiedad financiera de capital físico puede repartirse entre muchos propietarios por medio de las sociedades anónimas.

El principio del reparto del riesgo tiene también una dimensión internacional. Los riesgos de las inversiones y de la producción en gran escala se reparten entre inversionistas de diversos países cuando éstos compran sociedades de otro país. Y de la misma manera que una compañía de seguros reduce sus riesgos asegurando viviendas de diferentes ciudades, los inversionistas reducen los riesgos de su cartera comprando acciones de sociedades de todo el mundo.

Repartiendo la propiedad del capital o de las inversiones arriesgadas individuales entre una multitud de propietarios, los mercados de capitales pueden repartir los riesgos y permitir inversiones y riesgos mucho mayores que los que serían tolerables para un solo propietario.

### SUCESOS NO ASEGURABLES.

Pero no podemos asegurar todos los riesgos de la vida, debido a las rigurosas condiciones que deben cumplirse para que sea rentable vender un seguro por parte de las compañías aseguradoras.

Pero, ¿cuáles son estas condiciones? En primer lugar, debe haber un gran número de sucesos. De tal manera que lo que es un gran riesgo para una sola persona se convierta en un pequeño riesgo para muchas. Por otra parte, los sucesos también tienen que ser relativamente independientes entre sí. Se tratará de repartir su cobertura entre riesgos diferentes e independientes. Por último, el seguro debe estar relativamente libre de riesgo moral, lo cual ocurre cuando la persona asegurada puede conseguir un beneficio económico haciendo que se produzca el hecho asegurado. Cuando se cumplen todas estas condiciones, es decir, cuando hay muchos riesgos, todos ellos son más o menos independientes y cuando se pueden calibrar debidamente las probabilidades y no están contaminadas por una ganancia individual, entonces florecen los mercados privados de seguros.

### ANALISIS DE RIESGO E INVERSIONES.

El entendimiento y la evaluación de la incertidumbre es uno de los problemas fundamentales que están presentes en toda propuesta de inversión.

La consideración del riesgo en la evaluación de una propuesta de inversión, se puede definir como el proceso de desarrollar la distribución de probabilidad de alguno de los criterios económicos o medidas de méritos ya conocidos.

El análisis de riesgo o probabilístico fue desarrollado para tomar en cuenta la incertidumbre que generalmente se tiene con respecto a las variables que determinan los flujos de efectivo neto de un proyecto de inversión. Esta incertidumbre normalmente es expresada por medio de distribuciones de probabilidad.

Las distribuciones de probabilidad de las variables aleatorias generalmente

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

se desarrollan en base a probabilidades subjetivas. Típicamente, entre más alejado del presente esté un evento, más incertidumbre habrá con respecto al resultado del evento. Por consiguiente, si la varianza es una medida de la incertidumbre, es lógico esperar que las varianzas de las distribuciones de probabilidad crezcan con el tiempo.

Entre las distribuciones de probabilidad teóricas más comúnmente utilizadas en análisis de riesgo se pueden mencionar: la distribución normal y las distribuciones triangulares.

### SIMULACION.

A la par con el gran desarrollo tecnológico de las computadoras, muchos investigadores han desarrollado y perfeccionado un gran número de técnicas útiles para tratar el riesgo y la incertidumbre. Estas técnicas van de las más simples a las altamente sofisticadas, como los métodos de evaluación probabilísticos, los cuales tienden a ser difíciles de entender. También existe la simulación, que puede ser fácilmente entendida después de un pequeño esfuerzo, aunque su realización requiere de una computadora digital. Desde sus inicios en la Segunda Guerra Mundial, la simulación ha sido una técnica muy valiosa para analizar problemas que involucran incertidumbre y relaciones complejas entre sus variables.

La incertidumbre en los resultados que se obtendrán en el futuro es común a muchas decisiones, y es a menudo posible expresar esta incertidumbre en forma de distribuciones de probabilidad.

### INVESTIGACION DE OPERACIONES.

La investigación de operaciones es: "la aplicación, por grupos interdisciplinarios, del método científico a problemas relacionados con el control de las organizaciones o sistemas (hombre - máquina) a fin de que se produzcan soluciones que mejor sirvan a los objetivos de toda la organización"<sup>64</sup>.

La investigación de operaciones utiliza varios tipos de problemas y de modelos para la toma de decisiones, los principales tipos de problemas son: determinísticos, con riesgo, con conflicto y bajo incertidumbre, dependiendo del grado de conocimiento referente a los estados de la naturaleza, es decir, de sus probabilidades.

Las probabilidades asignadas a los estados de la naturaleza tienden a ser más subjetivas cuando hay menos conocimiento y más objetivas cuando es mayor el conocimiento. Dichas probabilidades pueden incluir desde las asignaciones subjetivas, basadas en los "sentimientos" y la experiencia de quien toma las decisiones, hasta las asignaciones objetivas, basadas en la colección y análisis de numerosos datos conexos con los estados de la naturaleza.

### SISTEMAS DIFUSOS E INCERTIDUMBRE.

Las dos grandes categorías de métodos para la incertidumbre están actualmente en uso son: los métodos probabilísticos y los no probabilísticos.

---

<sup>64</sup> PRAWDA, Juan, Métodos y modelos de investigación de operaciones. Vol. I Modelos determinísticos, México: Limusa, 1986, p. 20.

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

Las técnicas probabilísticas y estadísticas son generalmente aplicadas en las ciencias naturales y sociales y son usadas extensivamente en la inteligencia artificial.

Varios métodos no probabilísticos han sido diseñados para solucionar problemas, particularmente de "inteligencia artificial", es decir, soluciones computarizadas a problemas del mundo real. Además de la lógica difusa, se incluye a la lógica por default, a la teoría de Dempster - Shafer sobre la evidencia, a los sistemas con base en endosos y al razonamiento cualitativo.

Estos otros métodos de tratar con la incertidumbre proporcionan un contexto interesante. Aunque no se tiene que entenderlos completamente para entender su aspecto difuso.

### PROBABILIDAD Y METODOS BAYESIANOS.

La teoría de probabilidad es una examinación formal de la posibilidad de que un evento ocurra, medido en términos de la razón del número de ocurrencias esperadas sobre el número total de posibles ocurrencias. Los métodos probabilísticos o estocásticos describen un proceso en el cual los eventos imprecisos o aleatorios afectan los valores de las variables, así que los resultados pueden estar dados sólo en términos de probabilidades.

Por ejemplo, si usted lanza una moneda normal, tiene una probabilidad del 50% de que caerá sol y también una probabilidad del 50% de que caiga águila. Esta es la base para varios juegos de azar, tal como el lanzamiento de dados (que involucran dos dados de seis caras) y el juego de cartas llamado 21 o blackjack. A un nivel más académico, es usado en el método de Monte Carlo.

La regla de Bayes o la teoría de decisión bayesiana es una variación ampliamente usada de la teoría de probabilidad que analiza las situaciones de incertidumbre pasadas y determina la probabilidad de que un evento cierto cause un resultado conocido. Este análisis es entonces usado para predecir resultados futuros. Un ejemplo es predecir la exactitud de un diagnóstico médico, las causas de un grupo de síntomas, basados en la experiencia pasada. La regla en si misma fue desarrollada a la mitad del siglo XVIII por Thomas Bayes, pero no se popularizó hasta la década de los 1960's. Esta regla trabaja mejor cuando una gran cantidad de datos están disponibles.

La regla de Bayes considera la probabilidad de que dos eventos futuros ocurran. Entonces, suponiendo que el primer evento ocurre, toma la razón de las probabilidades de que los dos eventos como la probabilidad de que ambos ocurran. En otras palabras, entre más grande es la confianza en la verdad sobre un hecho pasado o de ocurrencia futura, más probable es el hecho de que sea verdad o de que el evento ocurra.

### METODOS NO PROBABILISTICOS.

Además de la lógica difusa, varias extensiones de lógica precisa han sido desarrolladas para tratar con incertidumbre. A continuación se mencionan algunas de ellas.

Lógica por default.

En este sistema, las únicas declaraciones verdaderas son aquellas que

## CAPITULO II. EL MANEJO DE INCERTIDUMBRES FINANCIERAS.

contienen lo que es conocido sobre el mundo (contexto o área de interés). Estas incluyen muchas suposiciones del sentido común y creencias. Por ejemplo, se asume que el tráfico conserva su derecha a menos que se compruebe de otra manera. Esta es la lógica detrás del lenguaje de computadora (Prolog).

La lógica por default también permite al usuario añadir nuevas declaraciones cuando más conocimiento es obtenido, ya que las declaraciones están basadas en otras declaraciones previamente aceptadas. Por ejemplo, un sistema de razonamiento sobre el planeta Marte podría incluir la creencia de que no tiene vida, incluso si no hay pruebas directas.

La lógica y el razonamiento por default fueron desarrollados por el canadiense Raymond Reiter a finales de los 1970's.

La teoría de evidencia de Dempster - Shafer.

La teoría de evidencia involucra determinar el peso de la evidencia y asignar grados de creencia a las declaraciones basadas en ellos. Esta fue desarrollada por los estadounidenses Arthur Dempster en los 1960's y Glenn Shafer en los 1970's. Pero esta es una generalización de una teoría propuesta por Johann Heinrich Lambert en 1764. Para una situación dada, la teoría toma varios cuerpos de evidencia, usa una regla de combinación que calcula la suma de varias funciones de creencia y crea una nueva función de creencia. El método puede ser adaptado a la difusividad.

Respaldo.

El respaldo involucra identificar y nombrar los factores de certeza e incertidumbre que justifiquen creencias e incredulidades. El método, inventado por el estadounidense Paul Cohen a principios de los 1980's, permite priorizaciones no matemáticas de alternativas de acuerdo a como probablemente cada uno irá a suceder o como es conviene para su uso. Esto también especifica cómo las fuentes interactúan y dan reglas para clasificar combinaciones de fuentes. Por ejemplo, las alternativas pueden ser clasificadas en probables e improbables. Es útil, por ejemplo, el priorizar tareas por conveniencia o por posibilidades de éxito.

Los respaldos son objetos representando razones específicas para creencias (respaldos positivos) e incredulidades (respaldos negativos); así como su evidencia asociada, la cual consiste de proposiciones lógicas. Respaldo es el proceso de identificar factores relacionados con la certeza en una situación dada. Por ejemplo, al predecir el clima de mañana, la conclusión de que el clima va a ser bueno, si esta basada en fotos del clima desde vía satélite, esta probablemente mejor respaldada que la conclusión de que va a llover mañana.

Razonamiento cualitativo.

El razonamiento cualitativo es otro método basado en el sentido común de profundo razonamiento acerca de la incertidumbre que usa principalmente en lingüística, así como números y modelos con datos para describir un problema y predecir una conducta.

El razonamiento cualitativo ha sido usado para el estudio de problemas en física, ingeniería, medicina y ciencias de la computación.

**CAPITULO III.  
LA LOGICA DIFUSA.**

**III.1. SISTEMAS DIFUSOS.**

**INTRODUCCION.**

Si entendemos por sistema a todo conjunto organizado, entonces la organización del sistema no es otra cosa que el conjunto de elementos y las relaciones entre ellos, incluyendo las relaciones entre esas relaciones.

Una representación gráfica de tal concepción de un sistema sería un conjunto de "cajas" con una o varias entradas y una o varias salidas. La suma de las entradas y de salidas de las diversas cajas explicaría el comportamiento del sistema en su conjunto. A este tipo de sistemas se les llama sistemas descomponibles<sup>65</sup>; mientras que los sistemas complejos son aquellos que no pueden ser analizados de esta manera, es decir, que no son descomponibles.

Los sistemas complejos poseen una doble característica<sup>66</sup>:

1. Están integrados por elementos heterogéneos en permanente interacción, y
2. Son abiertos, es decir, estar sometidos como totalidad a interacciones con el medio circundante, las cuales pueden consistir en intercambios de materia y energía, en flujos de recursos o de información, o en la acción de políticas.

Como un sistema complejo esta constituido por un conjunto de objetos (los elementos del sistema) en continua interacción, esto implica<sup>67</sup>:

1. Que el sistema, como totalidad, tiene propiedades que no son la simple adición de las propiedades de los elementos;
2. Que el sistema tiene una estructura determinada por el conjunto de las relaciones entre los elementos, y no por los elementos mismos, y

---

<sup>65</sup> MENDEZ, Ignacio y GONZALEZ Casanova, Pablo (coordinadores), Matemáticas y ciencias sociales, México: Grupo Editorial Miguel Angel Porrúa, 1993, pág. 98.

<sup>66</sup> MENDEZ, Ignacio y GONZALEZ Casanova, Pablo (coordinadores), Matemáticas y ciencias sociales, México: Grupo Editorial Miguel Angel Porrúa, 1993, pág. 99.

<sup>67</sup> MENDEZ, Ignacio y GONZALEZ Casanova, Pablo (coordinadores), Matemáticas y ciencias sociales, México: Grupo Editorial Miguel Angel Porrúa, 1993, pág. 102.

3. Que las relaciones que caracterizan la estructura constituyen vínculos dinámicos que fluctúan permanentemente, y que eventualmente se modifican de forma sustancial, dando lugar a una nueva estructura.

El punto (1) expresa simplemente la definición tradicional de "sistema". El punto (3) trata sobre el análisis de estructuras, y el enunciado del punto (2) requiere mayor elaboración porque los elementos de un sistema están constituidos, a su vez por sus propios elementos y tienen su propia estructura. En este caso, se dice que son subsistemas del sistema total.

Cuando se analiza un sistema compuesto de subsistemas, las relaciones que entran en juego son las que vinculan los subsistemas entre sí, y no las relaciones internas dentro de cada subsistema.

Esto permite establecer "jerarquías" de subsistemas dentro de un sistema, y definir niveles de análisis correspondientes a los niveles de organización dentro del sistema.

#### DEFINICION DE SISTEMAS.

¿Qué es entonces un sistema? Efectivamente se han ofrecido muchas definiciones, dentro de las cuales se seleccionaron las siguientes:

- Por sistema se entiende cualquier conjunto de partes relacionadas: una compañía, una mesa, un procedimiento contable, un motor, todos ellos son sistemas<sup>68</sup>.
- Un sistema es un conjunto de dos o más elementos interrelacionados de cualquier tipo; por ejemplo, conceptos (como el sistema numérico), objetos (como en el sistema telefónico o en el cuerpo humano), o personas (como en un sistema social). Por consiguiente, cada parte no es un elemento último e indivisible sino un todo que puede ser dividido en partes. Los elementos del conjunto y el conjunto de elementos que forman el sistema tienen las siguientes propiedades<sup>69</sup>:
  - La conducta de cada elemento tiene un efecto sobre la conducta del todo. Las propiedades o el comportamiento de cada elemento del conjunto afectan a las propiedades o al comportamiento del conjunto tomado como un todo. Por ejemplo, todo órgano en el cuerpo de un animal afecta su desempeño general.
  - La conducta de los elementos y sus efectos sobre el todo son interdependientes. Las propiedades y el comportamiento de cada elemento y la forma en que afectan al todo, dependen de las propiedades y el comportamiento de cuando menos otro elemento en el conjunto. Por consiguiente, ninguna parte tiene un efecto

<sup>68</sup> GALLAGHER, Charles A. y WATSON, Hugh J., Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: MC. Graw Hill, 1992, pág. 17.

<sup>69</sup> MENDEZ, Ignacio y GONZALEZ Casanova, Pablo (coordinadores), Matemáticas y ciencias sociales, México: Grupo Editorial Miguel Angel Porrúa, 1993, pp. 124-125.



independiente en el todo, y cada parte es afectada cuando menos por otra parte. Por ejemplo, el comportamiento del corazón depende del comportamiento de los pulmones.

- Sin importar cómo se formen los subgrupos de elementos, cada uno tiene un efecto sobre la conducta del todo, y ninguno tiene un efecto independiente sobre él. En otras palabras, los elementos de un sistema están interconectados de tal forma que no pueden formarse subgrupos independientes de ellos. Todo posible subconjunto de elementos en el conjunto tiene las primeras dos propiedades; cada subconjunto tiene un efecto no independiente (sino más bien dependiente) sobre el todo. Por consiguiente, el todo no puede descomponerse en subconjuntos independientes. Un sistema no puede subdividirse en subsistemas independientes. Por ejemplo, todos los subsistemas en el cuerpo de un individuo - el nervioso, el respiratorio, el digestivo y el circulatorio - interactúan y cada uno afecta el desempeño del todo.

De acuerdo con lo anterior, un sistema es un todo que no puede ser dividido en partes independientes. De esto se derivan dos de sus propiedades más importantes<sup>70</sup>:

1. Cada parte de un sistema tiene propiedades que se pierden cuando se separan del sistema, y
2. Cada sistema tiene algunas propiedades, esenciales, que no tiene ninguna de sus partes.

Las propiedades esenciales de un sistema, considerado como un todo derivan de las interacciones de sus partes, no de sus acciones tomadas separadamente.

Es debido a estas propiedades que el conjunto de elementos que conforma un sistema siempre tiene algunas características, o bien, es factible que desempeñe cierto comportamiento que ninguna de sus partes (o subconjuntos) puede hacer por sí sola. Un sistema es más que la suma de sus partes. Por ejemplo, un ser humano es capaz de leer, escribir, caminar o sentir hambre, cosa que ninguna de sus partes puede lograr por sí misma. Además, el pertenecer a un sistema aumenta o disminuye las capacidades de cada elemento. De tal manera, un cerebro que no es parte de un ser viviente no funciona; a un individuo que es miembro de una organización no le es posible hacer ciertas cosas que si no fuera miembro sí podría realizar, en cambio sí es capaz de lograr otras cosas que sin la membresía le estarían vedadas.

Estructuralmente, un sistema es un todo divisible. Funcionalmente es un todo indivisible en el sentido de que algunas de sus propiedades esenciales se pierden si se separa en partes. En la era de los sistemas surge la tendencia de conceptualizar los objetos como "partes" de "todos" más grandes (modo sintético o

---

<sup>70</sup> ACKOFF, Russell L., Planificación de la empresa del futuro, México: Limusa, 1998, pág. 29.

expansionismo), y no como "todos" que se van a separar en "partes" (modo analítico o reduccionismo).

De esta manera, el expansionismo trae consigo el modo sintético de pensar, de la misma forma que el reduccionismo trajo el modo analítico del pensamiento. A través del análisis, la explicación del "todo" se deriva de la explicación de sus partes. En cambio, en el pensamiento sintético la explicación de un objeto o entidad se da a partir de un sistema más grande, en términos del papel que desempeña en él. La universidad, por ejemplo, tiene sentido por la función que representa dentro del sistema educativo del cual es parte, y no por el comportamiento de sus facultades, escuelas, institutos y centros.

El enfoque sistemático es la aplicación del modo sintético del pensamiento a los problemas de sistemas. En éste, un problema no se resuelve separándolo en partes sino al considerarlo como parte de un problema mayor.

El desempeño de un sistema depende de la forma en que se relaciona con su ambiente - que es el sistema mayor del cual forma parte - y con los otros sistemas del mismo.

Como se recordará, en la era del pensamiento reduccionista, la forma de explicar las acciones e interacciones entre objetos y eventos era a través de la relación causa - efecto que se utiliza en dos sentidos, uno cuando la causa era necesaria y suficiente para que ocurriera el efecto y otro, cuando la causa era necesaria pero no suficiente para lograr el efecto (un grano de maíz es necesario para que crezca una mazorca, pero no es suficiente, necesita tierra fértil, agua, sol y viento para crecer). A este segundo tipo de causa - efecto se le llama productor - producto, probabilístico o no determinista. Como un productor no es suficiente para su producto, son necesarios otros productos o coproductores que, tomados colectivamente, constituyen el ambiente del producto. Por lo tanto, la relación productor - producto conduce a una situación donde participa el ambiente, o sea, de sistema abierto y no una situación donde no participa el ambiente, o sea, de sistema cerrado.

### EL PENSAMIENTO SISTEMICO.

La síntesis y el análisis son procesos complementarios. Como las dos caras de una moneda, pueden considerarse separadamente, pero no pueden separarse.

La síntesis, por poner juntas las cosas, es la clave de un pensamiento sistémico.

En el enfoque sistémico existen tres pasos:

1. Identificar un todo que contenga (un sistema), del cual el objeto que se va a explicar es una parte.
2. Explicar la conducta o las propiedades del todo que contiene.
3. Finalmente, explicar la conducta o las propiedades del objeto que va a ser explicado, en términos de su(s) función(es) dentro del todo.

En el pensamiento analítico, el objeto que va a ser explicado es tratado como un todo que se va a desmembrar; mientras que en el pensamiento sintético, el objeto que se va a estudiar es considerado como parte de un todo contenedor.

### CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

El análisis se enfoca sobre al estructura: revela cómo trabajan las cosas. La síntesis se concentra en la función: revela por qué operan las cosas como lo hacen. Así, el análisis produce conocimiento, mientras que la síntesis genera comprensión. Con el primero podemos describir, mientras que el segundo nos permite explicar.

El pensamiento de los sistemas también está interesado en las interacciones de las partes del objeto que va a ser explicado (análisis) pero, además, se ocupa de las interacciones del objeto con los objetos que lo rodean y con el medio ambiente mismo. También está interesado en la interacción funcional de las partes de un sistema. El siguiente es un principio aplicable a los sistemas<sup>71</sup>:

Aunque cada parte de un sistema, considerada por separado, se diseña para operar tan eficazmente como sea posible, el sistema como un todo no operará con la máxima eficiencia.

Aun cuando la validez general de este principio no es evidente, sí lo es su validez en casos específicos, por ejemplo, considere el gran número de automóviles que existen en el mercado. Suponga que lleva un ejemplar de cada marca a un gran taller, para que cierto número de ingenieros automotrices muy competentes, determinen cuál tiene el mejor carburador. Cuando hayan dado su veredicto, se registra el resultado y se les pide que hagan lo mismo con los motores de los vehículos. Después, se continúa con las demás partes de los automóviles. Una vez seleccionadas las mejores piezas, pedirá a los ingenieros que con ellas fabriquen un vehículo. ¿Sería éste el mejor vehículo del mundo? Por supuesto que no. Probablemente ni siquiera tenga un automóvil, ya que las partes no ajustarán entre sí y aunque así fuera, es muy probable que no funcionaran bien juntas. El buen funcionamiento de un sistema depende más de cómo interactúan entre sí sus partes que de cómo actúa cada una de ellas independientemente.

Cuando un conjunto de dos o más problemas interdependientes constituyen un sistema, a este tipo de sistemas se les denomina problemática. Una problemática, como cualquier sistema, tiene propiedades que no tiene ninguna de sus partes, y estas propiedades desaparecen cuando el sistema es desmembrado. Además, cada parte de un sistema tiene propiedades que se pierden cuando se consideran separadamente. La solución para una problemática depende de cómo interactuen las soluciones para las partes.

Así es que tenemos que un sistema es un grupo de elementos que no pueden separarse en sus partes constituyentes. De esto se desprende que<sup>72</sup>:

- a) las propiedades esenciales de un sistema se pierden cuando éste se descompone física o conceptualmente, y
- b) las propiedades esenciales de las partes también se pierden cuando se separan éstas del todo física o conceptualmente.

<sup>71</sup> ACKOFF, Russell L., Planificación de la empresa del futuro, México: Limusa, 1998, pág. 32.

<sup>72</sup> ACKOFF, Russell L., Planificación de la empresa del futuro, México: Limusa, 1998, pág. 296.

### CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

Por estas razones, el análisis de un sistema, sólo puede revelar su estructura y su funcionamiento, pero no sus propiedades esenciales o la causa por la que funciona como lo hace. Para obtener tal conocimiento y comprensión se debe utilizar el pensamiento sintético; esto es, observar tanto las funciones que realiza el sistema mayor del que es parte y las partes que lo constituyen.

#### MACROSISTEMAS.

Como se explicó un sistema es una colección de componentes que interactúan entre sí como una unidad, para la consecución de un propósito explícito, o implícitamente definido.

Todo sistema se encuentra ubicado o enmarcado dentro de un macrosistema, es decir, de un sistema mayor que le sirve como marco de referencia. A este macrosistema se le conoce como marco ambiental o medio amniótico.

Existen actividades, que afectan al sistema bajo estudio y que se originan en un marco ambiental, por lo que es necesaria su definición. A dichas actividades se les conoce como actividades exógenas; aquellas que se originan dentro del sistema bajo consideración, se llaman actividades endógenas. Un sistema sin actividades exógenas se llama sistema cerrado; uno que cuenta con ellas se llama sistema abierto.

Un sistema determinístico es aquel donde los efectos de una actividad se explican completamente en función de sus insumos. Cuando los efectos varían aleatoriamente, el sistema se denomina estocástico. Un sistema es continuo cuando los efectos de una actividad son continuos, de otra manera, el sistema es discreto.

#### SISTEMAS DIFUSOS.

La teoría difusa es una teoría matemática, y lo que es llamado difuso toma en ella el aspecto de incertidumbre, y sin duda esto es algo muy importante. Difuso es lo ambiguo que puede ser encontrado en la definición de un concepto o en el significado de una palabra. Por ejemplo, la incertidumbre en expresiones como "persona vieja", "alta temperatura" o "un número pequeño", pueden ser llamados difusos. Estos ejemplos no son clarificados por el paso del tiempo o por las pruebas realizadas. La ambigüedad subyace en el significado de las palabras, y como esta es una característica esencial de las palabras, siempre las sigue alrededor de su contexto.

Hasta ahora la probabilidad había sido lo único incierto con lo que las matemáticas habían trabajado. La incertidumbre de la probabilidad generalmente se relaciona con la ocurrencia de un fenómeno, y esta simbolizada por el concepto de aleatoriedad. Por ejemplo, "lloverá mañana", "lanza el dado y cae un 3", tienen la incertidumbre de ocurrencias de fenómenos, por lo tanto son llamadas expresiones aleatorias porque pueden aclararse con el paso del tiempo o con una prueba.

Aleatoriedad y aspecto difuso son diferentes por naturaleza, aunque ambos son aspectos de la incertidumbre. La aleatoriedad es manejada por la probabilidad

### CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

y la estadística a través de variables aleatorias precisamente, mientras que el aspecto difuso es manejado por la lógica difusa.

Pero en el caso del aspecto difuso (difusión o borrosidad), la ambigüedad permanece en las palabras, en los conceptos, aunque expresa mucho mejor la incertidumbre que la probabilidad, que expresa mucho mejor al riesgo. El lenguaje es la base de la teoría difusa. El lenguaje puede expresar ambigüedad, vaguedad e incluso, múltiples significados.

La teoría de la probabilidad ha sido desarrollada en el siglo XVII, de tal forma que cuenta con una larga historia. Desde sus inicios, los ingenieros hicieron un uso práctico de sus ideas y fueron ampliamente usadas en las ciencias naturales. Por otra parte, la teoría difusa fue desarrollada hace sólo 35 años y su uso no es aún tan amplio; aunque la lógica difusa exprese mucho mejor la incertidumbre cotidiana que la probabilidad. Esto es debido a que la lógica difusa expresa la incertidumbre que es parte del significado de las palabras, y las palabras son indivisibles de lo que piensa el hombre.

Todas las personas piensan y transmiten sus pensamientos e información por medio de palabras, por lo tanto todos están envueltos con lo difuso y esta es una clase de incertidumbre que cualquiera puede entender. Si este tipo de incertidumbre pudiera ser tratado con matemáticas y se pudiera hacer un uso práctico de él, los efectos serían inconmensurables.

Los términos generales de la teoría difusa que hace uso de difusibilidad son la teoría de conjuntos difusos, lógica difusa y la teoría de medida difusa. Existe inclusive lo que es llamado "matemáticas difusas", que son matemáticas estándar dentro de las cuales los conjuntos difusos y los principios de la medida difusas han sido introducidos.

Entonces, finalmente podemos señalar dos categorías para el manejo de la incertidumbre que están actualmente en uso: el probabilístico y el no probabilístico. Las técnicas probabilísticas - y estadísticas - son aplicadas ampliamente en las ciencias naturales y sociales y son usadas extensivamente en la inteligencia artificial. También existen diversos métodos no probabilísticos que han sido diseñados para la solución de problemas diversos, particularmente los de "inteligencia" y soluciones computarizadas a problemas del mundo real. Además de la lógica difusa, estos incluyen a la lógica formal, a la teoría de Dempster - Shafer sobre la evidencia, a los sistemas con base en endosos y a los sistemas de razonamiento cualitativo.

### III.2. ARITMETICA DIFUSA.

## ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

#### TEORIA DE LOS NUMEROS DIFUSOS.

Incertidumbre y subjetividad son lo opuesto de certeza y objetividad. En un mundo que es menos y menos predecible, estamos más y más conscientes de la incertidumbre. Quizás el medio ambiente de hoy no es más incierto que el que fue en el pasado, pero la velocidad con la cual la información es transferida hacia cada parte del globo terrestre lo hace parecer así. Probablemente esta percepción es debida a las dificultades que estamos experimentando al realizar pronósticos desde nuestros días. Ciertamente el mundo de ayer parecía más simple. Nosotros estamos siendo golpeados por todos lados por todo tipo de información, alguna de la cual es directamente relevante en nuestras vidas cotidianas. La dificultad que estamos experimentando es tratar de decidir cual es relevante y cual no lo es. Cuando el hombre de la calle declara "el mundo esta loco", y cuando los científicos afirman que "nada esta estacionario y es seguro", ambos están reaccionando a una situación confusa e incierta. Ambos están expresando su frustración por no ser capaces para predecir el futuro como a ellos les gustaría. Esto no significa, por supuesto, que un futuro perfectamente predecible sería bueno para nosotros. Realmente, nos sentiríamos cansados muy pronto de tal situación, porque nos guste admitirlo o no, el ser humano requiere una cierta cantidad de incertidumbre y variedad en sus vidas. Si no tienen esa variedad, pronto se cansarían de la vida en sí misma. Pero desafortunadamente, demasiada incertidumbre hace que la gente le tema al futuro y esto es lo que debemos de tratar de evitar.

Como seres humanos debemos aprender a aceptar que la incertidumbre es una parte de nuestras vidas y continuará siendo parte de ellas en el futuro también. Todo sistema con el que tratemos tiene algo de incertidumbre asociada con él. Algo de esta incertidumbre aparece a un nivel muy bajo, pero mucho más aparece a un nivel mayor.

La información difusa, o incertidumbre, puede aparecer en la forma de imprecisión, vaguedad o en datos dudosos, mal definidos o mal separados. De esta incertidumbre, debemos aprender a entender los procesos dinámicos de los sistemas que estamos estudiando. Debemos aprender a recuperar la información que esta presente en esos datos inciertos, debemos aprender a usarlos en la construcción de modelos de sistemas dinámicos, y finalmente debemos aprender como usar esos modelos que están basados en información imperfecta. Pero sobre todo, debemos aprender qué tanta fe podemos tener en esos modelos. En otras palabras, de esta información difusa debemos ser capaces de tomar buenas y responsables decisiones. Aunque decisiones buenas y responsables no significan que después de la implementación de estas decisiones no deberíamos esperar posteriores lamentos.

No existe una cosa como la verdad absoluta, al menos no desde el punto de vista de la ciencia. En el mejor de los casos es un criterio subjetivo, aunque

basado en una evaluación. Desafortunadamente, muchas personas ponen su fe en las manos de la subjetividad sin evaluarla propiamente.

La teoría de los conjuntos difusos fue introducida en 1965 por Lotfi A. Zadeh en los Estados Unidos, y ha sido estudiada y aplicada por muchas personas en todas partes del mundo. Más recientemente, la teoría de los números difusos ha sido introducida por S. Nahmais en los Estados Unidos y H. Dubois y D. Prade en Francia.

El concepto de un número difuso ha conducido a lo que se le ha dado en llamar aritmética difusa. Debido a que el concepto de un número difuso contiene a un intervalo como un caso especial, la aritmética difusa maneja la aritmética de intervalos, pero como lenguaje la aritmética difusa tiene un mayor poder expresivo que la aritmética de intervalos gracias al empleo de la función de membresía, permitiendo con ello que un número difuso sea expresado en términos lingüísticos, haciendo posible calcular con palabras más que con números. Además, la función de membresía de un número difuso puede representar una evaluación de un conjunto difuso. De esta manera, la difusibilidad de un número difuso proporciona adicionales grados de libertad para representar varios tipos de incertidumbre como distribuciones con posibilidades no uniformes en una línea de números reales.

### CONSTRUCCION DE UN NUMERO DIFUSO.

¿Cómo se construye un número difuso? Para responder a esta pregunta debemos contestar primero a otras interrogantes, como: ¿cuál es el más pequeño valor dado a un número incierto? ¿y cuál es el mayor? Además, si estuviéramos autorizados a dar uno y sólo un valor, ¿cuál valor daríamos? Obviamente, con estos tres valores, diferentes uno de otro, podemos construir un número difuso triangular y posteriormente, si lo deseamos, podemos construir con algunos refinamientos un conveniente, o subjetivamente conveniente, número difuso.

Un número difuso puede ser considerado como una extensión del concepto de intervalo de confianza. Esta extensión esta basada en una natural y muy simple idea. En lugar de considerar el intervalo de confianza a un único nivel, es considerado a varios niveles y más generalmente a todos los niveles entre 0 y 1. Consideramos el máximo de conjetura al nivel 1 y el mínimo de conjetura al nivel 0. Sin embargo, los números difusos no son variables aleatorias. La incertidumbre y la aleatoriedad son dos conceptos diferentes pero importantes.

### NUMEROS DIFUSOS.

En alguna parte al inicio de nuestras vidas, aprendimos que

$$2 + 2 = 4$$

Al menos así fue en la escuela y en las transacciones monetarias. Además, aprendimos el mensaje de que

$$2 - 2 = 0$$

$$2 \times 2 = 4$$

$$2 / 2 = 1$$

No hay nada de malo con estos valores numéricos precisos o exactos. Pero, no son siempre necesarios o apropiados. Algunas veces los números difusos son mejores. Por ejemplo, cuando al hablar usamos expresiones como las siguientes:

casi 8  
cerca de 8  
alrededor de 8  
más ó menos 8

estamos refiriéndonos no a un número preciso o exacto, sino a un número difuso: el ocho difuso.

## Un 8 preciso

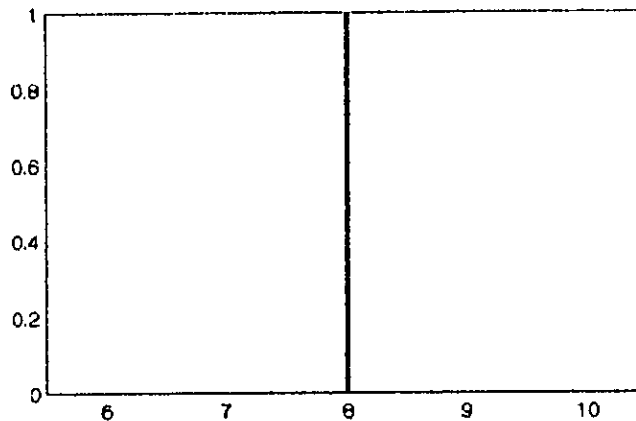


Figura 2.

### EJECUTANDO ARITMETICA DIFUSA.

En la aritmética difusa, cada número puede ser representado por un triángulo, con la punta sobre el número en sí y la base extendiéndose a lo largo del rango numérico de difusibilidad. Por ejemplo, un 8 difuso descansa en su base extendiéndose entre los números 7 y 9; el triángulo representa el número 8 difuso.

Es importante señalar que sólo hay una única forma de representar un número preciso; el 8 preciso sólo tiene una única forma. Pero un número difuso tiene un número infinito de posibles formas, incluidas las triangulares. El número difuso 8, con base en el rango de 7 a 9, forma un triángulo isósceles (simétrico), pero esta es solo una, de muchas posibles representaciones triangulares.



## Un 8 difuso

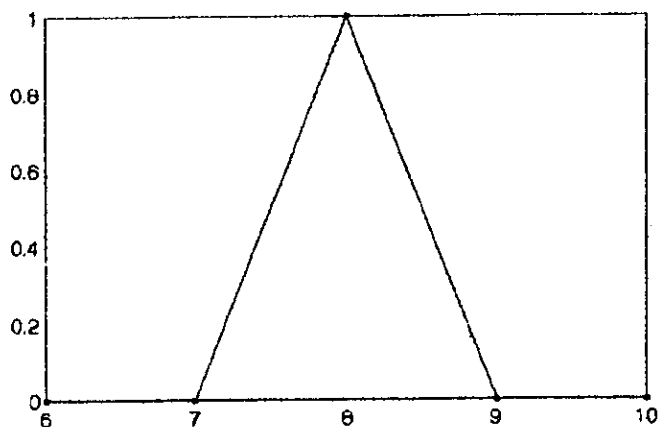


Figura 3.

De igual manera que con los números precisos, se pueden realizar cada una de las cuatro operaciones aritméticas fundamentales sobre dos números difusos: suma, resta, multiplicación y división; aunque sus resultados son mucho más dramáticos. Por ejemplo, veamos la siguiente tabla:

Operaciones aritméticas	
<b>Precisas:</b> $a = 3$ {tres preciso} $b = 2$ {dos preciso}	<b>Difusas:</b> $\tilde{a} = \tilde{3} = (-2, 3, 8)$ {tres difuso} $\tilde{b} = \tilde{2} = (-1, 2, 7)$ {dos difuso}
<b>Suma <math>a + b</math>:</b> $3 + 2 = 5$	<b>Suma <math>\tilde{a} + \tilde{b}</math>:</b> $\tilde{3} + \tilde{2} = \tilde{5}$ $(-2, 3, 8) + (-1, 2, 7) = (-4, 5, 14)$
<b>Resta <math>a - b</math>:</b> $3 - 2 = 1$	<b>Resta <math>\tilde{a} - \tilde{b}</math>:</b> $\tilde{3} - \tilde{2} = \tilde{1}$ $(-2, 3, 8) - (-1, 2, 7) = (-8, 1, 10)$
<b>Multiplicación <math>a * b</math>:</b> $3 * 2 = 6$	<b>Multiplicación <math>\tilde{a} * \tilde{b}</math>:</b> $\tilde{3} * \tilde{2} = \tilde{6}$ $(-2, 3, 8) * (-1, 2, 7) = (-3, 6, 15)$
<b>División <math>a / b</math>:</b> $3 / 2 = 1.5$	<b>División <math>\tilde{a} / \tilde{b}</math>:</b> $\tilde{3} / \tilde{2} = 1.\tilde{5}$ $(-2, 3, 8) / (-1, 2, 7) = (-7.5, 1.5, 10.5)$

Para realizar cada operación se requieren de varios pasos, debido a que la punta y la base son manejadas de manera diferente.

Por ejemplo, para sumar los números difusos:

$$\tilde{3} = (-2, 3, 8) \text{ y}$$

$$\tilde{2} = (-1, 2, 7)$$

para encontrar la punta del número resultante, se realizan operaciones aritméticas sólo de las puntas de los números difusos, es decir, en los valores de 3 y 2, de tal manera que para la suma tendríamos:

$$3 + 2 = 5$$

La punta del número difuso resultante tendría un valor de 5, (de hecho el número difuso resultante es precisamente el cinco difuso).

Para el cálculo de la base se sigue siempre el mismo procedimiento; por ejemplo, en el caso de la suma:

- El rango de la base del 3 difuso va del -2 al 8, teniendo un valor de 10 unidades de distancia entre sí. El rango de la base para el 2 difuso va de -1 a 7, contando con 8 unidades de diferencia. De tal manera que como se están sumando, se tiene:

$$10 + 8 = 18$$

donde 18 es la diferencia de la base del nuevo número difuso.

- La suma es dividida entre 2. En nuestro ejemplo tendríamos:

$$18 / 2 = 9$$

- Se restan este resultado del resultado de la operación aritmética de suma a los números puntas. De tal manera que:

$$5 - 9 = -4$$

Así es que -4 es el límite izquierdo de la base.

- Para obtener el límite derecho de la base se suman el valor de la punta y el resultado de la suma de la diferencia de la base dividida entre 2 (en nuestro ejemplo es 9) y se obtiene:

$$5 + 9 = 14$$

donde el 14 es el valor que se estaba buscando.

Por lo tanto, el resultado de sumar tres difuso más dos difuso es cinco difuso, pero definido de la siguiente manera:

$$\tilde{3} + \tilde{2} = \tilde{5}$$

donde:

$$\tilde{5} = (-4, 5, 14).$$

De manera similar se pueden realizar las demás operaciones aritméticas, e inclusive se pueden encontrar los valores máximo o mínimo o establecer funciones sobre dichos números difusos.

## Suma de números difusos

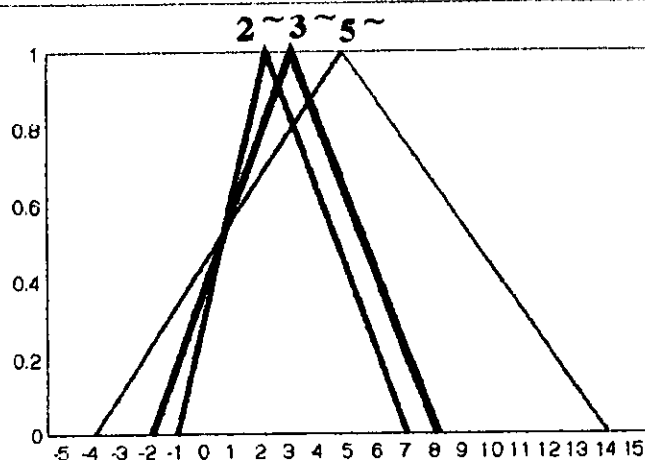


Figura 4.

### NUMEROS DIFUSOS APLICADOS.

Suponga que un cierto trabajo puede ser completado (desde su inicio hasta su fin) entre 2 fechas, por ejemplo del 15 al 31 de mayo. Este es un intervalo de confianza.

Podemos asumir que ese mismo trabajo puede ser completado para el 22 de mayo, como fecha más probable.

El intervalo de confianza para el primer caso es: [mayo 15, mayo 31], mientras que para el segundo caso es [mayo 22, mayo 22].

Estos dos niveles de confianza son de hecho niveles de suposición, y podemos asignarles un valor entre [0, 1], que es conocido en intervalos de confianza como alfa ( $\alpha$ ), o como la letra griega mu ( $\mu$ ) si es una función de membresía.

Esta alfa refleja la incertidumbre de un número difuso. Esta asociación corresponde al natural, y a menudo implícito, mecanismo de pensamiento humano, en la estimación subjetiva de valores para una dimensión. De esta manera, todo valor incierto, todo número incierto representa a un número difuso.

De esta manera podemos definir a un número difuso como un (sub)conjunto difuso, que es convexo y normal, y que puede ser considerado como una generalización de los intervalos de confianza. Los números difusos se basan en datos subjetivos. Son una valoración, no una medida.

Conviene aclarar de una vez que un (sub)conjunto difuso es normal si y sólo si el valor más alto de la función de membresía es igual a uno. Aunque se debe aclarar que este máximo puede o no ser el único.

## Conjuntos difusos normales

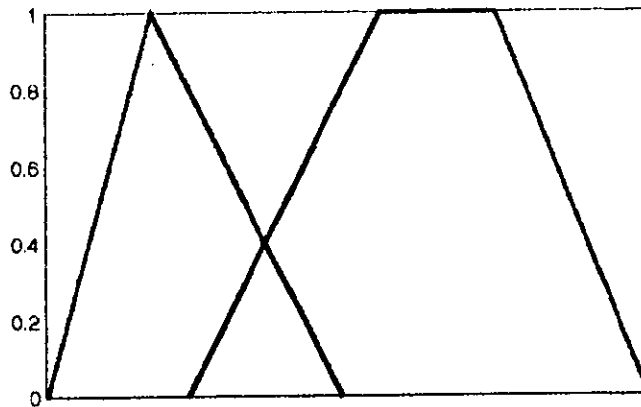


Figura 5.

Mientras que un (sub)conjunto difuso es convexo si y sólo si dos puntos cualquiera seleccionados arbitrariamente dentro del conjunto se conectan entre sí mediante una línea recta y todos los elementos del segmento de línea recta son también miembros del (sub)conjunto.

## Conjuntos convexo y no convexo

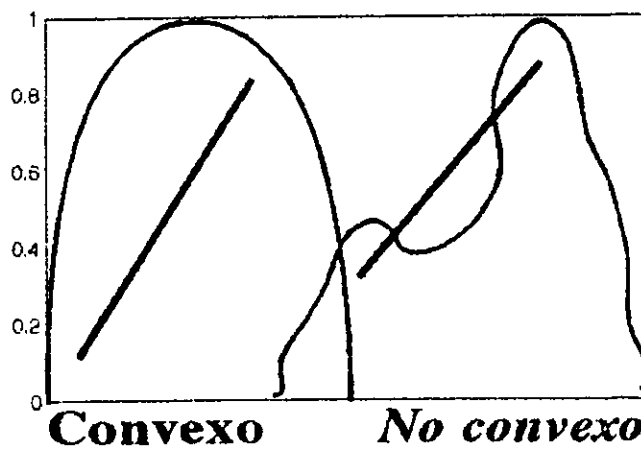


Figura 6.

Todos los conjuntos difusos aquí manejados están limitados a conjuntos normales y convexo. De esta manera, la forma y la simetría de los conjuntos

### CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

difusos influye sobre la precisión final del sistema diseñado, aunque también influyen su espaciamiento, su número, su asimetría y por supuesto, su forma. Se dice que los conjuntos de forma trapezoidal son utilizados comúnmente en controladores lógicos difusos que no requieren de operaciones matemáticas complicadas que pueden consumir mucho tiempo de maquina, aunque puede ser que el uso de funciones de membresía triangulares y simétricas genere una respuesta del sistema de mala calidad, sin embargo, también se sugieren varias formas para mejora su funcionamiento, por ejemplo: es posible lograr una mejora si se incrementa el número de los conjuntos difusos definidos para cada variable, o si se distribuye asimétricamente a los conjuntos difusos, o se puede modificar algunas funciones de membresía a una forma trapezoidal.

**III.3. TEORIA DE CONJUNTOS DIFUSOS.****TEORIA ELEMENTAL DE CONJUNTOS PRECISOS.**

El concepto de conjunto es fundamental en todas las ramas de las matemáticas. Intuitivamente, un conjunto es una lista, colección o clase de objetos bien definidos, objetos que, pueden ser cualesquiera. Estos objetos se llaman elementos o miembros del conjunto.

**NOTACION.**

Es usual denotar los conjuntos por letras mayúsculas

A, B, C, ... , X, Y, Z

Los elementos de los conjuntos se representan por letras minúsculas

a, b, c, ... , x, y, z

La forma tabular (método de enumeración) de un conjunto tiene la siguiente forma:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$$

y se limita a listar todos los elementos que se encuentran en un conjunto; es idóneo cuando el número de elementos de un conjunto es pequeño o bien cuando no resulta fácil o posible formular una propiedad que defina la pertenencia a él.

Otra forma es la de definición por comprensión o forma constructiva (método de propiedad descriptiva) de un conjunto, que puede establecerse así:

$$B = \{x \mid x \text{ tiene cierta característica}\}$$

y en cuyo caso para definir el conjunto se enuncia la propiedad indispensable de pertenencia al conjunto.

Si  $x$  es el elemento de un conjunto  $A$ , es decir, si  $A$  contiene a  $x$  como uno de sus elementos, se escribe

$$x \in A$$

que se puede leer también "x pertenece a A" o "x está en A".

**IGUALDAD DE CONJUNTOS.**

El conjunto  $A$  es igual al conjunto  $B$  si ambos tienen los mismos elementos, es decir, si cada elemento que pertenece a  $A$  pertenece también a  $B$  y si cada

elemento que pertenece a B pertenece también a A. Se denota la igualdad de los conjuntos A y B por

$$A = B.$$

Aunque convendría aclarar que si bien los conjuntos A y B son iguales, no necesariamente contienen el mismo número de elementos, pues un conjunto no cambia si se repiten sus elementos.

### CONJUNTOS ESPECIALES Y SUBCONJUNTOS.

El conjunto vacío o conjunto nulo es un conjunto que carece de elementos y se le denota por el símbolo  $\emptyset$ .

El conjunto universal  $U$  ó  $X$  es el que contiene todos los posibles elementos dentro de una aplicación particular.

Si todo elemento de un conjunto A es también elemento de un conjunto B, entonces se dice que A es un subconjunto de B. Se denota esta relación escribiendo:

$$A \subset B$$

que se puede leer "A está contenido en B".

### OPERACIONES CON CONJUNTOS.

La unión de dos conjuntos A y B es el conjunto de todos los elementos que pertenecen ( $\in$ ) a A o a B o a ambos. Se denota la unión de A y B por

$$A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ ó } x \in B\}$$

que se lee "A unión B".

La intersección de los conjuntos A y B es el conjunto de los elementos que son comunes a A y a B, esto es, de aquellos elementos que pertenecen a A y que también pertenecen a B. Se denota la intersección de A y B por

$$A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ y } x \in B\}$$

que se lee "A intersección B".

La diferencia de los conjuntos A y B es el conjunto de elementos que pertenecen a A, pero no a B. Se denota la diferencia de A y B por

$$A - B = \{x \mid x \in A \text{ y } x \text{ no } \in B\}$$

que se lee "A diferencia B" o simplemente "A menos B".

El complemento de un conjunto A es el conjunto de elementos que no pertenecen a A, es decir, la diferencia del conjunto universal  $U$  ó  $X$  y el conjunto A. Se denota el complemento de A por

$$A' = A^c = \{x \mid x \in X \text{ y } x \text{ no } \in A\}$$

o simplemente

$$A' = A^c = \{x \mid x \text{ no } \in A\}.$$

### TEORIA DE CONJUNTOS DIFUSOS.

En la teoría de los conjuntos difusos se introduce la vaguedad al eliminar las fronteras abruptas que separan a los miembros de una clase, con los no miembros de la misma clase, así los elementos pueden pertenecer a un conjunto difuso en un mayor o menor nivel, según su grado de membresía. De esta forma es como la teoría de conjuntos difusos trabaja con la cuantificación de los significados de palabras en gráficas dentro del marco de la teoría de conjuntos. Este es un esfuerzo por expresar el término "alto", por ejemplo, por medio del concepto de conjuntos. Desde un punto de vista práctico, el concepto de conjunto no es necesario para la cuantificación de ambigüedad, pero es posible incrementar el rango de utilización al trabajar dentro del marco de la teoría de conjuntos. Es por eso que la teoría de conjuntos es un concepto muy importante y tiene conexiones con todos los campos de las matemáticas contemporáneas.

Aquí están algunas de las notaciones esenciales para la introducción de la teoría de conjuntos difusos:

$X$ es el conjunto universal (también conocido como $U$ )
$A$ es un subconjunto de $X$
$\emptyset$ es el conjunto vacío
$x$ es un miembro o elemento
$\{0, 1\}$ es el conjunto de valores del 0 y el 1
$[0, 1]$ es el intervalo real que va del 0 al 1
$\chi_A$ es la función característica del subconjunto $A$ , (es una función de 2 valores: 0 y 1)
$\bar{A}$ es un conjunto estándar, un conjunto preciso (bien definido) o un conjunto no difuso
$\tilde{A}$ es un conjunto difuso (de $X$ )
$\tilde{x}$ es un elemento difuso de $X$
$\mu_{\tilde{A}}$ es la función de membresía de $\tilde{A}$ (da el grado de inclusión o exclusión de un elemento en un conjunto difuso)
$\#$ es el grado de inclusión
$a \wedge b$ es el mínimo de $a$ y $b$ ( $\min$ )
$a \vee b$ es el máximo de $a$ y $b$ ( $\max$ )

La función de membresía del conjunto difuso  $\tilde{A}$  (conocida como:  $\mu_{\tilde{A}}$ ), para  $x_i$  da el grado de membresía o pertenencia, el cual varía entre el 0 (0%) y 1 (100%).

Una representación abstracta de un subconjunto difuso de  $X$  podría ser algo como la siguiente gráfica:



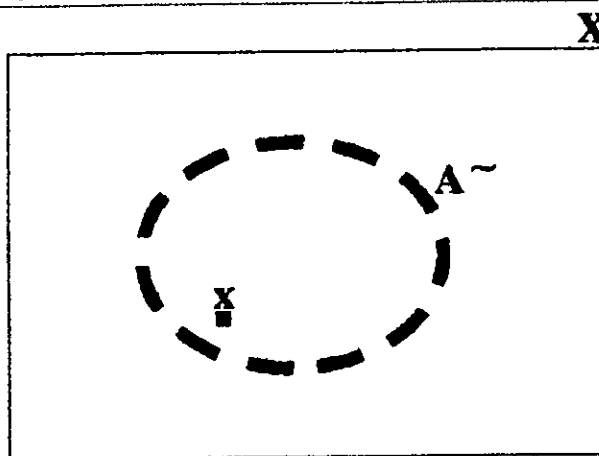
(Sub)conjunto difuso  $A \sim$ 

Figura 7.

donde el cuadro rectangular representa el conjunto universal  $X$ , el círculo punteado es el borde ambiguo de lo que esta dentro y fuera (de lo que pertenece o no al conjunto), y  $\tilde{A}$  es un subconjunto difuso de  $X$ .

La teoría de conjuntos difusos define el grado en el cual el elemento  $x$  de un conjunto  $X$  esta incluido o no en un subconjunto difuso. La función que da el grado en el cual esta incluido es llamada función de membresía y representa el grado de inclusión de un elemento a un subconjunto difuso. El miembro es el elemento  $x$ . Por ejemplo, el grado de membresía de un elemento  $x$  al área  $\tilde{A}$  esta expresado por:

$$\mu_{\tilde{A}}(x_1) = 1.0$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x_2) = 0.8$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x_3) = 0.3$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x_4) = 0.0$$

etc.

donde la  $\mu$  ( $\mu$ ) es la función de membresía y da el grado de pertenencia, un valor entre 0 y 1. El subíndice de  $\mu$ ,  $\tilde{A}$ , muestra que  $\mu_{\tilde{A}}$  es la función de membresía del conjunto difuso  $A$ .

Un conjunto difuso se define como: "la función  $\mu$ , con dominio en  $X$  y rango  $[0, 1]$ , con el subíndice de  $\tilde{A}$ , donde  $\tilde{A}$  es llamado un (sub)conjunto difuso de  $X$  y  $\mu$  es llamada la función de membresía de  $\tilde{A}$ "<sup>73</sup>.

<sup>73</sup> TERANO, Toshiro; ASAI, Kiyoji and SUGENO Michio, Fuzzy systems theory and its applications, San Diego: Academic Press, 1992, pág. 21.

## CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

Debido a que un conjunto difuso es siempre definido como un subconjunto de un conjunto general llamado  $X$ , el prefijo "sub" frecuentemente se omite, y sólo es llamado como un conjunto difuso. A partir de la definición podemos ver que la función en el intervalo  $[0, 1]$  tiene una correspondencia uno a uno con el conjunto difuso. Esta función es una cuantificación de la ambigüedad del área  $\tilde{A}$ . Sin embargo, debe quedar claro a partir de la definición, que existe un número infinito de posibles conjuntos difusos; cualquier forma de la función de membresía es posible, de tal manera que los conjuntos difusos no siempre tienen correspondencia con las palabras.

Es importante distinguir entre los conjuntos difusos y los conjuntos estándar. Los conjuntos estándar son también llamados conjuntos precisos o no difusos; la palabra preciso indica que claramente están definidos los límites del conjunto. En un conjunto preciso un elemento simplemente pertenece o no al conjunto, por lo que tendríamos:

$$\begin{aligned} \chi_A(x) &= 1 && \text{si } x \text{ pertenece a } A \\ \chi_A(x) &= 0 && \text{si } x \text{ no pertenece a } A \end{aligned}$$

donde  $\chi$  es la función característica de  $A$ . Esto corresponde a la función de membresía  $\mu$  de  $\tilde{A}$  en conjuntos difusos. El grado es sólo de dos valores; si  $x$  está incluida en el conjunto  $A$  su valor es 1; sino lo está su valor es de 0. Por lo tanto, la función característica del conjunto preciso es aquella cuyo dominio lo constituye  $X$  y rango el conjunto de valores  $\{0, 1\}$ , y dicho rango es una parte del rango de valores de la función de membresía. El grado en un conjunto difuso puede tener cualquier valor entre 0 y 1, y este rango es lo que hace la diferencia con un conjunto preciso. Cada uno de los subconjuntos precisos de  $X$  puede ser mostrado para tener una correspondencia uno a uno con la función característica y debido a que las funciones de membresía son extensiones de las funciones características, los conjuntos difusos son extensiones de los conjuntos precisos. En la teoría difusa, los conjuntos estándar son vistos como casos excepcionales de los conjuntos difusos, por lo tanto, el conjunto difuso  $\tilde{A}$  es a veces reemplazado por un simple conjunto  $A$ .

### CONJUNTOS DIFUSOS.

Cualquier número difuso puede ser representado por un triángulo. Por ejemplo en el gráfico del  $\tilde{8}$ , los valores en este conjunto:  $\{7, 8, 9\}$ , tienen varios grados de membresía en el conjunto del 8 difuso. Por ejemplo, el 7 y el 9 tienen el menor grado de membresía, mientras que el 8 tiene el mayor grado de membresía. La punta de un número triangular tiene un valor de membresía de 1, y los números de la base tienen valores de membresía muy cercanos a 0 ó 0 definitivamente.

La función de membresía triangular es la función más frecuentemente usada y la más práctica, pero otras formas son también usadas. Incluso un conjunto difuso puede ser expresado por una ecuación cuadrática (involucrando

raíces cuadradas o números a la segunda potencia), los cuales producen una curva continua.

Como otros tipos de conjuntos, los conjuntos difusos pueden ser hechos para interactuar con los otros para producir un resultado útil.

En términos de la difusibilidad, la teoría clásica de conjuntos es llamada teoría precisa de conjuntos, ya que en él, el conjunto membresía esta limitado por 0 o 1 (pertenencia o no al conjunto).

El propósito básico de un conjunto es particularizar sus elementos de aquellos que están en su dominio o universo de estudio. La relación entre dos conjuntos tiene varias posibilidades. O ellos son compañeros que están unidos en una entidad mayor o su relación consiste en algunos elementos que tienen en común.

Los conjuntos unidos como compañeros (que no son mutuamente excluyentes) son llamados conjuntos disjuntos; para conjuntos de este tipo con un sólo elemento (también llamados conjuntos atómicos), se usa el símbolo  $\vee$ ; en el caso de una unión para conjuntos de multielementos, y se usa el símbolo  $\cup$ . La disyunción o unión de dos conjuntos significa que cualquiera de los elementos pertenecientes a cualquiera de los conjuntos esta incluido en la unión. En el mundo difuso, esta relación expresa el máximo valor de los dos conjuntos difusos involucrados.

Unión de los conjuntos difusos  $\tilde{A}$  y  $\tilde{B}$ :

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x)$$

donde  $\vee$  = valor máximo.

El conjunto de elementos en común es llamado conjunción para conjuntos de un elemento, y se usa el símbolo  $\wedge$ ; o la intersección  $\cap$  para conjuntos con multielementos. Una conjunción o intersección hace uso de sólo aquellos aspectos del conjunto A y del B que aparecen en ambos conjuntos a la vez. En el mundo difuso, esta relación expresa el valor mínimo para los dos conjuntos difusos involucrados.

Intersección de los conjuntos difusos  $\tilde{A}$  y  $\tilde{B}$ :

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x)$$

donde  $\wedge$  = valor mínimo

La parte del dominio que no esta en un conjunto puede inclusive ser representado. Es lo que llamamos complemento de  $\tilde{A}$ , conocido como  $\text{no-}\tilde{A}$ , y puede ser escrito como  $\tilde{A}'$ ,  $\tilde{A}^c$ ,  $\text{No-}\tilde{A}$ ,  $\sim \tilde{A}$ ,  $\langle \rangle \tilde{A}$ .

Complemento de un conjunto difuso  $\tilde{A}$  es  $\tilde{A}'$ :

$$\mu_{\tilde{A}} = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x)$$

Algunos análisis teóricos indican que unos operadores trabajan mejor que otros en diferentes situaciones, sin embargo, las justificaciones para el empleo de cada operador varia desde argumentaciones intuitivas hasta justificaciones empíricas o axiomáticas.

La teoría de conjuntos esta íntimamente vinculada a una operación en lógica - el uso de matemáticas para encontrar la verdad o la exactitud - llamada implicación. La implicación es una oración en la que si la primera de sus dos expresiones es verdadera, entonces la segunda también es verdadera. Por ejemplo, dadas las expresiones A y B, si A es verdadera, entonces B también es verdadera. En otras palabras,

A implica B

Esto también puede ser reescrito como

$$A \rightarrow B, A \subset B \text{ ó } A > B$$

La implicación puede tener dos posibles valores: SI y NO. Se toma el valor de SI cuando  $A > B$ , y el valor de NO cuando  $B > A$ . Además de todas estas operaciones, también es posible calcular la diferencia de conjuntos difusos y el complemento de un conjunto difuso. En el caso de la diferencia  $A - B$  ó  $A \setminus B$ , ésta es el conjunto A menos la porción de él que esta también en el conjunto B.

De esta manera tenemos que los conjuntos difusos son la forma más general de aproximación de conjuntos, y los conjuntos precisos son casos especiales de esa generalidad.

### EJEMPLOS DE OPERACIONES CON CONJUNTOS.

Las operaciones de unión (disyunción), intersección (conjunción) e implicación, pueden ser ejemplificadas con los siguientes datos para dos conjuntos difusos de tres elementos cada uno de ellos:

	X1	X2	X3
Conjunto difuso $\tilde{A}$ : $\mu_{\tilde{A}}(X_i) =$	0.8	0.2	0.7
Conjunto difuso $\tilde{B}$ : $\mu_{\tilde{B}}(X_i) =$	1.0	0.3	0.4
La unión $\tilde{A} \cup \tilde{B}$ o valor máximo es:	1.0	0.3	0.7
La intersección $\tilde{A} \cap \tilde{B}$ o valor mínimo es:	0.8	0.2	0.4
La aplicación $\tilde{A} \rightarrow \tilde{B}$ , $\tilde{A} \subset \tilde{B}$ o $\tilde{A} > \tilde{B}$ es:	No	No	Si
La diferencia $\tilde{A} - \tilde{B}$ es:	0.0	0.0	0.3

El conjunto operacional del complemento se comporta diferente en los conjuntos difusos que en los conjuntos precisos. En el mundo preciso, la unión

$$A \cup A'$$

por definición incluye el dominio entero (Ley de la exclusión media), mientras que la intercepción precisa

$$A \cap A'$$

es imposible (da como resultado el conjunto vacío), debido a que los dos conjuntos son mutuamente excluyentes o exclusivos (Ley de la contradicción). En el mundo preciso de "todo o nada",  $A \cup A'$  es "todo", y  $A \cap A'$  es "nada". Pero el mundo difuso presenta otras posibilidades.

Para el complemento del conjunto difuso  $\tilde{A}$  ( $\tilde{A}'$ ) tendríamos, por ejemplo:

	X1	X2	X3
Conjunto difuso $\tilde{A}$	0.8	0.2	0.7
Conjunto difuso $\tilde{A}'$	0.2	0.8	0.3

Ahora, al realizar la unión (máximo) de esos conjuntos difusos se encuentra lo siguiente:

	X1	X2	X3
$\tilde{A} \cup \tilde{A}' =$	0.8	0.8	0.7

Más que ser el dominio entero, como sucede con los conjuntos precisos, la unión difusa es el máximo de cada par de elementos.

Cuando se realiza la intersección (mínimo) se tiene que:

	X1	X2	X3
$\tilde{A} \cap \tilde{A}' =$	0.2	0.2	0.3

Esta dramática diferencia entre operaciones precisas y difusas se hace aún más vivida en la siguiente sección, cuando veamos las reglas de la lógica difusa, pero tan solo para completar esta sección, se presentarán algunas relaciones y leyes para los conjuntos difusos:

Relación de equivalencia:

$$\tilde{A} = \tilde{B} \text{ si y sólo si } \mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x);$$

para toda x que pertenece a X

Relación de inclusión:

$$\tilde{A}' \subset \tilde{B}' \text{ si y sólo si } \mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_{\tilde{B}}(x);$$

para toda x que pertenece a X

Ley de la doble negación:

$$\tilde{\tilde{A}} = A$$

Leyes de Morgan:

$$(\tilde{A} \cup \tilde{B})' = \tilde{A}' \cap \tilde{B}'$$

$$(\tilde{A} \cap \tilde{B})' = \tilde{A}' \cup \tilde{B}'$$

### CUANTIFICACION DE AMBIGÜEDAD.

La mayoría de los lenguajes naturales contienen ambigüedad y multiplicidad de significados. Por ejemplo, si decimos "una persona alta", no determinamos claramente quien es alto o quien no lo es. Las palabras son usualmente cualitativas, pero pueden ser percibidas en conexión con una cierta cantidad de altura.

Veamos la ambigüedad del significado de "alto" en términos de la expresión de cantidad. Con un rango de 140 cm. a 200 cm., el grado para el cual la estatura  $x$  (en centímetros) puede ser llamada "alto" es  $\mu$  (Mu) o la función de membresía, de tal manera que hacemos que la estatura  $x$  corresponda a un grado  $\mu$  ( $0 \leq \mu \leq 1$ ). Si el eje horizontal es  $x$  y el eje vertical es  $\mu$ , la gráfica sería dibujada como sigue:

### Cuantificación del significado de "Alto"

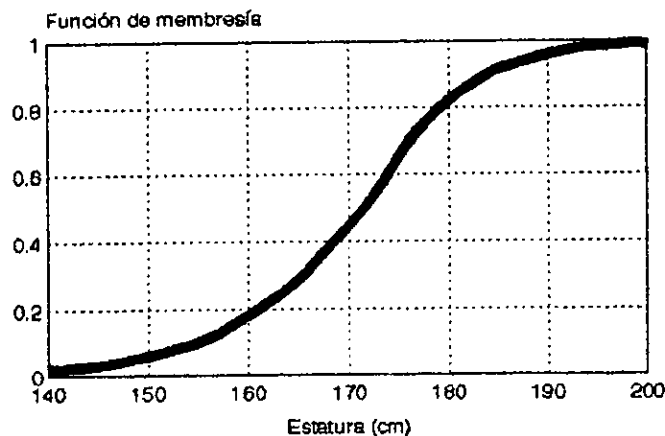


Figura 8.

donde el grado de ambigüedad (o función de membresía) es el grado para el cual la estatura de  $X$  en centímetros puede ser llamado alto.

Esta gráfica expresa la ambigüedad de "alto" en términos de cantidad. Como podemos apreciar en la gráfica, el eje horizontal es la cuantificación de la palabra, la expresión de altura en un espacio de una dimensión, y el eje vertical es

la cuantificación del grado de ambigüedad, también conocido como función de membresía.

El siguiente término graficado es la estatura (en centímetros), pero ahora considerándola como estatura baja, promedio o alta:

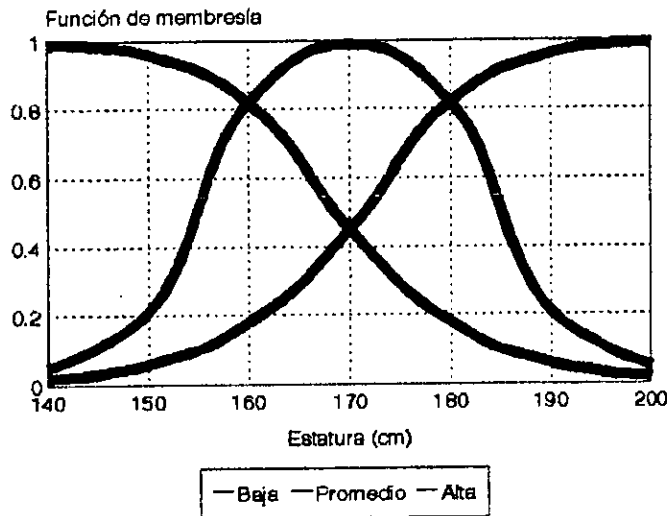


Figura 9.

Como podemos observar, el eje horizontal es la estatura y en todos los casos el intervalo es el mismo. A este intervalo se le llama conjunto soporte del conjunto difuso o simplemente el soporte; mientras que en el eje vertical encontramos la función de membresía, si por ejemplo pensamos sobre la función de membresía de la estatura promedio, tendríamos que aumenta hacia la mitad, es decir, que es creciente conforme se acerca a los 170 cm, pero ocurre lo contrario pasado este punto.

Esta clase de representación de una o más palabras es llamada cuantificación del significado y la gráfica es a veces llamada el significado cuantificado. El significado de la palabra es cuantificado sobre un rango específico; y en el caso de la altura (baja, promedio ó alta) el rango va de 140 cm. a 200 cm.

#### UN CONJUNTO "DIFUSO", OTRO EJEMPLO.

¿Cómo se puede modelar adecuadamente la incertidumbre lingüística? Si un doctor no tiene un límite preciso en mente cuando evalúa si un paciente sufre de "fiebre alta", ¿cómo hace él el trabajo? Investigaciones psicolingüísticas han mostrado que un doctor compararía el paciente con dos "prototipos". De un lado, el "perfecto" paciente con fiebre alta: pálido, sudoroso, tembloroso. Por otra parte, el "perfecto" paciente de temperatura balanceada quien no muestra ninguno de los signos de fiebre. Comparado con estos dos extremos, un doctor evalúa donde su paciente clasifica mejor de entre los dos.

¿Cómo puede esto ser modelado matemáticamente? Considerando la teoría de conjuntos, donde usted primero definiría el conjunto de todos los

pacientes con fiebre alta. Entonces definiría una función matemática que indicara a cada paciente si él es miembro de este conjunto o no. En matemáticas convencionales, esta función indicadora únicamente tiene que identificar cada paciente como miembro o no del conjunto. La siguiente gráfica da un ejemplo del conjunto de "pacientes con fiebre alta" (dentro del círculo), donde la función indicadora define "fiebre alta" como la temperatura mayor o igual a 38.9°C.

## Conjunto convencional de "pacientes con fiebre alta"

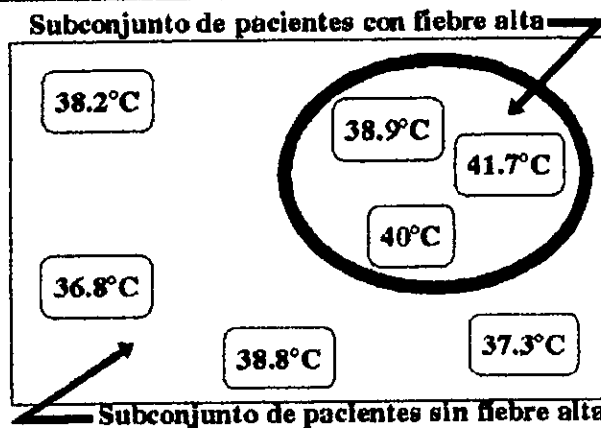


Figura 10: En la teoría de conjuntos convencional, el conjunto de "pacientes con fiebre alta" esta definido exactamente a partir de 38.9°C.

Como fue apuntado antes, en lugar de usar esta clase de definición rígida, un doctor evalúa el grado en el cual su paciente iguala el prototipo de un paciente con fiebre alta. La siguiente gráfica da un ejemplo de un conjunto donde ciertos elementos pueden también ser "más o menos" miembros. Las "sombras en gris" indican el grado en el cual la temperatura del cuerpo pertenece al conjunto de "fiebre alta". Estas "sombras de gris", hace que el área del conjunto de pacientes con fiebre alta en la gráfica anterior, se vea "difuso" en la siguiente gráfica, produciendo así el nombre de "lógica difusa".



## Conjunto difuso de "pacientes con fiebre alta"

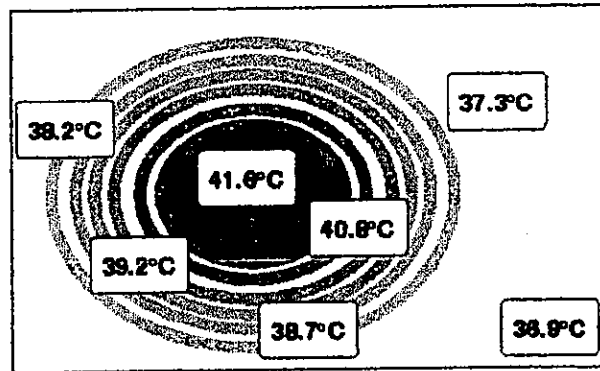


Figura 11.

En la gráfica anterior, cada temperatura corporal esta asociada con un cierto grado que iguala el prototipo para "fiebre alta". Este grado es llamado "grado de membresía",  $\mu(x)$ , del elemento  $x$  que pertenece a  $X$ , al conjunto de "fiebre alta" (FA). La temperatura del cuerpo es llamada una "variable base",  $x$ , con el universo en  $X$ . El rango de  $\mu$  esta variando desde 0 hasta 1, representando desde absolutamente ninguna membresía al conjunto hasta una completa membresía al conjunto, respectivamente.

Como una temperatura de  $34.4^{\circ}\text{C}$  no tendría membresía para nada (su valor sería 0), una temperatura de  $43.3^{\circ}\text{C}$  tendría completa membresía al conjunto difuso de fiebre alta (su valor sería 1). Las temperaturas intermedias son miembros del conjunto sólo en un cierto grado. El siguiente ejemplo muestra una posible clasificación:

$\mu_{FA}(34.4^{\circ}\text{C}) = 0$	$\mu_{FA}(37.7^{\circ}\text{C}) = 0.10$	$\mu_{FA}(41.1^{\circ}\text{C}) = 0.9$
$\mu_{FA}(35.5^{\circ}\text{C}) = 0$	$\mu_{FA}(38.8^{\circ}\text{C}) = 0.35$	$\mu_{FA}(42.2^{\circ}\text{C}) = 1.0$
$\mu_{FA}(36.6^{\circ}\text{C}) = 0$	$\mu_{FA}(40.0^{\circ}\text{C}) = 0.65$	$\mu_{FA}(43.3^{\circ}\text{C}) = 1.0$

El grado de membresía puede también ser representado por una función continua. la siguiente gráfica dibuja tal tipo de función de membresía. Note que una temperatura de  $38.9^{\circ}\text{C}$  y una temperatura de  $38.8^{\circ}\text{C}$  son evaluadas diferentemente, pero sólo ligeramente y no como un limite bien definido.

## Conjunto difuso "fiebre alta"

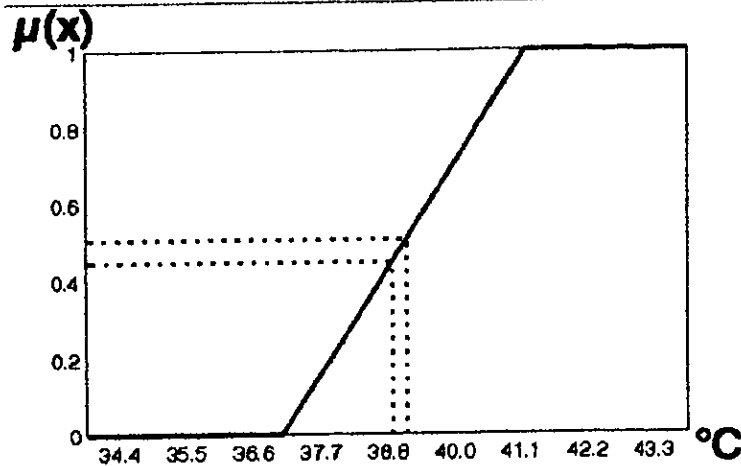


Figura 12: El grado de membresía  $\mu_{FA}(x)$ , en el cual la temperatura  $x$  es considerada que pertenece al conjunto difuso de "fiebre alta" (FA), puede ser expresado como una función continua

Note que los conjuntos difusos son una verdadera generalización de los conjuntos convencionales. Los casos  $\mu = 0$  y  $\mu = 1$  para la función del indicador convencional son solo casos especiales del conjunto difuso. El uso de conjuntos difusos definidos por funciones de membresía en expresiones lógicas es llamado "lógica difusa". Por lo tanto, el grado de membresía en un conjunto viene a ser el grado de verdad de una declaración. Por ejemplo, la expresión "el paciente tiene una fiebre alta" podría ser verdad en un grado de 0.65 para una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$ .

El bloque de construcción primario de cualquier sistema de lógica difusa es el llamado variable lingüística. En una variable lingüística, múltiples categorías subjetivas son combinadas para describir el mismo contexto. En el caso de fiebre, no sólo la fiebre alta sino la temperatura elevada, la temperatura normal y la baja temperatura existen. Estos son llamadas los "términos lingüísticos" y representan los valores posibles de una variable lingüística: "La temperatura del cuerpo". La siguiente gráfica muestra la función de membresía para todos los términos de esta variable lingüística gratificados juntos.

## Variable lingüística "temperatura del cuerpo"

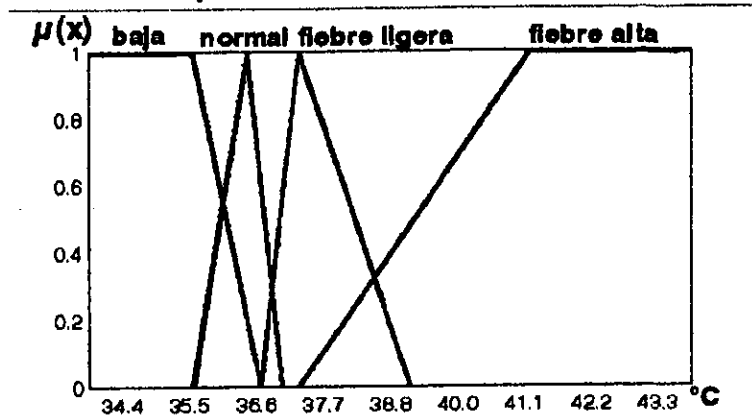


Figura 13: La variable lingüística "Temperatura del cuerpo" traduce los valores de la temperatura real a valores lingüísticos

Esta variable lingüística ahora permite la traducción de una medida de la temperatura del cuerpo, dados en grados centígrados (o grados celcius), a su descripción lingüística. Por ejemplo, una temperatura corporal de 37.7°C sería evaluada como "una temperatura significativamente elevada" o "solo una ligera fiebre alta", naturalmente en términos difusos.

### III.4. LOGICA DIFUSA.

#### INTRODUCCION A LA LOGICA.

El concepto o definición de lógica puede ser muy amplio o muy variado, dependiendo del enfoque o del área donde se le aplique. Para ejemplificar esto, se presentan las siguientes definiciones de lógica, tomadas de diversas fuentes:

**Lógica:** Ciencia que estudia la estructura del conocimiento intelectual, es decir, que, prescindiendo de su contenido, se ocupa únicamente de su forma. Con frecuencia se define como el estudio de "las formas del conocimiento en general y del conocimiento científico en particular", mostrando así la especial atención que se dedica a las estructuras del conocimiento científico, a causa del lugar preponderante que éste ocupa en la consideración de la realidad por parte del hombre, consideración que le permite, en último término, actuar sobre ella<sup>74</sup>.

**Lógica.-** Manera de razonar o discurrir. Encadenamiento necesario o razonable de las cosas, hechos o ideas. Ciencia que estudia sistemáticamente las condiciones de validez formal de una inferencia o de una argumentación cualquiera<sup>75</sup>.

La lógica es una ciencia y su objeto de estudio lo constituyen las formas, estructuras o esquemas del pensamiento. Por su parte, la lógica proposicional es la parte de la lógica que estudia las formas en que se relacionan unas proposiciones con otras y, sobre todo, la relación que se da entre las proposiciones que componen un razonamiento. Las proposiciones son pensamientos en los que se afirma algo y que se expresan, por ello, mediante enunciados u oraciones declarativas. Sólo de las oraciones declarativas puede decirse que transmiten una proposición que, por ser una afirmación, es verdadera o falsa y pueden ser de dos tipos; simples (elementales) o compuestas (moleculares)<sup>76</sup>.

La lógica es la ciencia de las formas del pensamiento estudiadas desde el punto de vista de su estructura, la ciencia de las leyes que deben observarse para obtener un conocimiento inferido; la lógica estudia también los procedimientos lógicos generales utilizados para el conocimiento de la realidad<sup>77</sup>.

---

<sup>74</sup> Enciclopedia Salvat Diccionario, México: Salvat, 1984. tomo 8, pág. 2034.

<sup>75</sup> Diccionario Enciclopédico Vox Lexis 22, Barcelona: Circulo de Lectores, 1976, volumen 12, pág. 3414.

<sup>76</sup> ARNAZ, José Antonio, Iniciación a la lógica simbólica, México: Trillas, 1981, pág. 13.

<sup>77</sup> GORSKI, D. P. y TAVANTS, P. V., Lógica, México: Grijalbo, 1968, pp. 22-23.

## CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

Como podemos apreciar, el objeto de la lógica en cuanto ciencia es el pensamiento humano. Pero la lógica formal no estudia todos los aspectos y leyes del pensamiento. El pensamiento es también objeto de estudio de otras ciencias, como son el materialismo dialéctico, la psicología, la teoría del conocimiento y la metafísica.

La lógica estudia nuestros pensamientos (conceptos, juicios, raciocinios) solamente desde el punto de vista de su estructura, es decir, desde el punto de vista de su forma lógica. Descubre las leyes y reglas cuya observancia es indispensable para alcanzar la verdad por medio de un conocimiento inferido.

Como quiera que la lógica estudia los pensamientos del hombre tan sólo desde el punto de vista de su forma lógica, se la denomina lógica formal.

### ESQUEMA DE LA EVOLUCION HISTORICA DE LA LOGICA<sup>78</sup>.

#### LOGICA TRADICIONAL.

El interés por esclarecer científicamente las formas lógicas del pensamiento se manifiesta desde que nace la ciencia. Tradiciones lógicas se establecen, independientes las unas de las otras, en Grecia, en China y en la India. En Grecia, los problemas lógicos fueron planteados por primera vez en los siglos V y IV antes de nuestra era. En China y en la India, un poco más tarde. Como quiera que en el proceso del pensamiento, concepto y palabra, juicio y oración, lógica y gramática guardan muy estrechos vínculos y se condicionan mutuamente, en los primeros tiempos del desarrollo de la lógica como ciencia, sus problemas y los de la gramática se hallan entrelazados, constituyendo una esfera indiferenciada de conocimientos.

La lógica surge y se desarrolla en el crisol de la filosofía y es considerada como parte de la teoría del conocimiento. Es, pues, muy natural que haya sido siempre palenque de enconadas luchas entre el materialismo y el idealismo

Ya los pensadores de la China antigua se ocupaban de los problemas lógicos existentes entre los nombres y las cosas que éstos significaban. En las escuelas de los antiguos filósofos chinos se analizaban los métodos de enseñanza, los de demostración y de inferencia de proposiciones, y se discutían también los problemas de la relación entre el saber empírico y el especulativo.

El progreso del sistema de la lógica en la filosofía india corresponde a los siglos IV y V de nuestra era. En el siglo VII, Darmakirti escribió un breve manual de lógica (Una gota de lógica), al que Dermottara, en el siglo IX, agregó sus comentarios. La lógica india contenía una teoría del raciocinio bastante desarrollada.

Fue Demócrito (que vivió hacia los años 460-370 antes de nuestra era), en la antigua Grecia, quien inició las investigaciones científicas en el terreno de la lógica. Fundador de la teoría atomística, que se basa en una concepción de la materia como formada por partículas muy pequeñas e indivisibles, llamadas átomos, fue él quien estudió los problemas de la inducción, extendiéndose, sobre todo, en la analogía y en la hipótesis, así como en la definición de los conceptos.

<sup>78</sup> GORSKI, D. P. y TAVANTS, P. V., Lógica, México: Grijalbo, 1968, pp. 31-39.

Partía, para ello, del estudio experimental de la naturaleza. Por primera vez en la historia de la lógica, Demócrito trato de formular la ley de la razón suficiente, considerándola como principio universal, aplicable no sólo y no tanto a nuestro pensamiento cuanto al propio mundo material: "Nada hay que surja sin causa, todas las cosas surgen en virtud de alguna razón y de la necesidad".

Sócrates (hacia los años de 469-399 antes de nuestra era) y Platón (hacia 427-347 antes de nuestra era) se ocuparon también de los problemas de la lógica. En numerosos diálogos de Platón se estudian estos problemas en relación con la teoría metafísica e idealista del filósofo griego acerca de las ideas. En Platón hallamos un intento de clasificación de las categorías (de los géneros superiores de ideas) así como un ensayo de formulación de algunas leyes lógicas. En sus teorías lógicas, Sócrates y Platón se manifestaron en contra de la corriente materialista de la filosofía y de la lógica, defendida por Demócrito y por los filósofos materialistas.

El pensador que, por primera vez, estudió y expuso en la antigüedad los problemas de la lógica en toda su amplitud y profundidad, fue Aristóteles (384-322 antes de nuestra era), cuyos trabajos son considerados, con plena razón, como el punto culminante de la filosofía antigua. Basándose en la ciencia de su época y después de haber examinado y reunido los dispersos conocimientos acerca de las formas del pensamiento, acumulados antes de él, Aristóteles estudió en sus obras de manera profunda y completa los problemas esenciales de la lógica. Los resultados por él obtenidos son los que siempre han servido de base a nuestra ciencia.

Los escritos de Aristóteles sobre lógica fueron agrupados por sus comentadores bajo la denominación general de: Organon, o instrumento (del conocimiento). En el Organon aristotélico entran las Categorías, Sobre la Interpretación, los Primeros Analíticos, los Segundos Analíticos, los Tópicos y la Refutación de los Sofismas. Se encuentran, además, elementos de sus teorías lógicas en otras obras de Aristóteles: en la Metafísica, en la Física, en los tres libros Sobre el Alma y en el Tratado de Retórica.

En las Categorías se hallan expuestas las bases de la teoría del concepto; en la obra Sobre la Interpretación se expone la teoría del juicio; en los Primeros Analíticos y los Segundos Analíticos se estudia detalladamente la teoría del raciocinio y de la demostración; en los Tópicos se describen las categorías y procedimientos lógicos fundamentales utilizados por el pensamiento razonador. En la obra Refutación de los Sofismas se expone el problema relativo a las fuentes de los raciocinios y demostraciones falsas y a los medios que permiten descubrir los vicios lógicos. Importantes principios de la lógica de Aristóteles figuran en su principal obra filosófica que recibió más tarde el nombre de Metafísica. Es precisamente en ella donde Aristóteles examina las principales leyes lógicas del pensamiento por él descubiertas; la ley de la identidad, la ley de la contradicción y la ley de la exclusión del tercero.

Por primera vez en la historia de la filosofía antigua (si se prescinde de Demócrito, cuyas obras lógicas no han llegado a nosotros), Aristóteles enfoca el pensamiento del hombre como objeto de estudio especial y detallado. Para Aristóteles la lógica es la ciencia de la demostración, de los medios para la

### CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

fundamentación de la verdad. Su lógica se basa en la rigurosa diferenciación entre lo verdadero y lo falso, conceptos que define con un criterio materialista.

La verdad, según Aristóteles, es la adecuación del pensamiento a la realidad; por el contrario, el error surge cuando la realidad se refleja en el pensamiento deformada, alterada. Desde el punto de vista de Aristóteles, el nexo de los pensamientos en el proceso de nuestros razonamientos y de la demostración no es arbitrario, sino que está determinado por los vínculos existentes entre las propias cosas. De ahí que las leyes y reglas de la Lógica tengan una fundamentación objetiva en las relaciones del propio ser. Aristóteles descubrió leyes necesarias del pensamiento independientes de la voluntad y del deseo de los hombres. Leyes cuya observancia es obligada en el proceso de la demostración y de la fundamentación de la verdad. Aristóteles, como creador de la lógica, proponían defender los principios del conocimiento científico contra la sofística de diversas escuelas socráticas de su tiempo.

En la antigüedad consagraron grandes esfuerzos a la investigación lógica los estoicos, quienes aproximaban la lógica a la retórica y a la gramática. Estos pensadores se ocuparon sobre todo de desarrollar la teoría de los raciocinios condicionales y disyuntivos. Tampoco Epicuro (que vivió hacia los años 341-270 antes de nuestra era), eminente materialista de la antigüedad, pudo sustraerse a los problemas de la lógica. En contraposición a los idealistas, Epicuro y los epicúreos se dedicaron al estudio de la lógica del conocimiento experimental.

En resumen podemos decir que la primera elaboración sistemática de esta disciplina se debe al Organon, de Aristóteles, obra que durante mucho tiempo se ha considerado definitiva en la materia y que todavía hoy, con ligeros añadidos, mantiene su vigencia en ciertos círculos neoescolásticos. Este tipo de lógica se conoce como lógica tradicional. Sus capítulos fundamentales son el estudio del concepto, el juicio y el razonamiento, especialmente el deductivo.

Así podemos apreciar que la lógica la iniciaron los sofistas y su primer tratadista fue Aristóteles con la invención del silogismo (que se prolonga con las teorías referentes a la demostración, la definición y la inducción) y con la introducción de variables o de símbolos que retienen sólo el esquema formal de una proposición eliminando su contenido concreto.

#### LOGICA POSTARISTOTELICA.

En la Edad Media, la lucha entre el materialismo y el idealismo en el campo de la lógica se libró, sobre todo, en torno al problema de la naturaleza de los conceptos universales. Los denominados realistas - Anselmo de Canterbury (1033-1109), Tomás de Aquino (1225-1274) -, continuando la línea idealista de Platón, afirmaban que los conceptos universales existen realmente al margen e independientemente de las cosas singulares, constituyendo como la esencia sobrenatural de éstas últimas. Los nominalistas - Roscelino (hacia 1050-1112), Duns Escoto (hacia 1265-1308), Guillermo de Occam (hacia 1300-1350), Buridán (siglo XIV) y otros -, por el contrario, consideraban que tenían existencia real únicamente los cuerpos singulares de la naturaleza y reducían a meros nombres el sentido de los conceptos universales. Semejante modo de concebir la naturaleza de los conceptos universales es, evidentemente, erróneo; pero se halla más cerca de la verdad que las teorías místicas y teológicas de los realistas.

Los nominalistas, según palabra de Marx, representaban la tendencia materialista en la filosofía medieval y llevaron a cabo una obra hasta cierto punto positiva en la lucha contra el imperio absoluto de la escolástica idealista, con lo cual prepararon el terreno para el renacimiento del materialismo en los siglos subsiguientes.

Fueron de suma importancia para la elaboración de las bases materialistas de la lógica las obras de los grandes pensadores progresivos del siglo XVII, sobre todo de Francisco Bacon (1561-1626), fundador del materialismo y de las ciencias experimentales de la época moderna, quien expuso en su famosísimo *Novum Organum* las bases de la lógica inductiva.

Bacon se oponía a la lógica de Aristóteles deformada por la escolástica medieval por haber dejado de ser, en la interpretación de los escolásticos, instrumento de cognición. Hay que añadir a esto que el progreso de las ciencias experimentales y de la técnica de la experimentación científica, como consecuencia del desarrollo del modo de producción capitalista en el seno del propio feudalismo, exigía métodos de conocimiento científico más perfeccionados. Fue un gran mérito de Bacon el haber investigado los problemas de la inducción científica. El fin de la inducción científica, desde el punto de vista de Bacon, estriba en descubrir las relaciones de causalidad que existen entre los fenómenos de la realidad circundante. Bacon elaboró una teoría sobre los métodos que permiten determinar la relación de causalidad existentes entre los fenómenos, a saber: el método de la semejanza, el método de la diferencia y el método conjunto de la semejanza y de la diferencia, así como el método de los cambios concomitantes (simultáneos). En el siglo XIX, Herschel, Whewell y John Stuart Mill continuaron investigando los problemas de la inducción científica.

Contra la escolástica en general y contra la lógica escolástica medieval en particular, sostuvo una denotada lucha el gran filósofo francés René Descartes (1596-1650). En su pugna contra la lógica de Aristóteles desfigurada por los escolásticos Descartes formuló cuatro reglas a las que es preciso atenerse en toda investigación científica. En 1637 aparece en los Países Bajos el *Discurso del Método*; donde Descartes presenta, por medio de la historia de su vida, el desarrollo de su pensamiento, basado en cuatro reglas fundamentales: la evidencia, el análisis, la síntesis y la enumeración. El *Discurso del Método* señaló el nacimiento del racionalismo y contribuyó decisivamente al desarrollo del pensamiento científico moderno. El *Discurso del Método* establece que son cuatro las reglas que se precisan seguir en la captura de la verdad<sup>79</sup>:

1. Regla de la evidencia.- No aceptar nunca como verdadero lo que con toda evidencia no reconociese como tal; es decir, se evitará cuidadosamente la precipitación y los prejuicios, no dando cabida en los juicios sino a aquellos que se presenten al espíritu en forma tan clara y distinta que no sea admisible la más mínima duda. (Principio de la evidencia: No admitir como verdadero sino lo evidente).

---

<sup>79</sup> DESCARTES, René, Discurso del método, México: Porrúa, 1984, pp. 3-5.



### CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

2. Regla del análisis.- Dividir cada una de las dificultades que hallase a mi paso en tantas partes como fuere posible y requiera su más fácil solución. (Principio del análisis: Dividir cada problema en tantas partes como sea preciso para resolverlos).
3. Regla de la síntesis.- Ordenar los conocimientos, empezando por los más sencillos y fáciles, para elevarme poco a poco y como por grados hasta los más complejos, estableciendo también cierto orden en los que naturalmente no lo tienen. (Principio de la síntesis: Ordenar los pensamientos de lo más simple a lo más complejo).
4. Regla de la prueba (o enumeración).- Hacer siempre enumeraciones tan completas y revistas tan generales que se pueda tener la seguridad de no haber omitido nada. La enumeración verifica el análisis, la revisión la síntesis. (Principio de la enumeración: Practicar revisiones o recuentos para ver que nada se omita).

Como es posible apreciar, en ellas se señala que sólo puede admitirse como verdadero lo que se reconoce como evidente y está probado (demostrado); que es indispensable dividir, en el proceso de la investigación, lo complejo en cuantas partes sea posible; ascender de lo simple a lo complejo, de lo más evidente a lo menos evidente, e investigar el objeto en todos sus detalles y pormenores.

A pesar de que el método de Descartes se basa en una concepción mecanicista de la realidad y en una teoría racionalista del conocimiento, fue sumamente progresivo desde un punto de vista histórico, pues iba dirigido contra la escolástica, contra el acatamiento ciego de las autoridades, contra la supeditación de la ciencia a la fe.

Arnaud y Nicole, discípulos de Descartes, escribieron en 1662 una Lógica o arte de pensar ("Lógica de Port - Royal") con el propósito de depurar la lógica aristotélica de las deformaciones escolásticas.

El gran pensador alemán Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) estudió los problemas de la lógica en relación con las matemáticas y la demostración matemática. Leibniz aplica a la lógica en el método matemático e intenta dar a esa ciencia la estructura de un cálculo matemático ("característica universal"). Da, por primera vez, una fórmula precisa a la ley de la razón suficiente, que se formula así: para considerar que una proposición es completamente cierta, ha de ser demostrada, es decir, han de conocerse suficientes fundamentos en virtud de los cuales dicha proposición se tiene por verdadera; además de que inicia las investigaciones relativas a los principios sobre los que se asientan las teorías deductivas, descubre las propiedades analíticas de los juicios de relación (propiedades lógicas de las relaciones), con lo que amplía la teoría acerca de los medios de la inferencia deductiva, etc.

Las aportaciones estrictamente lógicas, es decir, formales, son escasas en las escuelas postaristotélicas y medievales, aunque en modo alguno despreciables. Los estoicos, por ejemplo, desarrollaron una importante lógica de enunciado (o sentencial), y, en un terreno distinto, Ramón Llull intentó por primera vez reducir el razonamiento a cálculo.

El Renacimiento aportó, movido por un interés metodológico, el estudio de esquemas inductivos.

La lógica postaristotélica se limitó durante siglos a sistematizar, comentar o completar la obra del maestro. A partir del siglo XIII, a través de los árabes, la obra de Aristóteles llegó a Occidente en su totalidad y dio lugar a los grandes tratadistas y comentaristas.

#### LOGICA MODERNA - PRIMER PERIODO.

Contra la lógica que partía de posiciones materialistas se levantó Manuel Kant (1724-1804). Este pensador infundió nueva vida a la teoría idealista de las ideas innatas, dándole una forma original, con lo que separó por completo las formas y leyes lógicas de su contenido, declarándolas "apriorísticas" (es decir, anteriores a la experiencia), normas absolutamente invariables con las que, según él, el entendimiento ha de concordar su actividad. Lo verdadero o falso, según Kant, no estriba en la adecuación o falta de adecuación de las ideas y los objetos a la realidad, sino en la concordancia de las representaciones entre sí. De esta suerte, Kant confería a la lógica un carácter eminentemente formalista.

Hegel (1770-1831), desde el punto de vista de la dialéctica idealista, critica detenidamente el formalismo kantiano, sin dejar al margen los problemas de la lógica, y se manifiesta rotundamente en contra del intento de proclamar las leyes de la lógica formal como método universal de conocimiento. Aunque Hegel no estimaba debidamente la importancia de la lógica formal, su crítica del formalismo y de la metafísica, así como su análisis de los problemas de la dialéctica del pensamiento y de la lógica dialéctica, encierran un valioso contenido racional, fecundo para el esclarecimiento de las leyes y formas del pensamiento. Hegel, sin embargo, no podía llegar a concebir una lógica dialéctica científica porque se apoyaba totalmente sobre posiciones idealistas.

La lógica dialéctica en su forma científica fue creada por Marx y Engels. Partieron para ello de toda la historia del conocimiento y del saber práctico, que generalizaron, así como de la crítica de la dialéctica idealista hegeliana. Vladímir Ilich Lenin definía así la lógica dialéctica: "La lógica es la teoría, no de las formas externas del pensamiento, sino de las leyes del desarrollo 'de todas las cosas materiales, naturales y espirituales', es decir, del desarrollo de todo el mundo de contenido concreto y de su conocimiento; o sea, el resultado, la suma, la conclusión de la historia del conocimiento del mundo".<sup>80</sup>

Al desarrollo de la lógica como ciencia contribuyó de modo importante la obra de los grandes materialistas rusos Lomonosov y Radíchev, así como la de los ideólogos demócratas revolucionarios del siglo XIX (Herzen, Bielinski, Chernishevski, Dobroliubov, Posariév, Shelgunov, etc.), la de los naturalistas (como Seshenov y Timiriázev, entre otros) y la de los lógicos (por ejemplo, Karinski), que lucharon todos ellos contra la concepción idealista de las leyes y de las formas del pensamiento, y defendieron el materialismo en la lógica.

Hasta las décadas 8a. y 9a. del siglo XIX, los sabios burgueses de Occidente no aportaron nada sustancial en el terreno de la lógica formal. Únicamente a finales de ese siglo y a comienzos del siglo XX se empieza a

<sup>80</sup> LENIN V. I., Cuadernos filosóficos, Moscú: Ed. Rusa, 1947, pág. 66.

### CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

trabajar sobre los problemas de la lógica general en relación con el nacimiento de una nueva disciplina: la lógica matemática (teoría de la demostración matemática).

En el siglo XIX dieron impulso a la investigación de los problemas de la lógica matemática autores como G. Boole, E. Schröder, G. Frege y P. S. Porietski, entre otros.

En el siglo XIX se produce un cambio de orientación que condujo a la lógica contemporánea, llamada indistintamente logística, lógica simbólica o lógica matemática. El primer nombre responde al deseo de establecer diferencias entre la nueva lógica y la tradicional; simbólica pone de relieve el hecho de que utilice un lenguaje artificial, constituido por símbolos que representan estructuras formales, y matemática expresa su estrecha relación con esta ciencia, ya que surgió de los avances de ella (especialmente del álgebra).

Con Bacon, Descartes y Leibniz, la lógica fue tomando un nuevo giro que llevaría, a mediados del siglo XIX, a la lógica moderna, (llamada también a veces logística, lógica matemática, lógica simbólica o lógica formal), como resultado de la asociación de la lógica con las matemáticas, cuyos progresos exigieron, a partir de mediados del siglo pasado, una sistematización de tipo axiomático, sobre todo en el campo del álgebra y de las geometrías no euclidianas (la geometría euclidiana había sido sistematizada axiomáticamente hacia siglos).

La lógica formal se ocupa, justamente, de determinar qué es lo que hace que un argumento sea "bueno" (es decir, correcto) o no lo sea. En nuestros días aparece como una ciencia rigurosa, con un lenguaje técnico elaborado y preciso, pues la utilización que hace del simbolismo le permite evitar las confusiones y ambigüedades del lenguaje natural. A la lógica formal, en su actual estado de desarrollo, se le conoce como lógica simbólica o lógica matemática, nombres que hacen alusión a su uso sistemático del simbolismo y al parecido de sus procedimientos con los de la matemática (de la cual, sin embargo, no es una rama o disciplina).

Conviene aclarar que la lógica simbólica no se encuentra en oposición con la llamada lógica formal tradicional, que iniciada por Aristóteles (siglo IV antes de nuestra era), se continúa hasta mediados del siglo pasado. Antes bien, la lógica simbólica abarca, en sus explicaciones, todos los aspectos que la lógica formal tradicional desarrolló antes, además de algunos otros que permanecían latentes o poco desarrollados. La obra de Boole (1815-1864) y Frege (1848-1925), dos de los más importantes iniciadores de esta lógica moderna, presupone a toda la lógica formal anterior.

Los primeros intentos de la lógica moderna se sitúan en 1847 con la aparición de la obra de Boole: Análisis matemático de la lógica, que se caracteriza por la aplicación de los métodos matemáticos a la lógica. Boole construyó, mediante símbolos y operaciones definidas a partir de los mismos, un cálculo algebraico puramente formal, posteriormente interpretado, primero como álgebra de clases (formalización de la lógica de términos) y después como formalización de la lógica proposicional. Pierce (1839-1914) desarrolló la lógica de relaciones.

LOGICA MODERNA - SEGUNDO PERIODO: LOGICA CONTEMPORANEA.

Los capítulos de la lógica contemporánea no se ajustan a los de la lógica clásica: falta en ella la consideración del concepto; se estudian las conexiones entre los enunciados, que es lo que se llama lógica de enunciados o sentencial; la estructura de dichos enunciados, que constituye la lógica proposicional, en la cual se introducen símbolos cuantificadores, lo cual hace que se la conozca como lógica cuantificacional; al añadir a la anterior la consideración de la extensión, da lugar a la lógica de clases; el estudio de las relaciones entre los elementos de la proposición es el objeto de la lógica de relaciones. El estudio de la inducción es otro importante capítulo. Todo ello se realiza ajustándose al ideal de cálculo. El punto de partida del estudio lógico es siempre un análisis del lenguaje en el cual se hallan contenidos los conocimientos. Ahora bien, la lógica es, a su vez, como todo conocimiento, un nuevo lenguaje, cuyo estudio corresponde a la metalógica. En ciertos contextos filosóficos reciben el nombre de lógica investigaciones que no se ajustan a la definición dada. Por su especial importancia citamos:

- 1) La lógica trascendental kantiana, que es una consideración de los conocimientos que "determina el origen, extensión y valor objetivo de los mismos". Se trata, por lo tanto, de una consideración epistemológica;
- 2) La lógica dialéctica, que es una lógica de contenido, es decir, el estudio de las formas de lo real que se reflejan en el pensamiento; originada en Hegel, es en él una auténtica metafísica. El materialismo dialéctico utiliza este tipo de lógica, aunque puede afirmarse que la realidad que refleja ha perdido las características metafísicas ideales que tiene en la obra hegeliana.

Gottlob Frege (1848-1925) abre el segundo período de la lógica moderna al intentar una fundamentación de las matemáticas, al tiempo que hacía prevalecer uno de los aspectos característicos de la lógica matemática: ser un procedimiento deductivo riguroso capaz de someter a crítica las propias demostraciones matemáticas. Con ello, Frege abrió una serie de nuevas perspectivas, como la cuantificación de la lógica de términos, la distinción entre variable y constante, el concepto de función lógica, la distinción entre ley y regla, así como consideraciones de carácter metalógico. La obra de Frege, importantísima en muchos aspectos, presentaba el inconveniente de utilizar un simbolismo geométrico de difícil comprensión. Giuseppe Peano (1858-1932) creó un simbolismo preciso (que a través de Russell ha sido adoptado por un importante sector de lógicos contemporáneos) y dio una sistematización del cálculo proposicional más satisfactorio que las anteriores.

La obra: *principia mathematica* (1910-1913) de Russell y Whitehead representa la recapitulación y síntesis más importante y original de las teorías lógicas contemporáneas, especialmente las de Frege y Peano; en ella se recogen tanto los aspectos más teóricos sobre la naturaleza de la lógica, de las matemáticas y de sus relaciones mutuas, como las más propiamente técnicas del

### CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

cálculo lógico, sobre todo en el orden formal, con la lógica proposicional y la de términos, que abarca a su vez la de clases y la de predicados.

La obra de Russell y Whitehead sólo ha sido superada en ciertos aspectos por la de Hilbert y Bernays: Fundamento de las matemáticas (1934-1939). Paralelamente, a partir de 1920 se produjeron otros descubrimientos importantes como las lógicas polivalentes con los polacos Lukasiewicz, Post y Tarski, la sistematización de la lógica modal (Lewis), varias notaciones lógicas (la más usada, además de la de Peano y Russell, es la polaca o de Lukasiewicz).

La lógica contemporánea más reciente ha evolucionado en dos tendencias principales: una orientada a la formalización de una disciplina matemática fundamental (Godel, Tarski) y otra, en sentido más analítico - filosófico, que tiende a construir la lógica como una rama de la semiótica o teoría general de los signos, cuyo aspecto más importante es la teoría del lenguaje.

Las principales características de la lógica postrusselliana son, en general, el grado aún mayor de la formalización, la multiplicación de sistemas no clásicos (polivalentes, modales, combinatorios) y la importancia concedida a la metalógica.

El desarrollo de las matemáticas llevó al estudio de los problemas de la lógica matemática. En contraposición a la geometría de Euclides, que es una geometría parabólica, aparecieron las geometrías no euclidianas (como la de Gauss, Bolyai y Lobachevski, que pertenecen a la geometría hiperbólica; o la de Riemann, que pertenece a la geometría elíptica), con lo que se descubrieron las paradojas de la teoría de los conjuntos y surgió el problema de si era lícito el empleo de determinados recursos lógicos en el proceso de la demostración matemática. El desarrollo posterior de la lógica matemática ha permitido resolver, gracias a sus medios, problemas matemáticos especiales, antes insolubles. También en el campo de la técnica halla la lógica matemática amplia aplicación (por ejemplo, en la construcción de esquemas de los relés de contacto, de las máquinas de calcular, etc.). Entre los investigadores soviéticos dedicados al estudio de los problemas de la lógica matemática merecen especial mención el académico A. N. Kolmogorov, P. S. Novikov, V. I. Shestakov, A. A. Markov, V. I. Glivenko, S. A. Yanovskaya, etc.

La filosofía idealista contemporánea presenta de una manera completamente desfigurada la naturaleza de las leyes de la lógica. La mayor parte de los filósofos reaccionarios (por ejemplo, los representantes del positivismo) afirman que las leyes, reglas y procedimientos de la lógica son arbitrarios y que pueden derogarse y modificarse caprichosamente. Este modo de concebir la naturaleza de las leyes de la lógica lleva inevitablemente a la negación absoluta de la objetividad del conocimiento científico, al solipsismo, según el cual, puesto que la existencia de las cosas se reduce a ser percibidas, entonces el sujeto pensante no puede afirmar ninguna existencia de algún otro ser pensante que no sea una percepción o representación de su conciencia.

#### CLASIFICACION DE LA LOGICA.

La clasificación de la lógica puede llegar a ser muy extensa dependiendo de varios factores; sin embargo, dentro de nuestra área de interés podemos definir básicamente dos tipos de lógica: la lógica bivalente (o binaria) y la lógica polivalente.

## CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

La lógica bivalente es aquella que admite sólo dos valores veritativos: "verdad" y "falsedad". Para sistemas lógicos bivalentes, cualquier variable puede tener sólo dos estados posibles:

- 0 = Generalmente representa la posición falsa, y
- 1 = Generalmente representa la posición verdadera,

y se definen las siguientes operaciones lógicas:

- 1) La negación de la variable A (NA) se define por  $A=1, NA=0; A=0, NA=1$ .
- 2) La intersección o producto lógico de dos variables A y B (AB), sólo toma el valor 1 cuando  $A=1$  y  $B=1$ . En los demás casos es cero.
- 3) La reunión o suma lógica de A y B ( $A+B$ ), sólo toma el valor 0 cuando  $A=0$  y  $B=0$ . En los demás casos es 1.
- 4) La función  $NA \cdot NB$  de A y B es la negación de su producto lógico.
- 5) La función  $NA+NB$  es la negación de su suma lógica.
- 6) La función o exclusivo de A y B ( $A(+ )B$ ) toma el valor de 1 cuando  $A=1$  y  $B=0$  o bien cuando  $A=0$  y  $B=1$ . En los otros casos es cero.

A partir de las definiciones de las operaciones lógicas se deducen un conjunto de propiedades que permiten simplificar los cálculos. Los circuitos lógicos y los circuitos integrados constituyen las realizaciones prácticas de los sistemas de lógica binaria.

Por su parte, la lógica polivalente admite más de dos valores veritativos. Un ejemplo particular lo constituye la lógica ternaria, que es un tratamiento matemático adecuado a los sistemas que pueden presentar tres estados, generalmente simbolizados por 0, +1 y -1; es decir, que es un sistema de numeración en base tres. La lógica difusa cae dentro de la clasificación de la lógica polivalente.

### INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LOGICA.

Existe la lógica proposicional, axiomatizada por Boole, en la cual los elementos de análisis son las proposiciones que se expresan como fórmulas bien construidas y que posee procedimientos de decisión bien establecidos para saber si una proposición es válida o no.

Sin embargo, la lógica proposicional encuentra serias limitaciones para representar y manipular hechos en los que se precisa cuantificar el sujeto o el predicado, como por ejemplo: algunos hombres son fuertes. En estos casos, la lógica proposicional deja de ser funcional y debe ser sustituida por una lógica que permita manejar de manera asilada los conceptos para poderlos modular y cuantificar por separado. Esta lógica es la lógica de predicados. El problema con esta lógica es que carece de un procedimiento de decisión que permita saber cuándo una proposición dada no es definitivamente un teorema, sin tener que buscar exhaustivamente.

Tanto en la lógica de proposiciones como en la de predicados, es a través de manipulaciones algebraicas, con base en los teoremas lógicos, que puede

determinarse la validez de una proposición dadas unas premisas. Considerando la gran variedad de manipulaciones posibles, han surgido en la inteligencia artificial algunos procedimientos que tienden a orientar los procesos de inferencia, haciéndolos muy eficientes.

Aunque la lógica de proposiciones y la de predicados sirven para resolver problemas en ciertos ámbitos, en la vida práctica encontramos expresiones ambiguas, con contenido de verdad inciertos, que se sustentan más bien en creencias que en hechos bien definidos y que son inmanejables con la lógica tradicional. Por ejemplo, la proposición del lenguaje ordinario: creo que Juan es medio bueno, es una proposición que se traduce en que las proposiciones lógicas formales como Juan es bueno y Juan no es bueno; sean simultáneamente semiverdaderas y semifalsas, si es que se pudiera definir tal como una semiverdad o una semifalsedad. Esta situación ha obligado a la inteligencia artificial a desarrollar en el campo de la lógica nuevos enfoques que permiten abordar este tipo de casos del razonamiento común.

Entre estos nuevos enfoque lógicos surgidos de la inteligencia artificial están:

- a) Razonamiento por default. Se hace uso del mismo cuando se tiene información incompleta. En este caso se generan las hipótesis que sean necesarias para resolver el problema que las contradiga. Por ejemplo, si digo: voy a casa en mi automóvil, se supone que el automóvil funciona, que yo sé manejar, que no pasará ningún contratiempo. La circunscripción es una forma de razonamiento por default en la inteligencia artificial introducida por McCarthy en 1980.
- b) Lógica probabilista. En ocasiones no se sabe si una proposición es o no verdadera, pero se tiene información sobre las probabilidades de que lo sea. La lógica probabilista permite hacer inferencias con este tipo de proposiciones inciertas en las que se conoce su probabilidad de verdad.
- c) Lógica difusa. En otras ocasiones los conceptos que se manejan en el razonamiento no están bien definidos: son difusos. Por ejemplo: Pedro es un poco alto, es una proposición difusa en la que la altura de Pedro puede ser cualquier valor dentro de un rango determinado. Asimismo el propio contenido de verdad puede ser difuso, por caso, quizá Pedro es alto. La lógica difusa, propuesta por Zadeh (1965), permite llegar a conclusiones y estimar su validez, a partir de un conjunto de proposiciones difusas.

En resumen, el desarrollo de la lógica se ha visto estimulado por el propio desarrollo de la inteligencia artificial, en la medida que se necesitan mejores herramientas para hacer inferencias en sistemas mecanizados, que resuelven problemas reales, esto es lo que se conoce como razonamiento automático.

El razonamiento automático se enfoca en la derivación y la demostración de implicaciones relevantes a partir de una base axiomática dada. Un proceso de razonamiento automático implica tres factores:

- a) una forma precisa, unívoca y adecuada de representar información;
- b) reglas precisas de inferencia para derivar conclusiones; y

- c) estrategias cuidadosamente delineadas para manipular las reglas de inferencia.

La representación de información se suele hacer mediante la adopción de representaciones lógicas del tipo de cálculo de predicados de primer orden, el cálculo de cláusulas de Horn o las formas de cláusula que se utilizan en resolución lógica (Bledsoe 1977; Kowalsky 1979). Las reglas de inferencia abarcan las formas aceptadas por la lógica, y las estrategias son de tipo general, de manera que puedan obtenerse soluciones en un tiempo adecuado. Sin embargo, la selección de las estrategias apropiadas es más un arte que una ciencia y en ella radica la habilidad del matemático experto, habilidad que aún no alcanza la computadora.

El razonamiento automático ha servido de base tanto para la demostración automática de teoremas (Loveland 1978), como para el diseño de estrategias generales en juegos computarizados y el diseño de mecanismos de inferencia en Sistemas Expertos. Uno de los productos más notables de este campo fue el General Problem Solver (GPS) de Newell y Simon (1963), capaz de demostrar muchos de los teoremas de Principia Mathematica, de Whitehead y Russell (1950). Del GPS se han derivado contribuciones importantes en la solución de problemas de planeación.

### INTRODUCCION A LA LOGICA DIFUSA.

Con el estudio de la lógica se persigue llegar a ser preciso y cuidadoso. La lógica tiene un lenguaje exacto. Pero aunque así sea, vamos a intentar construir un vocabulario para este lenguaje preciso utilizando el lenguaje cotidiano, algunas veces, un tanto confuso.

Para empezar, consideremos las proposiciones en lengua castellana. Cada proposición tiene una forma lógica a la que se le dará un nombre. En primer lugar, se consideran y simbolizan dos clases de proposiciones en lógica: unas se denominan proposiciones atómicas y otras proposiciones moleculares.

En lógica, las proposiciones atómicas son aquellas proposiciones de la forma más simple (o más básicas). Si se juntan una o varias proposiciones atómicas con un término de enlace, se tiene una proposición molecular. Una proposición atómica es una proposición completa sin términos de enlace (y, o, no, si ... entonces). En lógica difusa vamos a encontrar tanto proposiciones atómicas como moleculares.

Los conjuntos difusos fueron utilizados por primera vez por el profesor estadounidense L. A. Zadeh en 1965. Además de unos pocos especialistas, el mundo no prestó mucha atención a los conjuntos difusos durante los primeros 10 años, pero recientemente ha habido un rápido crecimiento en el número de investigadores y de documentos dedicados a ellos, hasta llegar a la actualidad, donde Japón es el país donde más se aplican las matemáticas difusas. El objetivo final de la lógica difusa es crear los fundamentos teóricos para razonar sobre proposiciones imprecisas.



### CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

Hablar de la lógica difusa es hablar de un nuevo campo del conocimiento, y para el establecimiento de un nuevo campo son necesarias 3 condiciones<sup>61</sup>:

1. Una necesidad social.
2. Una nueva metodología, tanto con nuevas ideas como con nuevas técnicas.
3. Un atractivo campo de estudio para los investigadores.

La lógica difusa cumple exitosamente con las tres. En la primera condición, podemos decir que la tecnología avanzada esta íntimamente ligada con el modo de vida de las personas, la concesión entre inteligencia artificial y "pensamiento", el cual es esencialmente humano, por sí mismo tiene una gran influencia. Para que la gente común pueda dominar la inteligencia artificial, es necesario que las computadoras entiendan el lenguaje de los humanos. El problema es que hay mucha ambigüedad en el lenguaje cotidiano, y este no puede ser manejado por los procesadores lógicos estándares. Una nueva herramienta lógica que pudiera expresar la ambigüedad es necesaria y los conjuntos difusos pueden ser considerados apropiados en este caso. Además, el problema de la armonía entre la gente y la tecnología puede llegar a ser extremadamente complicado. Los conjuntos difusos son un medio de comunicación que habla tanto a la naturaleza lógica de las ciencias como a la complejidad de las ciencias humanas y sociales. Podemos concluir que la necesidad social por los conjuntos difusos crecerá en el futuro.

En relación a la segunda condición, una nueva metodología, la teoría de los conjuntos difusos fue vista primero sólo como una técnica para expresar matemáticamente la ambigüedad lingüística, pero ahora queda establecida como una medida matemática de una amplia variedad de fenómenos ambiguos, incluyendo al concepto de probabilidad. Además, los sistemas lógicos para el manejo de la ambigüedad, apenas están siendo establecidos; y ningún punto de ambigüedad permanece en la teoría de conjuntos difusos. Si esta ventaja es aplicada, un desarrollo teórico inicial puede comprender conceptos opuestos, tales como subjetividad y objetividad, vaguedad y precisión, puntos de vista macro y micro, y emociones y lógica son posibles y están unidos por una única metodología.

La tercera condición es para un atractivo campo de estudio, y sus dos aspectos, uno teórico y otro practico. Como un sistema matemático, los conjuntos difusos expanden la actual estructura y construyen un mundo que toma nuevos conceptos, así que ellos tienen investigadores interesados en el aspecto teórico desde antaño. En la otra parte, no hubo un buen ejemplo del uso practico durante mucho tiempo, pero con la utilización en sistemas de control e inteligencia artificial, los conjuntos difusos han empezado a interesar a los planeadores prácticos de muy diversas áreas, incluidas la administración y las finanzas.

---

<sup>61</sup> TERANO, Toshiro; ASAI, Kiyoji and SUGENO, Michio, Fuzzy systems theory and its applications, San Diego: Academic Press, 1992, pp. IX-X.

## CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

Las tres condiciones comentadas son de alguna forma complementarias, Esto es que si una nueva metodología es desarrollada, un deseo de tener alguna clase de uso de ella vendrá junto con ella, y si los ejemplos de su uso practico crecen, entonces el interés de la sociedad se despertará y su necesidad se incrementará. Este proceso es el estímulo para posteriores desarrollos teóricos. La reciente y de improviso expansión de los conjuntos difusos significa que ellos han llegado a este punto.

### CARACTERISTICAS DE LA LOGICA DIFUSA.

De entre las principales características que posee la lógica difusa que la hacen ser diferente de los sistemas tradicionales de la lógica sobresalen los siguientes<sup>82</sup>:

- a) En los sistemas lógicos de 2 valores, una proposición  $p$  es verdadera o falsa; mientras que en los sistemas multivariados, como el de la lógica difusa, una proposición puede ser verdadera o falsa o tener algún valor intermedio de verdad o falsedad, haciendo de la verdad una cuestión de grado.
- b) En la lógica bivariada los predicados deben ser precisos, es decir, deben ser un subconjunto no difuso del universo en discurso, pero en la lógica difusa el predicado puede ser mucho más claro o más difuso, por ejemplo: "terrible", "enfermo", "cansado", "grande", "alto", "muy pesado", etc.
- c) Tanto en la lógica bivariada como en la multivariada se permiten sólo 2 cuantificadores: "todo" y "algo", mientras que por el contrario, en la lógica difusa se permiten además de los anteriores, el uso de cuantificadores difusos como por ejemplo: "el más", "varios", "pocos", "mucho de", "frecuentemente", "ocasionalmente", "más o menos", etc. Ya que tales cuantificadores pueden ser interpretados como números difusos que proveen una caracterización imprecisa de la cardinalidad de uno o más conjuntos difuso y no difusos.
- d) La lógica difusa provee un método para representar el significado de los modificadores (predicados difusos y no difusos) como por ejemplo: "no", "muy", "extremadamente", "escasamente", "un poco", etc.

Todo esto conduce a sistemas de cómputo que permiten el manejo de variables lingüísticas, es decir, variables cuyos valores son palabras u oraciones en un lenguaje natural o sintético, como por ejemplo la variable lingüística "edad", cuyos valores pueden ser: "joven", "viejo", "muy joven", "no muy viejo", etc.

### CAMPOS DE APLICACIÓN.

Existen diversos campos de aplicación, los cuales pueden ser clasificados en tres sistemas generales<sup>83</sup>.

<sup>82</sup>

DURAN Camarillo, Edmundo René, Circuitos CMOS en modo de corriente para lógica difusa, México: Tesis de Maestría, 1994, pp. 2-3.

1. Sistemas de computo: intentan dar a las maquinas un alto nivel de inteligencia. La inteligencia artificial imita el reconocimiento de objetos, el juicio, la evaluación y la inferencia (conclusiones); mientras que la inteligencia humana incluye, además, elementos ilógicos como la intuición y la inspiración, que a veces llamamos sentido común. Ejemplos en esta área son: entendimiento del lenguaje natural o cualquier tipo de operación automática.
2. Sistemas humanos: tratan de introducir una metodología científica a los complicados y ambiguos problemas del hombre y la sociedad, por ejemplo: apreciación del riesgo o modelos de selección del mercado.
3. Sistemas hombre - máquina: usan ambos, personas y maquinas, en colaboración para hacer el trabajo que no puede ser hecho por cada uno de ellos de manera individual, por ejemplo: la automatización de una oficina. En esta clase de sistemas, la comunicación entre humanos y maquinas es tremendamente importante. El problema más importante a resolver es la simplificación del proceso de adaptación entre la gente y las maquinas. Las maquinas deben ser capaces de entender el lenguaje natural y la información gráfica, entre otros. Son ejemplos los siguientes: la inspección del procesamiento de datos o los sistemas de seguridad.

De esos tres campos de aplicación, sistemas de computo, sistemas humanos y sistemas hombre - máquina, los principales propósitos son los siguientes<sup>84</sup>.

1. Expresar experiencias humanas, sentido común, etc., en forma tal que las maquinas las puedan usar.
2. Hacer modelos de sentimientos humanos o del lenguaje.
3. Imitar formas de reconocimiento humanas, juicios completos o entendimiento general.
4. Presentar la información en forma tal que la gente pueda fácilmente entenderla.
5. Comprimir grandes cantidades de información.
6. Hacer modelos de psicología humana o de la conducta.
7. Hacer modelos de sistemas sociales.

#### REPRESENTACION DEL CONOCIMIENTO CON LOGICA DIFUSA.

Las aproximaciones convencionales de la representación del conocimiento por medio de las redes semánticas, los marcos, cálculo de predicados o Prolog, están basados en la lógica bivalente. Una seria limitación de tales aproximaciones es su incapacidad para trabajar con arreglos de números que manejen la

---

<sup>83</sup> TERANO, Toshiro; ASAI, Kiyoji and SUGENO, Michio, Fuzzy systems theory and its applications, San Diego: Academic Press, 1992, pp. 2-3.

<sup>84</sup> TERANO, Toshiro; ASAI, Kiyoji and SUGENO, Michio, Fuzzy systems theory and its applications, San Diego: Academic Press, 1992, pág. 6.

incertidumbre y la imprecisión. Como consecuencia, las aproximaciones convencionales no proporcionan un modelo adecuado sobre los modos de razonamiento que son apropiados más que exactos. La mayoría de los razonamientos humanos y todos los razonamientos del sentido común caen en esta categoría.

La lógica difusa puede ser vista como una extensión de los sistemas de lógica clásica, ya que proporciona una estructura conceptual efectiva para tratar con el problema de la representación del conocimiento en un ambiente de incertidumbre e imprecisión.

El desarrollo de la lógica difusa estuvo motivado en gran medida por la necesidad de un marco conceptual que pudiera dirigir los temas de incertidumbre e imprecisión léxica.

Lógica difusa, como su nombre sugiere, es la lógica que subyace a los modelos de razonamiento que son más aproximados que exactos. La importancia de la lógica difusa deriva del hecho de que la mayoría de los modos de razonamiento humano - y especialmente el razonamiento del sentido común - son aproximados por naturaleza. Es interesante notar que, a pesar de sus penetración, los razonamientos aproximados caen fuera del campo de la lógica clásica debido a su tradición profundamente atrincherada en lógica, concerniente con solo aquellos modos de razonamiento que les permiten precisar la formalización y el análisis.

Algunas de las características esenciales de la lógica difusa se relacionan con lo siguiente:

- en lógica difusa, el razonamiento exacto esta visto como un caso limitado del razonamiento aproximado
- en lógica difusa, todo es un asunto de grado
- cualquier sistema lógico puede ser difusificado
- en lógica difusa, el conocimiento es interpretado como una colección de equivalencias, restricciones difusas sobre una colección de variables
- la inferencia es vista como un proceso de propagación de restricciones elásticas.

La ultima década ha visto un gran interés en tecnologías que tienen como su motivación algún aspecto de las funciones humanas. Algunas de ellas, como inteligencia artificial, pueden estar arraigadas en el dominio psicológico. Otras, como redes neutrales, algoritmos genéticos y programación evolucionaria, están inspiradas en reconsideraciones de procesos biológicos. Común a todas esas llamadas "tecnologías inteligentes" es una necesidad de representar el conocimiento de una manera que es tanto fiel al estilo humano de procesamiento de información así como a una forma tratable de manipulación por computadora.

Al ser introducidos en 1965 los conjuntos difusos; la disciplina relacionada de la lógica difusa esta probada en sí misma como el más apropiado medio para realizar esta tarea. En primer lugar, la lógica difusa puede ser vista como un lenguaje que le permite a uno traducir declaraciones sofisticadas del lenguaje natural a formalismos matemáticos. Una vez que tenemos esta forma matemática

### CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

del conocimiento, podemos ser capaces de servirnos de cientos de años de historia reciente en tecnología para manipular este conocimiento.

Mientras que la motivación original fue el ayudar al manejo de la penetrante imprecisión en el mundo, los primeros practicantes de lógica difusa trataron primariamente con temas teóricos. Muchas publicaciones recientes estuvieron dedicadas a los fundamentos básicos y a las aplicaciones "potenciales". Esta fase temprana fue también marcada por una fuerte necesidad de distinguir la lógica difusa de la teoría de probabilidades. Como esta bien entendido ahora, la teoría de conjuntos difusos y la teoría de probabilidades están dirigidas a diferentes tipos de incertidumbres. La siguiente fase del desarrollo de la disciplina fue conducida por el éxito, particularmente en Japón, del uso de la lógica difusa para diseñar controles simples. Este éxito motivo el interés mundial sobre el uso de esta tecnología para la construcción de modelos de sistemas complejos en disciplinas ingenieriles. Actualmente las técnicas de la lógica difusa se encuentran disponibles en computadoras de escritorio como hojas de cálculo y bases de datos.

#### EL MUNDO DIFUSO.

El mundo real tiene altibajos, constantemente esta moviéndose y cambiando, esta lleno de sorpresas. En otras palabras, es difuso. Las técnicas difusas permiten manejar exitosamente situaciones del mundo real.

Lo difuso en el mundo real tiene el sentido de las distinciones que la gente usa en la toma de decisiones todo el tiempo, pero que las computadoras y otras tecnologías avanzadas no habían sido capaces de manejar.

Actualmente, la lógica difusa contiene a la lógica precisa como un extremo. En la lógica precisa maneja sólo 0 o 1, la respuesta puede ser sólo si o no, falso o verdadero. Con lógica difusa la respuesta es Puede ser, y su rango de valores va desde 0 (no) hasta 1 (si), desde absolutamente falso hasta absolutamente verdadero. Los conjuntos precisos manejan sólo 0's y 1's. Los conjuntos difusos manejan todos los valores entre 0 y 1, por ejemplo:

---

Lógica Precisa:					
No		Si			
Nada		Todo			

---

Lógica Difusa:						
No	Poco	Un Poco	Algo	Unos cuantos	Mucho	Si
Nada						Todo

---

De esta manera podemos resaltar que las características de la difusibilidad son:

- Una base en palabras, no en números. (Por ejemplo: caliente, no 30°C).
- Variable no lineal.

- Analógico (ambiguo), no digital (si/no).

### VAGUEDAD ES MEJOR.

Platón, maestro de Aristóteles, había considerado grados de membresía. Pero es necesario brincar hasta el siglo XVIII en Europa, cuando tres de los filósofos líderes jugaron alrededor de esta idea. El filósofo irlandés y clérigo George Berkeley y el escocés David Hume pensaron que cada concepto tiene un corazón concreto, al cual los conceptos que se parecen a él en alguna forma son atraídos. Hume en particular creía en la lógica del sentido común - el razonamiento basado en el conocimiento que la gente ordinaria adquiriría por vivir en el mundo.

En Alemania, Emmanuel Kant consideró que sólo las matemáticas podrían proporcionar definiciones claras, y muchos principios contradictorios no podrían ser resueltos. Por ejemplo, la materia podría ser dividida infinitamente, pero al mismo tiempo no podría infinitamente dividirse.

Una escuela particular americana de filosofía llamada pragmatismo fue fundada en los primeros años de este siglo por Charles Sander Pierce, quien estableció que el significado de una idea esta fundado en sus consecuencias. Pierce fue el primero en considerar la "vaguedad", más que el verdadero - falso, como un contraste de cómo el mundo y la gente funcionan.

La idea de que la lógica "precisa" produce contradicciones inmanejables fue recogida y popularizada a principios del siglo XX por el flamante filósofo y matemático inglés Bertrand Russell. El incluso estudió la vaguedad de los idiomas, así como su precisión, concluyendo que la vaguedad es un asunto de grado.

El filósofo alemán Ludwig Wittgenstein estudio las formas en que una palabra puede ser usada para varias cosas que realmente tienen muy poco en común, tal como un juego, el cual puede ser competitivo o no competitivo.

La teoría de conjuntos original (0 ó 1) fue inventada por el matemático alemán del siglo XIX llamado Georg Cantor. Pero este conjunto "preciso" tiene las mismas deficiencias que la lógica en la cual esta basado. La primera lógica de vaguedad fue desarrollada en 1920 por el filósofo polaco Jan Lukasiewicz. El inventó conjuntos con posibles valores de membresía de 0, 1/2 y 1, más tarde extendiéndolos al permitir un infinito número de valores entre 0 y 1.

Más tarde en el siglo XX, la naturaleza de las matemáticas, los eventos de la vida real y a complejidad, todos jugaron papeles en el examen de la exactitud. Así ocurrió el asombroso descubrimiento de físicos como Alberto Einstein (sobre la relatividad) y Werner Heisenberg (sobre la incertidumbre). Einstein fue citado cuando dijo "Hasta donde las leyes matemáticas se refieren a la realidad, no existe certeza, y hasta donde existe certeza, no se refiere a la realidad".

El siguiente gran paso adelante ocurrió en 1937, en la Universidad de Cornell, donde Max Black considero el grado con el que los objetos son miembros de un conjunto. El midió la membresía en grados de uso y apoyo una teoría general de "vaguedad".

El trabajo de los pensadores de los siglos XIX y XX proporcionaron la molienda del molino mental para el fundador de la lógica difusa, el estadounidense Lotfi Zadeh.

### DESCUBRIENDO LO DIFUSO.

En los 60's, Lotfi Zadeh inventó la lógica difusa, la cual combina los conceptos de lógica precisa y los conjuntos de Lukasiewicz al definir una membresía graduada. Una de las principales comprensiones de Zadeh fue que las matemáticas pueden ser usadas para vincular el lenguaje y la inteligencia humana. Muchos conceptos están mejor definidos por palabras que por matemáticas, y la lógica difusa y sus expresiones en conjuntos difusos proporcionan una disciplina que puede construir mejores modelos de la realidad.

Daniel Schwartz, un investigador americano sobre lógica difusa, organizó palabras difusas bajo diferentes encabezados, por ejemplo los términos de cuantificación, que incluyen: todo, la mayoría, muchos, alrededor de la mitad, pocos, ninguno; los términos de uso, que incluyen: siempre, frecuentemente, a menudo, ocasionalmente, rara vez y nunca; los términos de posibilidad, que son: certeza, probabilidad, incertidumbre e incerteza. Es importante tener en cuenta que, gracias a la lógica difusa, ahora ya es posible manipular matemáticamente este tipo de términos lingüísticos.

### LOS USOS DE LA LOGICA DIFUSA.

Los sistemas difusos pueden ser usados para estimar, tomar decisiones y para controlar sistemas mecánicos tales como aire acondicionado, controles automotrices e incluso casas "inteligentes", así como en controles de procesos industriales y en otras aplicaciones.

El principal uso practico de la lógica difusa ha sido en innumerables aplicaciones en Japón sobre todo, en controles de procesos. Aunque el más reciente desarrollo de control difuso tiene lugar en Europa.

Existen cinco tipos de sistemas donde la lógica difusa es necesaria o benéfica<sup>85</sup>:

1. Sistemas complejos que son difíciles o imposibles de modelar.
2. Sistemas controlados por humanos expertos.
3. Sistemas con entradas y salidas complejas y continuas.
4. Sistemas que usan observación humana como entrada o como la base de sus reglas.
5. Sistemas que son por naturaleza vagos, tales como aquellos de la conducta individual o de las ciencias sociales.

### VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

Las principales ventajas de la lógica difusa para el control de sistemas son las siguientes:

- ✓ Menos valores, reglas y decisiones son requeridas.
- ✓ Más variables observables pueden ser evaluadas.
- ✓ Son usadas variables lingüísticas, no numéricas, haciendo esto de manera similar a la forma en que los humanos pensamos.

<sup>85</sup> MCNEILL, F. Martin and THRO, Ellen, Fuzzy logic, a practical approach, New York: AP Professional, 1992, pp. 15-16.

### CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

- ✓ Relaciona salidas con entradas, sin tener que entender todas las variables, permitiendo el diseño de un sistema que puede ser más preciso y estable que uno con un sistema de control convencional.
- ✓ Su simplicidad permite la solución de problemas previamente insolubles.
- ✓ Rápida realización de prototipos es posible debido a que el diseñador del sistema no tiene que entender todo sobre el sistema antes de empezar a trabajarlo.
- ✓ Es más barato de hacer que un sistema convencional porque es más fácil de diseñar.
- ✓ Se ha incrementado la robusticidad.
- ✓ Se ha simplificado la adquisición del conocimiento y su representación.
- ✓ Unas pocas reglas abarcan una gran complejidad.

Dentro de las principales desventajas podemos anotar las siguientes:

- Es difícil desarrollar un modelo completo de un sistema difuso.
- Aunque es más fácil de diseñar y es más rápido de producir el prototipo que en un sistema de control convencional, los sistemas difusos requieren más simulación y afinación antes de que sean operativos.
- Quizás la mayor desventaja es el prejuicio cultural a favor de las matemáticas precisas o sistemas exactos y de los modelos lineales para el control de sistemas.

#### TOMA DE DECISIONES DIFUSAS.

La toma de decisiones difusas es un lenguaje especializado orientado hacia sistemas difusos usado para tomar decisiones personales y de administración de negocios, tales como la optimización en la compra de carros o aparatos eléctricos, o como el Fuji Bank que ha desarrollado un sistema de soporte para decisiones difusas en el comercio de valores.

#### LOGICA PRECISA Y DIFUSA.

La teoría de conjuntos esta íntimamente relacionada con las proposiciones lógicas que buscan la verdad llamadas reglas de inferencia. Como en los conjuntos, las reglas difusas de inferencia fueron inventadas hace unas décadas, y están basadas en las mucho más viejas reglas precisas. De igual manera que con los conjuntos, las reglas difusas son generalizaciones y las reglas precisas son un caso especial dentro de ellas. La lógica difusa muestra que la verdad es en sí difusa.

#### REGLAS DE INFERENCIA.

Las reglas de inferencia son reglas para derivar verdades a partir de otras verdades declaradas o comprobadas. Una de estas reglas disfrazada como la operación de conjuntos llamada implicación, tiene la forma:

$$A \rightarrow B$$



### CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

En lógica, la misma regla surge del nombre en latín *modus ponens*, significando un modo afirmativo, y se establece como:

Dado que A es verdadera y A implica B, entonces B es también verdadera.

Esto significa que A implica B (o B es inferido de A), pero B no necesariamente implica A. *Modus ponens* puede incluso ser establecida en la forma Si - Entonces:

Si A es verdad, Entonces B también es verdadera.

El *modus ponens* preciso puede también ser escrito como:

Si            A (que es verdadera)  
y             $A \rightarrow B$  (A implica a B)  
Entonces    B (es verdadera).

Una regla relacionada, llamada *modus tollens*, significa el modo negativo, puede ser escrito de varias formas:

Dado que B es falso y A implica a B, entonces A es también falso, o:

Si            B (es falsa)  
Y             $A \rightarrow B$  (A implica a B)  
Entonces    A (es falsa).

Otra forma de presentar el *modus tollens* es

$A \rightarrow B$  significa  $B \rightarrow A$ .

lo cual es también llamado *contraposición*.

Aquí esta como esas dos reglas trabajan juntas. Por ejemplo, de acuerdo a *modus ponens*,

Si            la manzana es roja  
Y            una manzana roja es una manzana madura  
Entonces    la manzana esta madura.

*Modus tollens* establece,

Si            la manzana no esta madura  
Y            una manzana roja es una manzana madura  
Entonces    la manzana no es roja.

Como en una situación precisa, la madurez de una manzana es simple de establecer, entonces o la manzana es roja y por lo tanto madura, o no esta madura y por lo tanto no es roja. Desafortunadamente, lo rojizo puede ser

interpretado de muchas formas. Se incluyen muchos tonos de color y una manzana puede ser parcialmente roja. En el mundo real, lo rojizo de una manzana y su madurez constituyen - por supuesto - una situación difusa.

Afortunadamente, existe un modus ponens generalizado para manejar la lógica de situaciones difusas.

Como            la manzana es muy roja  
 Y                una manzana roja es una manzana madura  
 Entonces      la manzana esta muy madura.

Una segunda regla difusa, llamada la regla composicional de inferencia, involucra una relación explícita:

Como            la manzana 1 esta muy madura  
 Y                la manzana 2 no esta completamente tan madura como la  
                      manzana 1  
 Entonces      la manzana 2 esta mas o menos madura.

#### DECLARACIONES LOGICAS.

Los operadores de conjuntos unión e intersección también tienen contrapartes en lógica precisa. La forma más común de representarlos es con cuantificadores en un tipo de estructura de declaraciones llamado cálculo predicativo. La "o" de una unión esta representada por un cuantificador existencial, usando el símbolo  $\exists$ , leído como "existe". Este establece que existe al menos un ejemplo en el cual la declaración es verdadera. Por ejemplo:

$(\exists x) [\text{madura}(\text{manzana})]$

es traducido como "existe (al menos) un ejemplo de una manzana madura".

El "y" de una intersección esta representado por un cuantificador universal, usando el símbolo  $\forall$ , leído como "para todo(s)". Este establece que la declaración es verdadera en todas las ocasiones, tal como

$(\forall x)[\text{manzana}(x) \rightarrow \text{madurez}(x)]$

cuyo significado es que todas las manzanas están maduras.

¿Es cada declaración lógicamente verdadera? Esto depende del dominio involucrado.

La lógica difusa incluye "existe" y "para todo(s)" e incluso proporciona declaraciones intermedias entre los dos extremos.

El investigador en lógica difusa Ronald R. Yager, ha mostrado que la palabra "poco" es una forma menos extrema de "o" ("existe"). Donde las declaraciones precisas dicen que un simple ejemplo de una manzana madura existe para el dominio, pocas significa que esta podría ser la manzana 1 o la manzana 2 o etc.

## CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

La palabra "mucho" es menos extrema que la palabra "para todo". Mas que establecer que todas las manzanas están maduras, "mucho" significa que la manzana 1 y la manzana 2 y la manzana 3, etc. en el dominio están maduras.

De esta manera, el formato Como - Entonces es tan útil en el pensamiento difuso que es usado en los conjuntos de reglas basadas en palabras para los sistemas de control difusos.

### LA REGLA COMO - ENTONCES, UNA VISTA PREVIA.

Las reglas tradicionales o precisas son expresadas en términos precisos, tales como:

Si la temperatura de la habitación es menor que 16.7°C  
Entonces regula el termostato para 20°C

Aunque la mayoría de los termostatos caseros están marcados en grados, esta no es la forma en que la mayoría de las personas los usan. "Sube la calefacción un poco", alguien podría decir. En otras palabras, la calefacción casera es realmente una situación difusa.

La lógica difusa usa las reglas del estilo Si - Entonces, expresadas por la forma Como - Entonces (forma general) o Como - Hacer (la forma de control). Una regla difusa para el termostato podría ser:

Como la temperatura de la habitación es fría  
Entonces enciende el calentador para elevarla.

### CUANTIFICANDO LAS REGLAS CON BASE EN PALABRAS.

Las declaraciones - palabras que modifican las reglas existentes - jugaron un gran papel en la programación difusa en los viejos tiempos, cuando las computadoras eran más lentas y la memoria era escasa. Las declaraciones incluyen cuantificadores tales como: más o menos, casi, mayor que, a menudo y aproximadamente.

Actualmente es más fácil escribir un nuevo conjunto de reglas desde el principio. Aún así, el concepto de las declaraciones permanece disponible como una herramienta. Y son útiles al explicar la relación entre palabras difusas y aritmética precisa. Los sistemas difusos usan lo que es llamado difusificación (cambiar los valores de entrada a términos difusos) y la desdifusificación (cambiar las salidas difusas de nuevo a valores numéricos para la acción de un sistema).

### APLICACIONES DE LA LOGICA DIFUSA.

Un factor crucial en la competencia de los negocios en el siglo XXI será el hábil uso de la tecnología informática. Los sistemas de tecnología informática actuales constan principalmente de herramientas de datos y comunicaciones para los trabajadores humanos. Los sistemas de tecnología informática del futuro serán capaces de hacer más: automatizar decisiones, analizar inteligentemente una gran cantidad de datos, y aprender de sus errores.

Tales sistemas necesitan tener una mejor forma de representar la lógica y el raciocinio detrás del pensamiento humano. El centro de esta revolución será

## CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

encontrar un camino para programar una computadora para expresar las decisiones de tipo humano y las evaluaciones en lenguaje humano. Es por esto que se necesita de la lógica difusa.

El corazón de las aplicaciones de los métodos cuantitativos a los negocios y las finanzas es el análisis de decisiones, la toma de decisiones.

Con el paso del tiempo y la acumulación de la experiencia, ha sido crecientemente claro que la toma de decisiones en el mundo real es mucho más complejo, más incierto y más impreciso de lo que permite precisar el análisis prescriptivo. Es debido a esta realización que se subraya el rápido crecimiento ha cambiado de las técnicas convencionales del análisis de decisión hacia las técnicas basadas en la lógica difusa, neurocomputo, computo genético y, más generalmente, el "computo suave".

En esencia, el computo suave es un consorcio de metodologías que son tolerantes a la imprecisión, incertidumbre y a la verdad parcial. En este punto, los principales constituyentes del computo suave son la lógica difusa, neurocomputo, computo genético y razonamiento probabilístico.

La efectividad del computo suave depende en gran medida de la disponibilidad de las herramientas de software y recursos de hardware.

Un punto de especial importancia es que las metodologías constituyentes en computo suave son en la mayor parte complementarias más que competitivas. Como una consecuencia, es frecuentemente ventajoso el empleo de metodologías constituyentes en combinación más que individualmente, dando importancia a los llamados sistemas híbridos. Actualmente, los sistemas más visibles de este tipo son los sistemas de neurodifusión.

La lógica difusa es una nueva e innovativa tecnología, una que sobre los recientes años pasados ha ya revolucionado el desarrollo de sistemas de control técnico, por ejemplo:

- En aparatos, la lógica difusa ahorra energía y proporciona mecanismos de fácil uso.
- En sistemas automotores, proporciona una adaptabilidad al usuario, así que el desempeño de un carro es optimizado por un estilo personal de manejo.
- En sistemas de control industrial, la lógica difusa simplifica complejas tareas automáticas.

Aunque las aplicaciones ingenieriles de la lógica difusa han ganado mucho más el interés del público en el pasado que las aplicaciones en negocios y finanzas, existe un mayor potencial en estos últimos. La lógica difusa proporciona un fácil y transparente método para incorporar el tipo de razonamiento de sentido común.

### EL BENEFICIO DE LA LOGICA DIFUSA.

Desde su introducción hace 50 años, el progreso en el procesamiento electrónico de datos ha sido principalmente conducido por las revoluciones tecnológicas. Con los primeros sistemas de procesamiento por lotes, los usuarios

## CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

tuvieron que esperar por un largo tiempo antes de que ellos obtuvieran las salidas de sus cómputos. La introducción de sistemas de tiempo compartido ha dado a los usuarios el beneficio de acceder a sus datos en tiempo real. La introducción de redes y sistemas de cliente - servidor ha dado a los usuarios el beneficio de acceder a sus datos desde prácticamente cualquier parte. La lógica difusa da el beneficio de permitir al software tomar decisiones al estilo humano.

### ¿POR QUE EL SOFTWARE DEBE DE TOMAR DECISIONES?

Permitir al software tomar decisiones al estilo humano produce muchos beneficios:

- Para decisiones que necesitan ser tomadas en grandes cantidades, tales como las decisiones de compra - venta en un sistema de comercio de acciones, la automatización de toma de decisiones expande enormemente a capacidad a un bajo costo.
- Automatización de la toma de decisiones conduce a un proceso de toma de decisiones consistente y competente.
- Los procesos complejos de toma de decisiones se vuelven transparentes y pueden así ser explícitamente evaluados y optimizados.
- Las experiencias de mas de una persona solamente puede ser aglomerada en el sistema

### ¿POR QUE LOGICA DIFUSA?

Los lenguajes de programación tales como COBOL, C o C++ están basados en lógica booleana, la disciplina matemáticas de las cuales computadoras emanaron. Tales lenguajes de programación son muy convenientes para desarrollar tiempo compartido, redes y muchos otros sistemas de los cuales la conducta puede ser bien representada por modelos matemáticos. Sin embargo, al desarrollar sistemas que copien las decisiones al estilo humano, los modelos matemáticos se quedan cortos. El juicio humano y la evaluación simplemente no siguen la lógica booleana ni cualquier otra disciplina convencional matemática. Por lo tanto, los lenguajes de programación convencional, estando profundamente unidos a la lógica matemática, están lejos de la eficiencia cuando se programan y no son suficientes para implementar los procesos de toma de decisiones al estilo humano.

### PRINCIPIO SUBYACENTE EN LA LOGICA DIFUSA.

¿Cómo puede una lógica que es "difusa" ser útil? El profesor Lotfi Zadeh, el fundador de la lógica difusa, establece que una computadora no puede solucionar los problemas, así como los humanos expertos, a menos que sea capaz de pensar en la forma característica de un ser humano.

Como los humanos, nosotros, a menudo contamos con expresiones imprecisas, como: usualmente, caro o lejos. Pero la comprensión de una computadora esta limitada a modo de pensar en blanco y negro, todo o nada, verdadero o falso. En este contexto, Lotfi Zadeh enfatiza el hecho de que nosotros

## CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

fácilmente podemos ser arrastrados por un deseo de alcanzar la más alta precisión sin poner atención a las características imprecisas de la realidad.

Existen muchos sujetos que no se ajustan a la categoría imprecisa de la teoría de conjuntos convencionales: los conjuntos "todos los triángulos" o "todos los jóvenes llamados Juan" son fáciles de manejar dentro de la teoría convencional. O el nombre de alguien es Juan o no lo es. No existe otro estatus de por medio. El conjunto de "todos los investigadores inteligentes" o "todas las personas con un carro costoso", sin embargo, son mucho más complicados y no pueden ser manejados fácilmente en un modo "digital" de pensar. Esto es debido a que no hay forma para definir un umbral preciso para representar un vago y borroso límite. Existen algunos carros obviamente caros, como el Rolls - Royce, pero muchos otros carros podrían fácilmente caer dentro de esta categoría también, dependiendo de cuanto dinero se tenga, donde se viva y como se le perciba.

### LOGICA DIFUSA Y LA APLICACION INFERENCIAL.

Como previamente se mencionó, dentro de la lógica convencional, los términos pueden ser solo "verdaderos" o "falsos". La lógica difusa permite una generalización de la lógica convencional. Esta provee de términos entre "verdadero" y "falso" como "casi verdadero" y "parcialmente falso". Por lo tanto, la lógica difusa no puede ser procesada directamente en computadoras. Esta debe ser transformada por un programa especial llamado "Aplicación inferencial".

### LOGICA MATEMATICA VS. LOGICA DIFUSA.

#### LOGICA MATEMATICA.

Las proposiciones en lógica pueden ser atómicas o moleculares. Las atómicas son proposiciones de la forma más simple o básica. Las moleculares se crean cuando se juntan varias atómicas con un término de enlace, por ejemplo:

Proposición atómica:	Hoy es domingo = A
Proposición atómica:	Hoy hay clase = B
Proposición atómica:	No hay clase hoy = $\sim B$
Proposición molecular:	Hoy es domingo y no hay clase hoy
Proposición molecular:	$A \wedge (\sim B)$

Los términos de enlace más usados se presentan en la siguiente tabla:

A la vez	A A	Y Y	B B	También llamados:	Conjunción	$\wedge$ (Mínimo)
O	A A	O O	B B	También llamados:	Disyunción	$\vee$ (Máximo)
Si Si	A A	Entonces ,	B B	También llamados:	Condición	$\rightarrow$
No No ocurre que	A A			También llamados:	Negación	$\sim$ ó $\neg$
	A	Si y sólo si	B	También llamado:	Bicondicional	$\leftrightarrow$

El uso de paréntesis es muy importante en lógica. Los paréntesis son los símbolos de puntuación de la lógica. Muestran como esta agrupada una proposición y por lo tanto señalan cual es el termino de enlace dominante.

Un enlace dominante es el que actúa sobre toda la proposición, por ejemplo:

(A) y (B)

donde: A es la proposición antecedente (puede ser una proposición molecular o atómica).  
y es el enlace dominante.  
B es la proposición consecuente (puede ser una proposición molecular o atómica).

Las reglas para la eliminación de paréntesis son las siguientes:

1. El termino de enlace si ... entonces ( $\rightarrow$ ), es más potente que los otros elementos de enlace.  
 $(P \wedge Q) \rightarrow R = P \wedge Q \rightarrow R$ , el término más importante es  $\rightarrow$ , también  $P \rightarrow (Q \vee R) = P \rightarrow Q \vee R$ , pero  $(P \rightarrow Q) \vee R \neq P \rightarrow Q \vee R$ , ya que en este caso, el término de enlace dominante más importante es  $\vee$ ; así también, si una proposición tiene dos condicionales, se tiene que utilizar el paréntesis para indicar cuál es dominante. Así la proposición:  
 $A \rightarrow (B \rightarrow C)$ , tiene un significado distinto de  $(A \rightarrow B) \rightarrow C$ .
2. El signo de negación ( $\neg$ ), es más débil que cualquiera de los otros 3 términos de enlace.  
 $(\neg P) \rightarrow (\neg Q) = \neg P \rightarrow \neg Q$ , pero  $\neg(P \wedge Q) \neq \neg P \wedge Q$
3. Los términos de conjunción ( $\wedge$ ) y disyunción ( $\vee$ ), son igualmente fuertes, si ambos se presentan en una proposición se tienen que poner siempre los paréntesis para indicar cual es el término de enlace dominante.

$(P \vee Q) \wedge R$  = es una conjunción ( $\wedge$ ) el término dominante, o bien  
 $P \vee (Q \wedge R)$  = es una disyunción ( $\vee$ ) el término dominante, pero  
 $P \vee Q \wedge R$  = no queda claro.

**INFERENCIA LOGICA.**

La inferencia lógica permite que a partir de unas premisas se siga un proceso de deducción hasta llegar a una conclusiones, que son la consecuencia lógica de las premisas iniciales. De esta forma se establece que la inferencia lógica permite que de premisas verdaderas se obtengan conclusiones verdaderas. Las reglas de inferencia son las siguientes:

1. Modus Ponendo Ponens (método que afirma el consecuente, afirmando el antecedente). Sean P y Q proposiciones atómicas o moleculares, entonces:

Premisa 1	$P \rightarrow Q$	$\sim P$ entonces $\sim Q$
Premisa 2	$\frac{P}{\quad}$	$\frac{\sim P}{\quad}$
Conclusión	$Q$	$\sim Q$

2. Regla de la doble negación.

$\frac{\sim\sim P}{P}$	$\frac{P}{\sim\sim P}$
------------------------	------------------------

3. Modus Tollendo Tollens (negando el consecuente, se puede negar el antecedente de la condicional).

$P \rightarrow Q$
$\frac{\sim Q}{\quad}$
$\sim P$

4. Regla de adjunción.

$\frac{P}{Q}$	$\frac{P}{Q}$
$\frac{Q}{P \wedge Q}$	$\frac{Q}{Q \wedge P}$

5. Regla de simplificación.

$\frac{P \wedge Q}{P}$	$\frac{P \wedge Q}{Q}$
------------------------	------------------------

6. Modus Tollendo Ponens (negando un miembro de la disyunción se afirma el otro miembro).

$P \vee Q$	$P \vee Q$
$\frac{\sim P}{Q}$	$\frac{\sim Q}{P}$

7. Ley de adición.

$\frac{P}{P \vee Q}$	$\frac{Q}{P \vee Q}$
----------------------	----------------------

8. Ley del silogismo hipotético.

$P \rightarrow Q$
$\frac{Q \rightarrow R}{P \rightarrow R}$



9. Ley del silogismo disyuntivo.

$$\begin{array}{l} P \vee Q \\ P \rightarrow R \\ \underline{Q \rightarrow S} \\ R \vee S \end{array} \qquad \begin{array}{l} P \vee Q \\ P \rightarrow R \\ \underline{Q \rightarrow S} \\ S \vee R \end{array}$$

10. Ley de la simplificación disyuntiva.

$$\frac{P \vee P}{P}$$

11. Leyes conmutativas.

$$\frac{P \wedge Q}{Q \wedge P} \qquad \frac{P \vee Q}{Q \vee P}$$

12. Leyes de Morgan.

$$\begin{aligned} \sim(P \vee Q) &= \sim P \wedge \sim Q \\ \sim(P \wedge Q) &= \sim P \vee \sim Q \\ \sim(\sim P \vee \sim Q) &= P \wedge Q \end{aligned}$$

13. Leyes de las proposiciones bicondicionales.

$$\frac{P \leftrightarrow Q}{P \rightarrow Q} \qquad \frac{P \leftrightarrow Q}{Q \rightarrow P}$$

$$\frac{P \rightarrow Q}{P \leftrightarrow Q} \qquad \frac{P \leftrightarrow Q}{(P \rightarrow Q) \wedge (Q \rightarrow P)}$$

Finalmente, con la construcción de las tablas de certeza se puede llegar a la conclusión buscada (donde C es Cierto ó Verdadero y F es Falso):

1. Negación (no:  $\sim$ ).

P	$\sim P$
C	F
F	C

2. Conjunción (y:  $\wedge$ ).

P	Q	$P \wedge Q$
C	C	C
C	F	F
F	C	F
F	F	F

3. Disyunción (o:  $\vee$ ).

P	Q	$P \vee Q$
C	C	C
C	F	C
F	C	C
F	F	F

4. Condicional (si ... entonces:  $\rightarrow$ ).

P	Q	$P \rightarrow Q$
C	C	C
C	F	F
F	C	C
F	F	C

5. Bicondicional o equivalencia (si y sólo si:  $\leftrightarrow$ ).

P	Q	$P \leftrightarrow Q$
C	C	C
C	F	F
F	C	F
F	F	C

### LOGICA DIFUSA.

Las reglas difusas de inferencia fueron establecidas hace sólo unas décadas, basados en las reglas precisas que son mucho más viejas. Las reglas difusas son generalizaciones y las reglas precisas son un caso especial dentro de ellas.

La lógica difusa muestra que la verdad es en sí misma difusa. Las reglas de inferencia difusa son reglas para derivar verdades a partir de declaraciones o para poner a prueba una verdad. Por ejemplo en lógica precisa:

$$A \rightarrow B$$

utilizando el modus ponendo ponens tendríamos cualquiera de las siguientes expresiones:

- 1o. Dado que A es verdadera y que A implica B (B es inferida de A), entonces B es también verdadera,
- 2o. Si A es verdadera, entonces B también es verdadera,
- 3o. Si A (es verdadera)  
y A entonces B (A implica a B)  
entonces B (es verdadera)

en la forma negativa se usa el modus tollendo tollens para

$$A \rightarrow B$$

y tendríamos las siguientes expresiones:

- 1o. Dado que B es falsa y A implica a B, entonces A es también falsa,
- 2o. Si No B (es falsa)  
y A entonces B (A implica a B)  
entonces No A (es falsa)

combinándolas y aplicándolas a la lógica tradicional tendríamos:

Si la manzana es roja  
y una manzana roja es una manzana madura  
entonces la manzana es madura

o bien:

Si la manzana no esta madura  
y una manzana roja es una manzana madura  
entonces la manzana no es roja.

En una situación precisa la palabra madurez nos lleva a que si la manzana es roja entonces esta madura o a que si no esta madura entonces no es roja.

Pero el color rojizo puede interpretarse de varias formas, según el tono del color rojo y por lo tanto esta es una situación difusa, como por ejemplo:

Como la manzana es muy roja  
y una manzana roja es una manzana madura  
entonces la manzana esta muy madura

o bien:

Como la manzana 1 esta muy madura  
y la manzana 2 no es tan madura como la manzana 1  
entonces la manzana 2 esta más o menos madura.

Cuando en un sistema de computo tratan con incertidumbre e imprecisión en el contexto de la inferencia, entonces ha llegado el momento de usar lógica difusa. Hasta aquí, algunas de las características esenciales de la lógica difusa son:

- ✓ La verdad; en los sistemas lógicos bivalentes, sólo puede tener 2 valores: falso o verdadero, 0 o 1. En la lógica difusa, la verdad puede tomar un valor en el intervalo cerrado que va de 0 a 1, dando posibilidad al manejo de expresiones como verdadero, muy verdadero, no tan verdadero, etc.
- ✓ Predicados; en sistemas bivalentes los predicados son precisos: igual, mayor que, menor que. En lógica difusa, los predicados son difusos, por ejemplo: alto, enfermo, pronto, rápido, mucho mayor que, etc. En el lenguaje natural los predicados son más difusos que precisos.
- ✓ Adverbios; en el sistema clásico el adverbio de mayor uso es No. En lógica difusa la variedad es mucho mayor como: muy, más o menos, bastante, extremadamente. Por ejemplo: muy joven, no muy joven, más o menos joven, etc.

## CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

- ✓ Cuantificadores; en la lógica clásica existen sólo 2 cuantificadores: el cuantificador universal (Para todo:  $\forall$ ) y el cuantificador existencial (Existe algún:  $\exists$ ). La lógica difusa admite, además: pocos, varios, usualmente, la mayoría, casi siempre, frecuentemente, más de, etc.
- ✓ Probabilidades; en los sistemas de lógica clásica, la probabilidad es un número o intervalo. En lógica difusa, además de lo anterior se pueden ejemplificar con palabras como probable, improbable o muy probable, etc. las cuales pueden ser interpretadas como números difusos. Por ejemplo: mañana será un día caluroso, donde caluroso es un predicado difuso, y para calcular su probabilidad se aplican numeroso difusos.
- ✓ Posibilidades: en el modelo clásico sólo existen 2 posibles resultados (la ocurrencia o no). En la lógica difusa, además, es posible emplear y evaluar frases como posible, muy posible o casi imposible.

Por lo tanto, para la lógica difusa, la lógica matemática es un caso particular; todo es un asunto de grado y cualquier sistema lógico se puede hacer difuso.

### REGLAS DE INFERENCIA LOGICA DIFUSA.

#### 1. Regla de la vinculación.

X es A	Mary es muy joven
<u>A subconjunto B</u>	<u>muy joven es subconjunto de joven</u>
X es B	Mary es joven

#### 2. Regla de la conjunción o intersección.

X es A	La presión no esta muy alta
<u>X es B</u>	<u>La presión no esta muy baja</u>
X es A y B	La presión no esta muy alta y no esta muy baja

#### 3. Regla de la disyunción.

X es A	Ana es de ojos azules
<u>X es B</u>	<u>Ana es rubia</u>
X es A o B	Ana es de ojos azules o es rubia

#### 4. Regla de la proyección.

<u>(X, Y) es R</u>	<u>(X, Y) esta cerca a (3,2)</u>
X es R	X esta cerca de 3

#### 5. Regla de la composición.

(X, Y) es A	X es mucho mayor que Y
<u>Y es B</u>	<u>Y es mayor</u>
X es A o B	X es mucho mayor que el mayor de Y

#### 6. Regla de la negación.

<u>No (X es A)</u>	<u>No (Mary es joven)</u>
X es No A	Mary no es joven

#### 7. Principio de extensión.

X es A	X es pequeño
f(X) es f(A)	X <sup>2</sup> es pequeño al cuadrado, si se define f(A)=A <sup>2</sup> .

### CAPITULO III. LA LOGICA DIFUSA.

Las tablas de certeza difieren bastante más en lógica difusa que en la lógica tradicional. Por ejemplo, sean X y Y dos proposiciones difusas con los siguientes valores:  $X=0.7$  y  $Y=0.2$ , entonces tendríamos:

1. Negación (No).

<u>X</u>	<u>No X</u>	<u>Y</u>	<u>No Y</u>
0.7	0.3	0.2	0.8

2. Conjunción (y).

<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>X y Y (MINIMO)</u>
0.7	0.2	0.2

3. Disyunción (o).

<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>X o Y (MAXIMO)</u>
0.7	0.2	0.7

4. Condicional (si ... entonces).

<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>X entonces Y</u>
0.7	0.2	0.2

5. Bicondicional o equivalencia (si y sólo si).

<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>X si y sólo si Y</u>
0.7	0.2	0.2

6. Diferencia (menos).

<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>X menos Y</u>
0.7	0.2	0.5

**CAPITULO IV.  
LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.**

**IV.1. METODOLOGIA PARA EL DISEÑO BASICO DE UN SISTEMA DIFUSO.**

**SISTEMAS DIFUSOS.**

La mayoría de los productos comerciales difusos son sistemas basados en reglas que controlan la operación de un dispositivo mecánico o de otro tipo. El controlador difuso recibe información actualizada como retroalimentación del dispositivo que opera. La información precisa del dispositivo es convertida a valores difusos que posteriormente son procesados por la base de conocimientos difusos. La salida difusa es desdifusificada (convertida a valores precisos) lo que cambia las condiciones de operación del dispositivo.

Para los expertos en administración y negocios, los problemas y las soluciones de sus áreas se dividen en varias categorías, a saber<sup>86</sup>:

- **Prescriptivos.**- Los problemas prescriptivos requieren de la toma de una decisión específica. Para este tipo de problemas existe un proceso para la toma de decisiones difusas.
- **Descriptivos.**- Aquí lo necesario es identificar el problema. Este tipo de problemas es una fase temprana de la toma de decisiones, así es que el proceso para la toma de decisiones difusas podría ser útil para tratar con este tipo de problemas e incluso para el resto de la solución, como tratar con los cuellos de botella.
- **Optimizadores.**- Un optimizador establece los criterios de realización. Identifica las condiciones o acciones que permiten al sistema conocer el criterio. Aquí se requiere del conocimiento de los expertos, por lo que el procedimiento a seguir es el de construir un conocimiento difuso.
- **Satisfactorios.**- Un problema de satisfacción determina como obtener "lo menos peor", cómo maximizar las operaciones con restricciones anteriormente establecidas. Para este tipo de problemas sería conveniente emplear el método de la toma de decisiones difusas o la construcción del conocimiento difuso.
- **Predictivos.**- Una solución a un problema predictivo usa resultados pasados y los proyecta al futuro (extrapolación). Los problemas predictivos pueden ser resueltos por el método de la construcción del conocimiento difuso o por el método del amplificador del pensamiento difuso.

---

<sup>86</sup> McNEILL, F. Martin and THRO, Ellen, Fuzzy logic. A practical approach, New York: AP Professional, 1992, pp. 60 - 61.

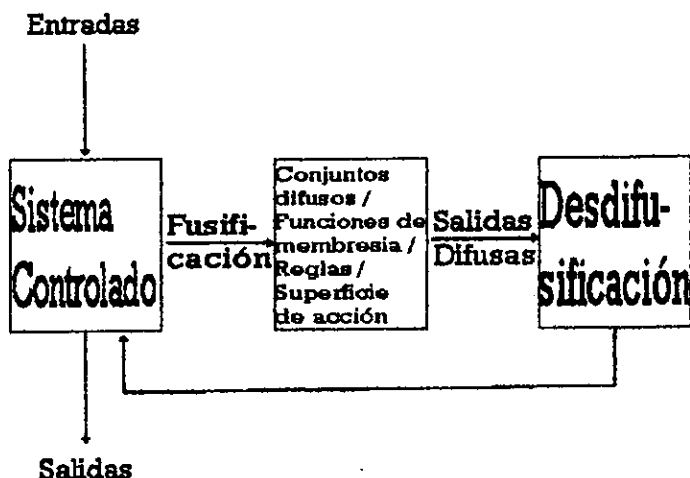


Figura 14: Diagrama de un controlador difuso.

### CREANDO UN SISTEMA DE CONTROL DIFUSO.

El método estándar de creación de un sistema de control difuso involucra la identificación y nombramiento de las entradas y salidas difusas, crear las funciones de membresía difusas para cada una de ellas, construir la base con las reglas y decidir como será ejecutada la acción.

#### 1.- IDENTIFICAR Y NOMBRAR LAS ENTRADAS DIFUSAS.

Las primeras partes del diseño de un control difuso son extraídas de la experiencia intuitiva de un experto. Por ejemplo, suponga que usted desea crear un sistema difuso que usa la forma en que un ciclista determina como y cuando frenar. Este es un sistema que utilizará dos entradas y una salida.

Como cualquier ciclista podría suponer, las dos variables de entrada son velocidad y distancia. El siguiente paso es identificar los rangos difusos para cada variable.

**Velocidad.**- Un ciclista, cualquier ciudadano, pedalea a lo largo de una calle a una velocidad de entre 55 y 80 kilómetros por hora. La calle en cuestión esta restringida a una velocidad máxima de 55 kilómetros por hora. Naturalmente el ciclista es un ciudadano que se comporta dentro de las normas, aunque ocasionalmente se excede un poquito, de tal manera que podemos identificar cuatro rangos de velocidad difusos: Alto (en el sentido de detenido o alto total), Lento, Un poco rápido y Realmente rápido.

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

---

### Nombres y rangos para la variable de entrada difusa velocidad del ciclista

---

Nombre	Rango (kph)
Alto	0 - 3
Lento	2 - 15
Un poco rápido	10 - 50
Realmente rápido	40 - 80

---

Distancia.- Permítanos decir que una calle en la ciudad es de aproximadamente 200 metros de largo, y que todas las consideraciones del frenado se realizan dentro del ultimo cuarto de la calle (aproximadamente 50 metros) antes de llegar a una esquina con una señal de alto. El ciclista da al sistema cinco distancias difusas para su rango, antes del signo de alto que son las siguientes: En (la esquina), Realmente cerca, Cerca, Un poco lejos y Realmente lejos.

---

### Nombres y rangos para la variable de entrada difusa distancia del ciclista

---

Nombre	Rango (metros)
En	0 - 2
Realmente cerca	0 - 10
Cerca	5 - 20
Un poco lejos	15 - 30
Realmente lejos	30 - 50

---

## 2.- IDENTIFICAR Y NOMBRAR LAS SALIDAS DIFUSAS.

Existe sólo una salida para el ejemplo del ciclista: la presión de frenado, medido en porcentaje del total de la capacidad de frenado. Los rangos de frenado difusos del ciclista son: Ninguno, Ligero, Medio y Duro.

---

### Nombres y rangos para la variable de salida difusa presión de frenado del ciclista

---

Nombre	Rango (porcentaje)
Ninguno	0 - 1
Ligero	1 - 30
Medio	25 - 75
Duro	65 - 100

---



## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

Como con las entradas, la mayoría de las salidas del sistema de control están en los rangos menores.

### 3.- CREAR LAS FUNCIONES DE MEMBRESIA.

Los sistemas de control son sistemas "expertos", lo que significa que ellos son modelados sobre la experiencia experta de gente real. El siguiente paso es incorporar tales experiencias para definir las funciones de membresía para cada variable de entrada o de salida.

Las siguientes son las funciones de membresía difusas para variables de entrada y salida:

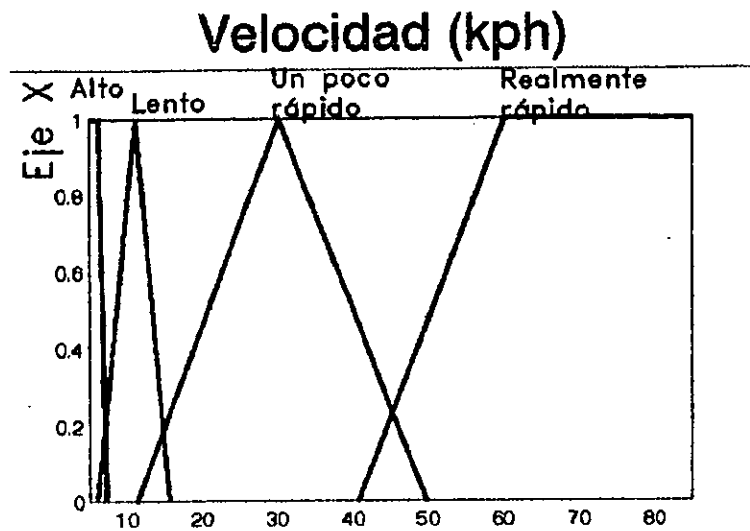


Figura 15: Variable de entrada.- Velocidad.

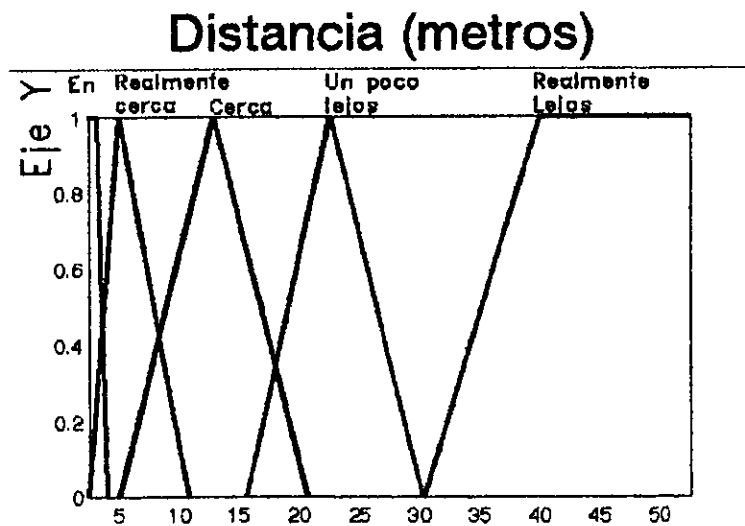


Figura 16: Variable de entrada.- Distancia.

## Presión de frenado (%)

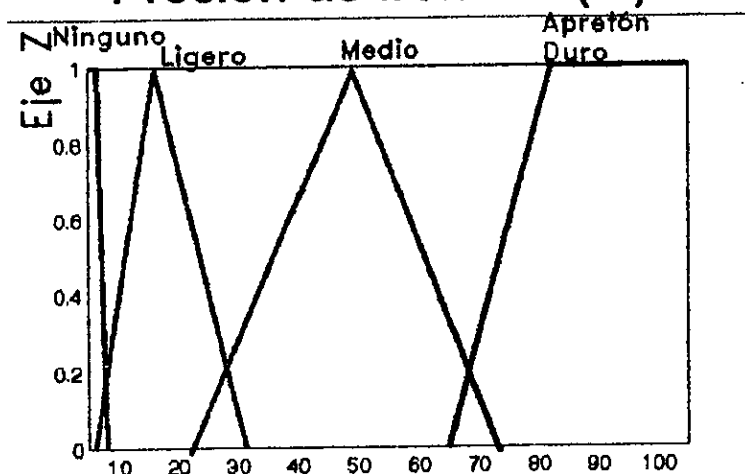


Figura 17: Variable de salida.- Presión de frenado.

### 4.- CONSTRUIR LA BASE DE LAS REGLAS.

Ahora escribimos las reglas que traducirán las entradas en las actuales salidas. La primer cosa por hacer es crear una matriz - una hoja de cálculo - con las entradas. La matriz del ciclista coloca a la Velocidad a lo largo del eje horizontal (Eje X) y a la Distancia a lo largo del eje vertical (Eje Y).

## Matriz con acciones

		Eje X (Velocidad)			
		Alto	Lento	Un poco rápido	Realmente rápido
Eje Y (Distancia)	En	Ninguno	Medio	Apretón duro	Apretón duro
	Realmente cerca	Ninguno	Ligero	Apretón duro	Apretón duro
	Cerca	Ninguno	Ligero	Apretón duro	Apretón duro
	Un poco lejos	Ninguno	Ninguno	Medio	Medio
	Realmente lejos	Ninguno	Ninguno	Ligero	Ligero
		Eje Z (Presión de frenado)			

Figura 18: Matriz de dos entradas y una salida, de tamaño 5x4.

### DISEÑANDO LAS INTERACCIONES.

La matriz proporciona una celda vacía por cada combinación de Distancia - Velocidad. Cada una de las celdas contiene una acción de salida difusa.

Las acciones son aquellas diseñadas por la variable de salida en sus funciones de membresía. Uno de los propósitos de la matriz es mirar a la relación

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

de variables de entrada y salida como un todo completo. En este punto, el diseño del sistema de control puede refinar las entradas y salidas y añadir adicionales funciones de membresía, si es necesario.

### ESCRIBIENDO LAS REGLAS.

En el siguiente paso, el diseñador del sistema usa la matriz como la base para las reglas actuales, una regla por cada celda de la matriz. Por ejemplo, en la siguiente tabla se muestran algunas de las 20 reglas del tipo Si – entonces ( $\rightarrow$ ), cada una de las cuales es una regla con el conector "y" ( $\wedge$ ).

---

#### Reglas del ciclista

---

Si usted está en la señal de alto y está en alto (detenido),

Entonces la presión de frenado es ninguna.

Si usted está realmente cerca de la señal de alto y está en alto (detenido)

Entonces la presión de frenado es ninguna.

...

Si usted está realmente lejos de la señal de alto y está yendo realmente rápido,

Entonces la presión de frenado es ligera.

---

### HACIENDO QUE LAS REGLAS "TRABAJEN DIFUSAMENTE".

Desde que el modelo del ciclista es difuso, existen grados en la función de membresía, incluso, las reglas difusas "se ejecutan difusamente". El grado de membresía determina el grado en el cual la regla se ejecuta. Debido a que varios conjuntos están involucrados, varias reglas se ejecutan. Por ejemplo, suponga que el ciclista va a 11 kilómetros por hora y esta aproximadamente a 8 metros de la señal de alto. La velocidad de 11 kilómetros cae dentro de dos conjuntos de velocidad difusos:

Lento	2 - 15 kph, y
Un poco rápido	10 - 50 kph

mientras que la distancia de 8 metros también cae dentro de dos conjuntos difusos para la distancia:

Realmente cerca	0 - 10 metros, y
Cerca	5 - 20 metros.

Esto significa que cuatro celdas de la matriz están involucradas en la ejecución, como ha quedado señalado en la siguiente figura por medio de un cuadro más remarcado.

## Ejecución de reglas difusas

		Eje X (Velocidad)			
		Alto	Lento	Un poco rápido	Realmente rápido
Eje Y (Distancia)	En	Ninguno	Medio	Apretón duro	Apretón duro
	Realmente cerca	Ninguno	Ligero	Apretón duro	Apretón duro
	Cerca	Ninguno	Ligero	Apretón duro	Apretón duro
	Un poco lejos	Ninguno	Ninguno	Medio	Medio
	Realmente lejos	Ninguno	Ninguno	Ligero	Ligero
		Eje Z (Presión de frenado)			

Figura 19.

Las cuatro reglas para en este tipo de caso quedarían establecidas como sigue:

Si la función de membresía para la velocidad lenta es  $x$   
 Y la función de membresía para la distancia cerca es  $y$ ,  
 Entonces la regla en la celda de la matriz lento - cerca (presión de frenado: ligero) se ejecuta parcialmente.

Si la función de membresía para la velocidad lenta es  $x$   
 Y la función de membresía para la distancia realmente cerca es  $y$ ,  
 Entonces la regla en la celda de la matriz lento - realmente cerca (presión de frenado: ligero) se ejecuta parcialmente.

Si la función de membresía para la velocidad un poco rápido es  $x$   
 Y la función de membresía para la distancia cerca es  $y$ ,  
 Entonces la regla en la celda de la matriz un poco rápido - cerca (presión de frenado: apretón duro) se ejecuta parcialmente.

Si la función de membresía para la velocidad un poco rápido es  $x$   
 Y la función de membresía para la distancia realmente cerca es  $y$ ,  
 Entonces la regla en la celda de la matriz lento - cerca (presión de frenado: apretón duro) se ejecuta parcialmente.

### 5.- DECIDIR COMO EJECUTAR LAS ACCIONES.

En esta etapa se define como calcular el grado en el cual cada regla se ejecuta. Se coloca a las entradas en las dimensiones vertical y horizontal, y a la salida como una tercera dimensión, de profundidad. Esta es la dimensión que cambia un cuadrado a un cubo. Este espacio tridimensional también es conocido

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

como el espacio cartesiano, con cada una de las dimensiones llamadas los ejes - el eje x, el eje y, y el eje z.

Otra forma de pensar acerca de la tercera dimensión es imaginar el proceso de poner una tienda con postes y lonas. Primero, se colocan los postes verticalmente. Después, se levantan las lonas a desde el suelo (las dimensiones de x y de y), así que una parte de ellas esta apoyada en las partes de arriba de los postes (la dimensión z).

Suponga que en lugar de una tienda, desea levantar un pabellón sobre un espacio dado. En este caso, probablemente tendrá cuatro postes de la misma longitud, uno en cada esquina, con la lona asegurada a la parte superior de cada poste. Si tomamos el piso como el nivel, tendremos que el pabellón será más o menos nivelado también.

Pero suponga que esta levantando un pabellón para otros fines en los que no es necesario que la lona este igualmente nivelada. En este caso podría levantar muchos postes de longitudes distintas para colocarlos en diferentes lugares. Una vez que tiene los postes colocados, se coloca la lona en lo alto de cada poste. ¿Cómo cree que lucirá este pabellón? En lugar de ser más o menos llano, la superficie del pabellón lucirá colgada, con picos y valles determinados por las alturas de los postes.

En este escenario, el "campo" representa la matriz de entradas, los postes representan la interacción de las dos entradas, y el pabellón es la salida o el grado en el cual las reglas desdifusificadas se ejecutan. A este pabellón colinoso se le llama una superficie de acción difusa, debido a que es donde actualmente las acciones están representadas. La superficie de acción difusa (también llamada una superficie de estimación difusa) realiza la misma acción de relación de las entradas difusas con sus apropiadas salidas. En otras palabras, ejecuta la acción o el juicio como un humano experto bajo las mismas circunstancias; es decir, estima, interpola, extrapola, transforma, decide, categoriza, extrae características, controla, simplifica o anticipa.

La forma original de crear una superficie de acción difusa, se realizó con un dispositivo llamado Memoria Asociativa Difusa o MAD en español (o FAM = Fuzzy Associative Memory, en inglés). Las MADs son intensamente matemáticas y muy teóricas, pero poco practicas. En algún lugar muy lejano, alguien descubrió que las funciones de membresía triangulares realizan el mismo trabajo que las MADs y son mucho más fáciles de trabajar.

Pero, ¿cómo se determina la salida difusa? La lógica difusa es aplicada a las reglas difusas. Por ejemplo, suponga que una de las primeras celdas de la matriz este establecida con los siguientes valores de entrada:

Si la función de membresía para velocidad lenta es 0.7

Y la función de membresía para la distancia cercana es 0.5,

esa es una regla del tipo de Y, significando que la porción "Entonces" es una conjunción (o el valor mínimo) de los siguientes valores de entrada:

0.7 Y 0.5

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

y cuyo resultado sería:

0.5

lo que se traduciría en:

Entonces la regla en la celda de la matriz Lenta - Cercana, ejecuta una fuerza de 0.5 en la presión del frenado.

Existen dos métodos básicos para traducir la ejecución de las reglas en valores de salida precisos y son: el difuso "o", y el centroide.

**EL "O" DIFUSO.**

Para determinar el valor de salida, se ejecuta una operación de disyunción ("o", ó valor máximo) sobre ellos, por ejemplo:

0.5 o 0.3 o 0.7 o 0.8

resulta en:

0.8 (valor máximo)

esto significa que el valor de salida preciso debería ser 0.8 del máximo poder de frenado.

**EL CENTROIDE.**

El centroide es la técnica más ampliamente usada en los procesos de desdifusificación, ya que tiene varias propiedades deseables, como que el valor desdifusificado tiende a desplazarse suavemente alrededor de la región difusa de salida, es decir, que registra cambios suaves en el valor esperado, además de que es relativamente fácil de calcular y de que puede ser aplicado a conjuntos difusos de salida triangulares. El centroide calcula el centro de la función de membresía difusa ajustado al grado de ejecución de las reglas. Este trabaja como sigue:

- Primero, se modifica cada una de las funciones de membresía de salida afectadas, de tal manera que se vea cortada en el valor indicado por la regla que se ejecuta. Por ejemplo, si la regla involucra una función de membresía que se ejecuta en 0.5, la curva cubre el área de la función de membresía desde 0 hasta 0.5, en vez de ir desde 0 hasta 1. El área entre 0.5 y 1 queda cortada, cambiando la figura de un triángulo a un trapecoide, como se muestra a continuación:

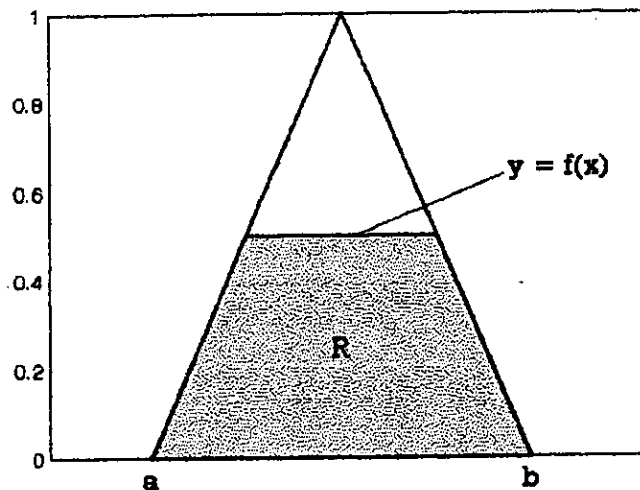


Figura 20: Una función de membresía triangular modificada a un trapecoide.

- Lo siguiente es calcular el centroide - ó el centro de actividad - de cada curva de membresía de salida que haya sido modificada.
- Se toma una media aritmética ponderada de los centroides, esto transforma en precisos a los números de salida.

Un centroide es un centro de masa (en una región plana) o un centro de gravedad. Para calcularlo definimos como R a la región limitada por la curva  $y=f(x)$ , al eje X y a las rectas  $x=a$  y  $x=b$  (líneas rectas). La función  $f$  es continua en el intervalo  $[a, b]$  y  $f(x) \geq 0$  para toda  $x$  del intervalo  $[a, b]$ . Si  $M_x$  denota el momento de R con respecto al eje X y  $M_y$  denota el momento de R con respecto al eje Y, entonces

$$M_x = \frac{1}{2} \int_a^b (f(x))^2 dx, \text{ y}$$

$$M_y = \int_a^b x f(x) dx$$

Si  $E(x)$  y  $E(y)$  son los valores esperados de  $x$  y de  $y$  respectivamente, entonces  $(E(x), E(y))$  es el centroide de la región plana R, cuya área es A unidades cuadradas, donde  $M_x$  y  $M_y$  se definieron en el párrafo anterior y entonces:

$$E(x) = \frac{M_x}{A}$$

$$E(y) = \frac{M_y}{A}$$

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

Con  $A = \int_a^b f(x)dx$ ,

donde A es el valor del área de la región plana R.

Además del método del centroide (centro de gravedad), existen otros métodos usados para derivar el valor esperado de una variable de salida del sistema difuso. Otro método también muy usado es el método de altura máxima, en el que existen tres tipos de técnicas para la altura máxima, estrechamente relacionados entre si: el promedio del máximo, el centro de los máximos y el máximo compuesto. Pero a diferencia de la técnica del centroide, la desdifusificación por máximos tiene algunos atributos que son aplicables generalmente a una clase de problemas mucho más específicos, debido sobretodo a si el valor esperado es sensible a una sola regla que domina el conjunto de reglas difusas y a que dicho valor esperado tiende a cambiar de un sistema elaborado al siguiente, conforme la forma de la región difusa cambia. Esta técnica ha tenido una mayor aplicación en modelos que evalúan la extensión máxima de algunas propiedades difusas, como por ejemplo, en el caso de la evaluación de riesgos.

Finalmente existen otras técnicas para desdifusificar un conjunto difuso a un valor esperado, que no son tan generales como el método del centroide o la técnica de altura máxima, ya que requieren normalmente de un conocimiento especial sobre la infraestructura del modelo. Estos métodos son: el promedio de los valores máximos, el promedio del conjunto soportado, el extremo más próximo junto con el más alejado del conjunto soportado y el centro de los máximos.



**IV.2. ALGORITMO DE LA LOGICA DIFUSA.**

La lógica difusa es una tecnología que traduce las descripciones del lenguaje natural de decisiones políticas a un algoritmo que usa un modelo matemático. Este modelo matemático consiste de tres secciones principales: difusificación, inferencia y desdifusificación.

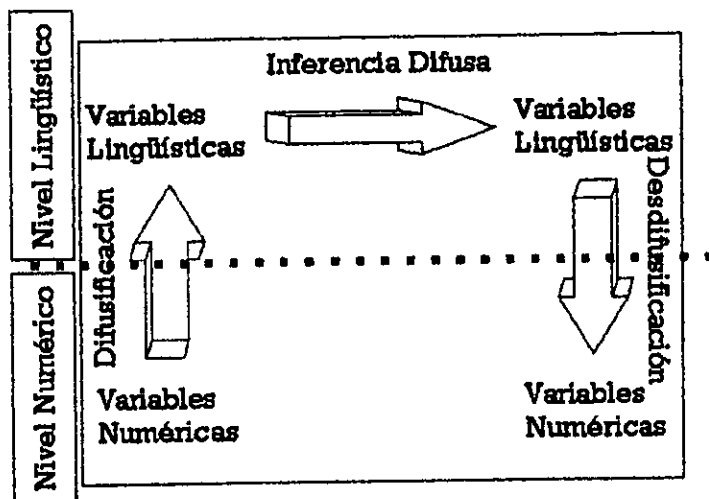


Figura 21: Estructura de un sistema de lógica difusa. El algoritmo de la lógica difusa consiste de tres pasos: Difusificación, Inferencia Difusa y Desdifusificación.

**DIFUSIFICACION USANDO VARIABLES LIGUISTICAS.**

La difusificación es el proceso por medio del cual se asigna o se calcula un valor que representa el grado de membresía (puede ser un valor subjetivo), para todos los conjuntos difusos definidos sobre alguna variable de entrada, dado que el estado actual de dicha variable se toma como una cantidad no difusa.

Como ejemplo financiero se establecerá el caso de estudio de la evaluación de la liquidez financiera a cuatro clientes de un banco que solicitan un préstamo<sup>87</sup>.

En el sistema, una evaluación de los sujetos de crédito para los clientes de un banco en busca de créditos, se deriva de múltiples factores financieros y personales y tiende a decidir si un préstamo esta garantizado o no.

La siguiente figura muestra un plan simplificado de la estructura del sistema. Un total de ocho variables de entrada son usadas para la evaluación. Note que las cuatro variables de entrada superiores denotan "factores duros", son números que emanan de entradas que están dadas numéricamente. Las cuatro

<sup>87</sup> \_\_\_\_\_, "CreditExpert - ASK", INFORM GmbH Aachen and Inform Software Corporation Chicago (1986).

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

variables de entrada inferiores denotan "factores blandos", son evaluaciones subjetivas de la personalidad y estilo de vida de los solicitantes de crédito.

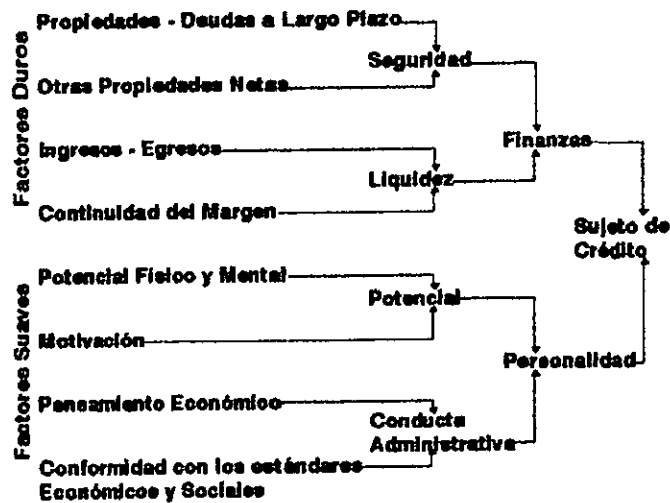


Figura 22: Jerarquía de agregación para una estimación de sujetos de crédito usando lógica difusa.

De cierta manera, tal modelo de decisiones jerárquicas "comprime", paso a paso, la información deseada sobre los sujetos de crédito a partir los datos originales, en este caso, las ocho variables de entrada.

Mientras que el diseño de un modelo de decisiones jerárquicas es relativamente simple, es difícil decidir como la información debería ser combinada en cada nodo. Por ejemplo, el nodo que define la Liquidez usa dos entradas: Ingresos – Egresos (mejor conocido como flujo de efectivo) y Continuidad del Margen. De esta manera, la Liquidez de un cliente es evaluada a partir de la cantidad de flujo de efectivo y de su continuidad.

A continuación se muestran los cuatro clientes de este ejemplo. Los ingresos menos los egresos representan su valor anual (en dólares estadounidenses) y la continuidad de margen es un valor calculado usando funciones estadísticas de la fluctuación del ingreso menos el egreso sobre los años pasados. Una continuidad cercana al 1 denota un muy estable flujo de efectivo; una continuidad cercana a 0 denota una enorme fluctuación.

Cliente	Ingresos – Egresos	Continuidad del Margen
DeMarco	\$118,000	0.12
Pommerland	\$45,700	0.71
Wang	\$94,250	0.89
Beauchamps	\$37,400	0.22

Para este tipo de modelos de decisión, han sido desarrollados un gran número de técnicas diferentes en las décadas pasadas. Sobresalen entre otros, los modelos de tarjetas de puntos, las tablas de decisiones y los sistemas expertos. Una de las técnicas que a obtenido mayor relevancia practica es la del modelo de tarjeta de puntos.

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

En esta técnica, a cada variable de entrada se le asigna un número de puntos que cuantifica con cuanto participa al valor de un nodo. En un esquema más complejo de tarjetas de puntos, a muchas variables de entrada les son asignados puntos, dependiendo de que tanto la respectiva variable de entrada tiene un o no valor favorable. Al sumar todos los resultados se produce un solo número que expresa la evaluación completa.

Pero esta técnica, como todas las demás, presenta algunas desventajas. Por ejemplo, si un cliente no tiene ingresos actuales, pero ha tenido una situación muy estable, lo cual le daría por este rubro muchos puntos para la continuidad, pero ninguno para ingresos, podría resultar que en su conjunto califique como sujeto de crédito. Este sería un error que ningún evaluador humano cometería, aunque ejemplifica una de las fallas de los modelos de tarjetas de puntos.

No obstante de las limitaciones del modelo de tarjeta de puntos, es ampliamente usado para varias aplicaciones con calificaciones, sobretodo en evaluación de bienes raíces, evaluación de riesgos, clasificación de compañías y muchos otros. La razón de esto es que todas las demás técnicas de evaluación de multi-criterio son demasiado complejas o demasiado poco transparentes para un extenso uso comercial. Sin embargo, la lógica difusa tiene el potencial de cambiar esta situación. La lógica difusa elimina las deficiencias de los modelos de tarjetas de puntos mientras que, simultáneamente, representa un sistema transparente de fácil manejo.

En pocas palabras, la lógica difusa es una tecnología que traslada las descripciones del lenguaje natural de políticas de decisión, a un algoritmo usando un modelo matemático.

Las variables lingüísticas tienen que ser definidas para todas las variables usadas en las reglas de "Si - Entonces". Los posibles valores de una variable lingüística son llamados los términos o etiquetas.

En el caso de una evaluación de la liquidez, los términos básicos a considerar serían:

---

Posibles valores (términos) para las variables lingüísticas:

---

1. Ingreso	∈	{bajo, medio, alto}
2. Continuidad	∈	{baja, media, alta}
3. Liquidez	∈	{muy baja, baja, media, alta, muy alta}

---

Para cada variable lingüística, cada término está definido por su función de membresía. Las siguientes gráficas muestran las posibles definiciones para las dos variables de entrada: ingreso y continuidad.

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

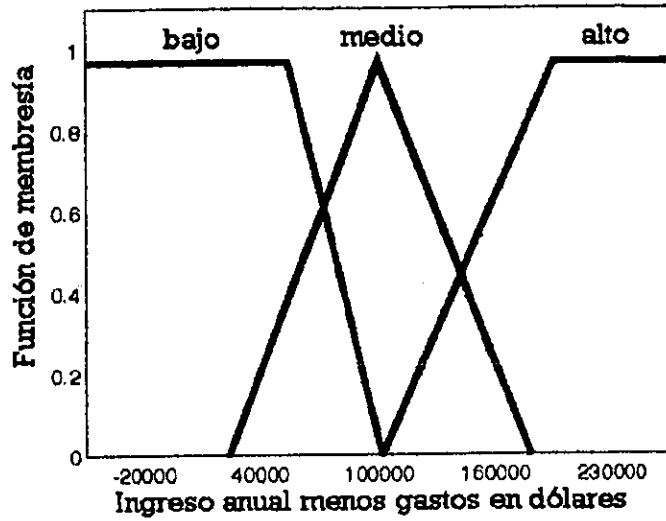


Figura 23: Variable lingüística "Ingreso".

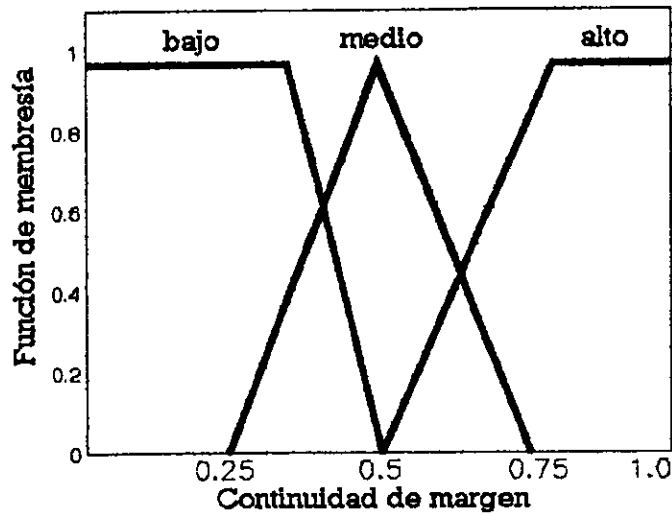


Figura 24: Variable lingüística "Continuidad".

Los valores de una variable lingüística pueden ser expresados en dos formas. Una es como el vector del grado de membresía para un conjunto difuso, que define los términos de una variable lingüística, como se muestra en la siguiente tabla, que muestra una traducción lingüística de los datos numéricos de los clientes:

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

Cliente	Valor lingüístico de ingresos menos egresos	Valor lingüístico de la continuidad del margen
DeMarco	{bajo=0, medio=0.85, alto=0.15}	{bajo=1, medio=0, alto=0}
Pommerland	{bajo=0.8, medio=0.2, alto=0}	{bajo=0, medio=0.1, alto=0.9}
Wang	{bajo=0.1, medio=0.9, alto=0}	{bajo=0, medio=0, alto=1}
Beauchamps	{bajo=1, medio=0, alto=0}	{bajo=1, medio=0, alto=0}

La otra forma puede ser expresar estos valores lingüísticos usando sólo palabras. Los grados de membresía son entonces expresados por palabras tales como "ligeramente", "casi", "un poco", "regular", "bastante", "mucho" o "completamente". La siguiente es una interpretación lingüística de los valores de la tabla anterior:

Cliente	Valor lingüístico de ingreso menos egreso	Valor lingüístico de continuidad del margen
DeMarco	más bien medio, ligeramente alto	bajo
Pommerland	más bien bajo, ligeramente medio	ligeramente medio, mucho muy alto
Wang	ligeramente bajo, mucho muy medio	alto
Beauchamps	bajo	bajo

### INFERENCIA LOGICA DIFUSA USANDO REGLAS SI-ENTONCES.

Ahora que todos los valores numéricos de entrada han sido convertidos a valores lingüísticos, el paso de la inferencia difusa puede identificar las reglas que aplican a la situación actual y puede calcular los valores de las variables lingüísticas de salida. Es en esta etapa donde la lógica difusa imita la forma humana de tomar decisiones, basada en conceptos difusos y en inferir acciones de control difusas, es decir, empleando las reglas de inferencia propias de la lógica difusa. Aquí se realiza la evaluación de las reglas difusas contenidas en la base de reglas, esperando que se logre una meta determinada. Como una ilustración, se muestra un subconjunto de cuatro reglas:

Regla $\alpha$ :	Si ingreso = bajo,	Entonces liquidez = muy baja
Regla $\beta$ :	Si ingreso = medio Y continuidad = baja,	Entonces liquidez = baja
Regla $\chi$ :	Si ingreso = medio Y continuidad = alta,	Entonces liquidez = alta
Regla $\delta$ :	Si ingreso = alto Y continuidad = media,	Entonces liquidez = media

El computo de la inferencia difusa consiste de dos componentes:

- Agregación: computo de la parte Si de las reglas, y
- Composición: computo de la parte Entonces de las reglas.

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

### AGREGACION.

La parte "Si" de la regla  $\chi$  por ejemplo, combina las dos condiciones: "ingreso=medio" y "continuidad=alta". La parte "Si" define si la regla es valida para el caso actual o no. En lógica convencional, la combinación de las dos condiciones pueden ser calculadas por el conector booleano "Y", como es mostrado en la siguiente tabla:

A	B	A Y B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Pero en el caso de lógica difusa, el booleano "Y" no puede ser usado debido a que no cumple con la condición, ya que ahora son "más o menos" verdaderas. Por lo tanto, nuevos operadores han sido definidos por la lógica difusa para representar conexiones lógicas tales como "Y", "O" ó "No". El primer conjunto de operadores que ha sido propuesto consta de tres operadores que son usados en la mayoría de las aplicaciones de lógica difusa actuales:

- Y:  $\mu A \wedge B = \min\{\mu A, \mu B\}$  = valor mínimo
- O:  $\mu A \vee B = \max\{\mu A, \mu B\}$  = valor máximo
- NO:  $\mu \neg A = 1 - \mu A$  = complemento

Usando el operador min para representar el lógico "Y", se muestra como las partes "Si" de las reglas de nuestro ejemplo podrían calcularse para, por ejemplo, el cliente Pommerland:

- 
- Regla  $\alpha$ :  $\min\{0.8\}=0.8$
  - Regla  $\beta$ :  $\min\{0.2; 0.0\}=0.0$
  - Regla  $\chi$ :  $\min\{0.2; 0.9\}=0.2$
  - Regla  $\delta$ :  $\min\{0.0; 0.1\}=0.0$
- 

Estos resultados son los grados de verdad de las partes Si y por lo tanto indican cuan adecuada es cada regla para el caso actual.

### COMPOSICION.

Cada regla define la evaluación de resultados para un cierto caso prototipo en la parte del "Entonces". El grado en el cual la evaluación resultante es valida

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

esta dada por la adecuación de la regla del caso actual. Esta adecuación es computada por la agregación como el grado de verdad de la parte "Si". Por lo tanto, la regla  $\alpha$  tiene la evaluación resultante "Liquidez=muy baja" para el grado 0.8, y la regla  $\chi$  el resultado "Liquidez=alta" para el grado 0.2.

Entonces, el valor de la variable lingüística "Liquidez" para el cliente Pommerland sería:

Liquidez = {muy baja=0.8, baja=0.0, media=0.0, alta=0.2, muy alta=0.0}

Una interpretación lingüística de este resultado podría ser "liquidez bastante baja, ligeramente alta".

En algunas aplicaciones, una interpretación lingüística del resultado es suficiente; por ejemplo, cuando el resultado es usado para probar una respuesta verbal o cualitativa. En otras aplicaciones, un valor numérico como salida es requerido, por ejemplo, para clasificar casos o - como en el ejemplo del sujeto de crédito - decidir sobre la aceptación o rechazo de una aplicación de crédito. En casos donde una salida numérica es requerida, el paso de desdifusificación debe seguir al de la inferencia lógica difusa.

### DESDIFUSIFICACION USANDO VARIABLES LINGUISTICAS.

Esta es la fase final del sistema. Aquí se parte de un conjunto de funciones de membresía definidas sobre alguna variable de salida que representan una respuesta o conclusión difusa, pero de la cual se debe obtener un valor escalar que represente una respuesta más precisa para el sistema.

Al final de la inferencia lógica difusa, el resultado para liquidez esta dado como un valor de una variable lingüística. Para usar este valor en comparaciones o clasificaciones, tiene que ser traducido a un valor numérico. Este paso es llamado desdifusificación. La relación entre valores lingüísticos y sus correspondientes valores reales es siempre definido usando las definiciones de la función de membresía. En nuestro ejemplo, las funciones de membresía para la variable lingüística "liquidez" quedarían como sigue:

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

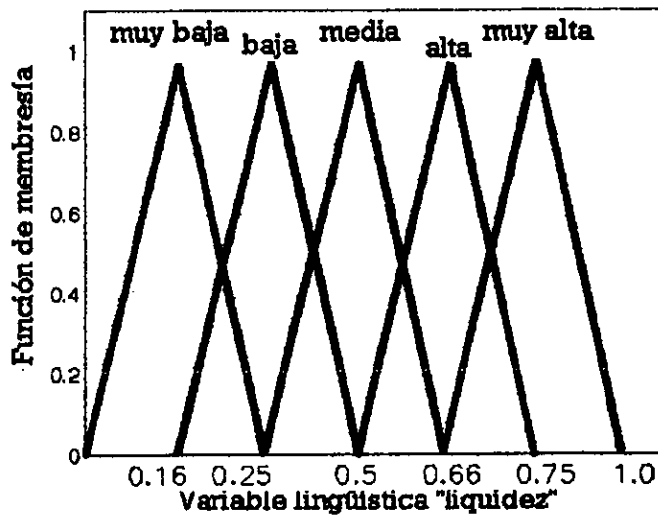


Figura 25.

El resultado de la inferencia difusa ejecutada en este ejemplo es tanto difuso como ambiguo debido a dos diferentes acciones tienen grados de verdad diferentes de cero. ¿Cómo pueden dos acciones conflictivas que están definidas como conjuntos difusos ser combinadas para proporcionar una salida numérica a la liquidez?

Debido a que la lógica difusa imita las decisiones humanas y sus procesos de evaluación, un buen método de desdifusificación se aproximaría a estos puntos. La mayoría de los métodos de desdifusificación usan una aproximación de dos pasos para esto. En el primer paso, un valor "típico" es calculado para cada término de la variable lingüística. En el segundo paso, la "mejor transacción" es determinada al "balancear" los resultados.

### A) CALCULO DE LOS VALORES "TIPICOS".

La aproximación más común para calcular los valores típicos de cada término es encontrar el máximo de la respectiva función de membresía. Si la función de membresía tiene un intervalo maximizado, la media del conjunto maximizado es elegida. El cálculo de los valores típicos están ilustrados en la siguiente gráfica. Aquí, las flechas apuntan la posición horizontal de los valores típicos.



## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

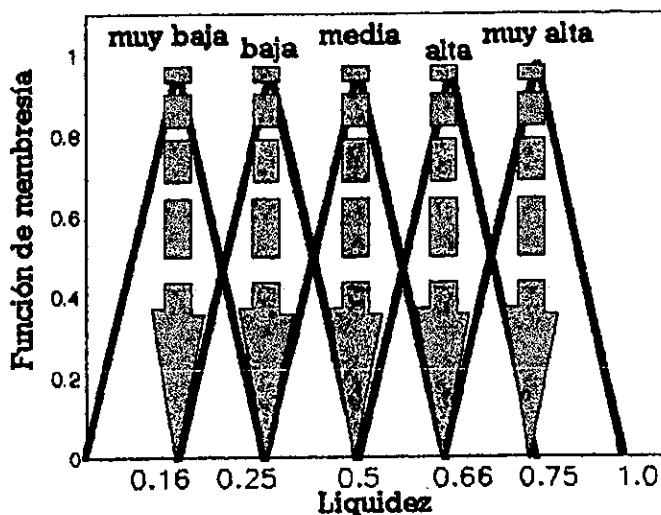


Figura 26.

El primer paso de la desfusificación, calcular el valor típico para cada término, es obtenido como el valor máximo de su respectiva función de membresía

### B) ENCONTRAR LA MEJOR TRANSACCION.

En el segundo paso, el valor de la mejor transacción para el resultado lingüístico es calculado. La siguiente gráfica ilustra este paso.

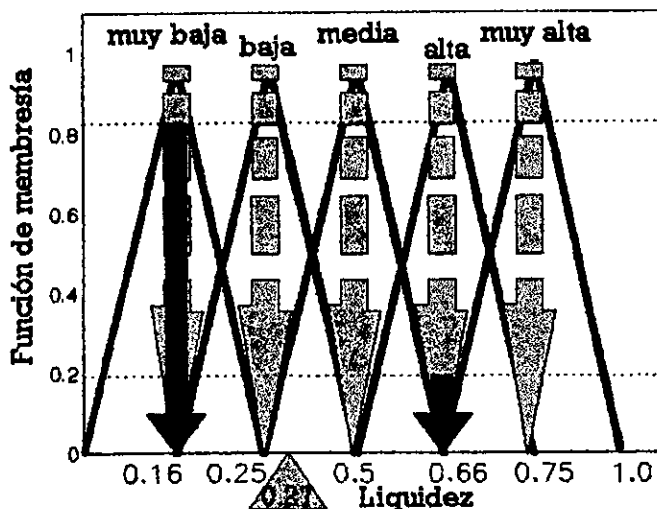


Figura 27.

En la posición horizontal de los valores típicos, un "peso" es colocado tal que tiene un tamaño proporcional al grado en el cual la acción es verdadera. Los pesos son mostrados como las alturas de las flechas negras. El valor de la transacción exacta esta determinado al balancear los pesos "en un punto". En este

#### CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

ejemplo, la posición que balancea el resultado de la inferencia difusa esta en la posición de 0.27. Este valor es considerado la mejor transacción para la evaluación de la liquidez, y se obtuvo de la siguiente manera:

Valor típico de Liquidez = muy baja =  $0.\bar{16}$

Valor de su función de membresía = 0.8

Valor típico de Liquidez = alta =  $0.\bar{6}$

Valor de su función de membresía = 0.2

Por lo tanto, la mejor transacción es:

$$\begin{aligned} \text{Liquidez} &= 0.\bar{16} * (0.8) + 0.\bar{6} * (0.2) \\ &= 0.27 \end{aligned}$$

donde:  $0.\bar{16} = 0.1666666666 \dots$

y  $0.\bar{6} = 0.6666666666 \dots$

Este método de desdifusificación es llamado "Centro - del - Máximo" y es idéntico al método del "Centro - de - Gravedad" que usa funciones de membresía simples. Estos métodos de desdifusificación son usados en la mayoría de las implementaciones lógicas, aunque existen otros.

### IV.3. LOGICA DIFUSA EN APLICACIONES FINANCIERAS.

#### INTRODUCCION.

En el área de la toma de decisiones financieras, las decisiones involucran alguna clase de evaluación que a menudo tienen que ser tomadas en grandes cantidades. Por ejemplo, esas evaluaciones pueden ser sobre el riesgo, los sujetos de crédito o las probabilidades de fraude. Existen áreas financieras donde el trabajo ha sido completado y fue posteriormente publicado.

#### CLASIFICACION DIFUSA DE SOLICITUDES HIPOTECARIAS.

Primero se presentará un caso de estudio, una aplicación que INFORM GmbH de los Estados Unidos hizo para Home & Savings en el área de avalúo de solicitudes de crédito hipotecario es presentado<sup>88</sup>. Esta aplicación es muy instructiva por varias razones ya que en el mismo sistema de lógica difusa se agregan criterios muy variados de distintos tipos. Algunos de estos criterios describen la construcción del objetivo, algunos más a los solicitantes hipotecarios, y otros, al plan de repago. Segundo, el objetivo entero está descrito, esto es, cómo la solución por medio de la lógica difusa puede ser conceptualizada, diseñada, depurada, probada e implementada durante las operaciones diarias de un banco.

Cabe hacer notar que una simplificación de la estructura del sistema, las variables lingüísticas y la base de reglas es necesaria para proteger la propiedad intelectual del banco. El banco en sí mismo no publicó el hecho de que está usando modelos de clasificación de lógica difusa ni desea que su nombre sea referenciado en una publicación. Por lo tanto, la referencia es simplemente "Home & Savings Bank" en el resto de esta sección.

#### EL PROYECTO DE SOFTWARE DE APOYO DEL ASESOR HIPOTECARIO.

Durante un gran proyecto pasado, el Home & Savings Bank proporcionó a cada uno de sus asesores una computadora portátil para sus visitas a los clientes prospecto. Estas PCs corrieron un software de apoyo dedicado a los asesores hipotecarios conocido como MASS ("Mortgage Advisory Support Software", Programa de Soporte para Consultores Hipotecarios), programado usando Microsoft Access (una base de datos de la compañía Microsoft), el cual contiene formas para su llenado, en relación a la aplicación de una hipoteca, así como información adicional sobre los diferentes servicios financieros del banco. Una de esas piezas de información es la política bancaria sobre la aceptación de los candidatos a créditos hipotecarios. Este es un documento escrito por miembros del personal corporativo del banco que contiene las guías para la evaluación de la persona que solicita un crédito hipotecario, así como la construcción del objetivo en sí mismo. La información que es almacenada en MASS durante una entrevista

---

<sup>88</sup> \_\_\_\_\_, "CreditExpert - ASK", INFORM GmbH Aachen and Inform Software Corporation Chicago (1986).

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

con el cliente es transferida más tarde a la computadora central del banco para su posterior procesamiento.

Mientras la experiencia con el sistema en general ha sido muy positiva, el banco observó que sólo unas pocas de las solicitudes hipotecarias siguieron la política de la compañía para la aplicación del avalúo del crédito hipotecario. Rastreando esos casos, encontraron varias razones. A menudo, los asesores hipotecarios pasaron por alto algo o fueron simplemente demasiados inexperimentados para entender por completo la política de la compañía. Incluso, aunque los asesores hipotecarios reciben la mayor parte de su salario como una comisión sobre los contratos que cierran, si el préstamo va mal algún día en el futuro, la comisión no es retirada. Por lo tanto, no esta en el interés del asesor hipotecario declinar créditos a dudosos solicitantes.

Por estas razones, el banco decidió implementar un modelo de apoyo a las decisiones en MASS, que evalúa los datos introducidos tanto por los solicitantes como con la construcción de objetivo y que también evalúa que tan bien esta aplicación se ajusta a la definición de la política de la compañía. Como resultado, los asesores hipotecarios tendrán esta información interactivamente en una etapa temprana de la consulta, así no se pierde tiempo en clientes prospecto que no satisfacen los criterios para un crédito hipotecario de todos modos.

### EXTENSION DE LOS MODELOS DE TARJETA DE PUNTOS USANDO LOGICA DIFUSA.

Cuando el banco comenzó a conceptualizar un modelo de apoyo decisional, fue obvio que la tarjeta convencional de clasificación, esto es, la clasificación asociada a propiedades que son añadidas para obtener un numero singular, no trabaja con precisión para el avalúo del préstamo hipotecario.

Considere el simple modelo de tarjeta de clasificación de la siguiente tabla. La aplicación sobre hipotecas es evaluada tanto en la construcción del objetivo como en los solicitantes. La construcción de objeto es evaluada sobre la base de su localización y la calidad de la mano de obra. En este modelo simplificado, los rangos de 1 a 5 fueron dados dependiendo del grado en el cual el criterio fue cumplido por los datos en la aplicación hipotecaria. La calificación en la siguiente tabla asume un objetivo en una localización justa, una justa calidad de la mano de obra y un solicitante que cuenta con capitales bastantes bajos pero con un ingreso bastante alto:

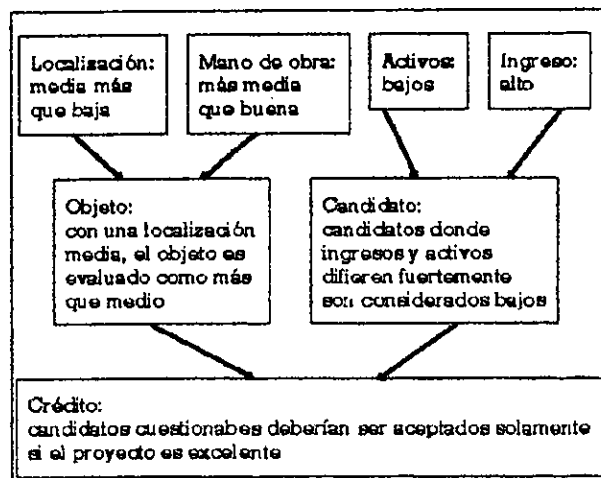
## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

Modelo de tarjeta de puntos convencional				
Objeto	Localización	buena 5	media 3	mala 1
	Mano de obra	buena 5	media 3	mala 1
Candidato	Activos	altos 5	medios 3	bajos 1
	Ingresos	altos 5	medios 3	bajos 1

Añadiendo todos los puntos juntos (√), resulta un puntaje total de 12. Esto es exactamente a la mitad del máximo resultado de 20 y el mínimo resultado de 4.

Sin embargo, tal modelo no puede representar las políticas del banco con suficiente exactitud. Por ejemplo, la política del banco puede establecer que si la construcción de un proyecto esta en una perfecta localización, la calidad de la mano de obra es de menor importancia.

Entonces, la lógica difusa puede ser usada con facilidad para mejorar el modelo de tarjeta de puntos para reflejar esas reglas en una forma mucho más transparente. La siguiente gráfica muestra el ejemplo de la evaluación de un modelo de puntaje para la misma aplicación hipotecaria.



**Figura 28: Modelo de tarjeta de puntos mejorada con lógica difusa**

Con una localización justa y una justa calidad de la mano de obra, el proyecto de construcción es clasificado como similar al convencional modelo de

#### CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

puntaje de la tabla anterior. Sin embargo, en contraste con el modelo convencional, la evaluación de los un poco bajo activos y el bastante alto ingreso no se compensan uno con el otro. Más bien, la política del banco establece que en casos donde el ingreso y los activos difieren fuertemente uno del otro, el solicitante es considerado "cuestionable". Así, la calificación por lógica difusa del mismo cliente es mucho menos favorable que la calificación convencional de la tabla anterior. Lo que el banco aprendió de esas consideraciones es que los modelos de tarjeta de puntos mejorados con lógica difusa pueden identificar mejor las discrepancias y reaccionar más sensiblemente a condiciones sutiles. Incluso, representando la política del banco dentro de las reglas de la lógica difusa es mucho más rápido y mucho más transparente comparado con las ponderaciones de la tarjeta de puntos. Además, cualquier cambio de las políticas de la compañía puede ser implementado rápida y fácilmente y no requiere la tediosa creación de nuevos parámetros para puntos de ponderación.

Otra ventaja que el banco encuentra es que los modelos de calificación con lógica difusa pueden ser colocados al traducir las políticas directamente a reglas de lógica difusa y funciones de membresía. En contraste, los modelos de tarjetas de puntos convencionales para la mayor parte necesitan ajustarse por medio de análisis estadísticos de datos históricos. En otros proyectos, la experiencia del banco en cuanto al uso de datos históricos para el ajuste de modelo de tarjetas de puntos fue:

- Los métodos estadísticos requieren una gran cantidad de datos históricos de alta calidad para entregar resultados significativos.
- Los datos históricos solo representan políticas pasadas. Por lo tanto usted puede solo automatizar lo que ha sido hecho manualmente antes, más que optimizar los procesos de toma de decisiones para representar los deseos presentes.
- Los datos históricos a menudo están sesgados. Por ejemplo, si el banco usa datos históricos para ajustar sus modelos de tarjetas de puntos, la ejecución de los repagos para todos los clientes que les fueron denegados los préstamos hipotecarios no están en la base de datos. Así, no existe información sobre si esos clientes se habrían probado así mismos como buenos riesgos o si la decisión de rechazarlos fue justificada. La única forma verdadera de obtener datos históricos insesgados sería garantizar a todos un préstamo hipotecario por un periodo de tiempo y averiguar después si el crédito evolucionó mal o no. Por supuesto, esto es una muy cara forma de generar datos históricos de esta naturaleza.

Por las mismas razones, una red neural no fue considerada para esta aplicación. Cuando una red neural se ejecuta perfectamente, esta imita los datos históricos. Por lo tanto, ocurrirían los mismos problemas, como con modelos de tarjetas de puntos ajustados estadísticamente.

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

### METODO DE DESARROLLO.

Después de decidir el uso de un modelo de tarjeta de puntos mejorada con lógica difusa, el banco uso un método de desarrollo de cuatro fases que cubrió el diseño de tareas, ilustrado en la siguiente figura. Esta aproximación ha trabajado muy bien para muchos proyectos desarrollados a partir de este.

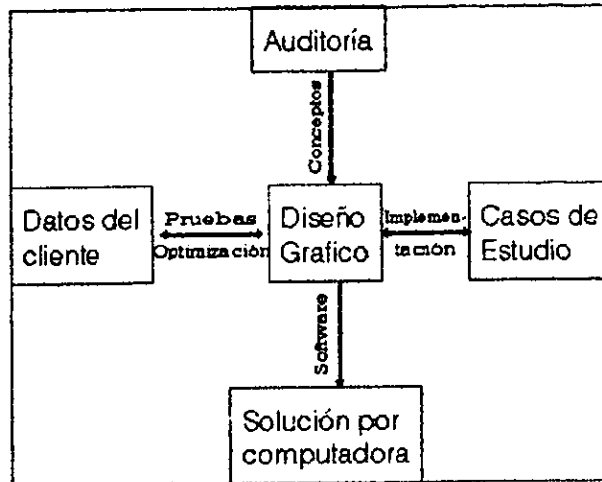


Figura 29: El diseño del sistema de cuatro fases, modelo usado para su desarrollo.

Un concepto preliminar del modelo de puntaje con lógica difusa fue desarrollado durante el diseño de la auditoría. Usando casos hipotéticos de estudio, las definiciones de la base de reglas y de las funciones de membresía fueron establecidas. La ejecución de este sistema fue, además, optimizada y probada con casos de clientes selectos. La implementación del sistema de lógica difusa estuvo así simplificado.

### PLANEACION DEL PROYECTO.

Al traducir las tareas diseñadas ilustradas en la siguiente figura dentro de un plan del proyecto, fueron definidas cuatro fases distintivas del proyecto y tres marcas.

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

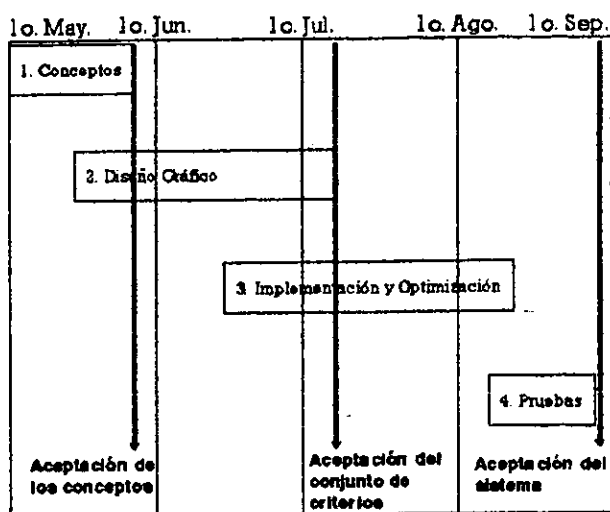


Figura 30: Plan del proyecto.

Algunas de las fases estuvieron traslapadas, otras no lo estuvieron. El proyecto entero fue concluido en cuatro meses e involucró dos expertos consultores en lógica difusa y dos expertos banqueros trabajando tiempo completo. En suma a esto, el banco estableció una fuerza de trabajo consistente en 15 de sus expertos en hipotecas. Esta fuerza de trabajo discutió y verificó el diseño de los pasos, especialmente durante la primera y la tercera fase. En total, la fuerza de trabajo se reunió 11 veces por un promedio de medio día en cada sección. Los dos expertos banqueros involucrados con el proyecto de tiempo completo aprendieron lo suficiente sobre el diseño del modelo de puntaje en lógica difusa durante el proyecto que fueron capaces de modificar y mantener el sistema sin asistencia externa después de completado el proyecto.

### MARCAS.

Para los propósitos de la administración del proyecto, tres marcas fueron definidas. La primera, después de tres semanas del proyecto, fue una revisión completa del diseño. Aquí, fue verificado que el concepto sería capaz de representar todos los aspectos importantes de la política del banco. La razón para tener tan completo diseño de la revisión tan temprano en el proyecto fue para estar seguros de que el diseño estaba en línea con las expectativas del grupo administrativo del proyecto, y para establecer la credibilidad con un nivel superior de administración sobre el proyecto.

Después de la segunda fase, parte de la base de reglas y todas las definiciones de variables lingüísticas habían sido ya establecidas. Así, los resultados iniciales estuvieron ya disponibles y la decisión en cuando a la información del modelo de puntaje con lógica difusa, necesarios para representar adecuadamente la política podría ser realizado (las variables de entrada del sistema de lógica difusa).

En la segunda marca, el listado de esos temas de información específica finalmente empezó. Esto fue importante para los programadores de MASS,



## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

quienes necesitaron tener una clara definici3n de cuales variables tenian que probar como variables de entrada al modelo de puntaje con l3gica difusa. Con esta informaci3n, fueron capaces de completar las inferencias para los archivos que contienen el sistema de l3gica difusa en MASS y al mismo tiempo el modelo de puntaje con l3gica difusa fue completado.

La tercera marca estaba al final del proyecto desarrollado. El proyecto fue completado inmediatamente despu3s de que el modelo de puntaje por l3gica difusa fue terminado.

Siguiendo un breve esbozo del contorno del proyecto, el trabajo realizado en cada una de las cuatro fases ser3 explicado en mayor detalle a continuaci3n.

### FASE 1: EL CONCEPTO.

La primera fase involucra la auditoria de los expertos del banco y los expertos en l3gica difusa para desarrollar los conceptos para el modelo de puntaje por l3gica difusa. La fuerza de trabajo de los expertos del banco consisti3 de dos grupos. Uno abarco a los expertos asesores hipotecarios con mucha experiencia en casos hipotecarios. Los otros fueron miembros del personal corporativo quienes desarrollaron las pol3ticas para el otorgamiento de hipotecas. Fue critico para el proyecto unir a estos dos grupos debido a que cada grupo individual no estaba en posesi3n de todo el conocimiento necesario. La pol3tica para el otorgamiento de hipotecas no cubria todos los casos pr3cticos de hipotecas bien y algunas veces era inconsistente. En estos casos, los experimentados consejeros hipotecarios fueron capaces de proporcionar soluciones sobre la base de su experiencia en su trabajo pasado. Sin embargo, incluso los mas experimentados consejeros hipotecarios no siguieron las pol3ticas del banco completamente, asi que los miembros del personal corporativo tuvieron que detallar las razones detr3s de su pol3tica.

### FASE 2: DISEÑO GRAFICO.

Como una directa salida de la fase 1, el sistema de l3gica difusa fue diseado para representar la estructura del flujo de informaci3n basado en tres tipos de evaluaciones:

1. El primer bloque de reglas (Aval3o de la construcci3n del proyecto), tomando en cuenta la localizaci3n del edificio (Localizaci3n) y la calidad de su mano de obra (Mano de obra).
2. Un segundo bloque de reglas (Aval3o del solicitante) eval3a al solicitante (Solicitante) en sus activos (Activos) y su ingreso menos los desembolsos fijos (Ingreso). Estas dos evaluaciones son despu3s agregadas a un tercer bloque de reglas (Evaluaci3n del m3rito de cr3dito), lo cual resulta en el aval3o de la hipoteca (Cr3dito).
3. Un tercer tipo de evaluaci3n ocurre en el tercer bloque de reglas (denominada "Criterio asesino"), el cual eval3a el plan de repago. Al evaluar el ingreso menos los gastos fijos (Ingreso) y los cargos por intereses (Inter3s) como se dan a conocer en el plan de repago, este detecta "casos asesinos" en los cuales una hipoteca no estar3a garantizada debido a que el

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

- repago esta en peligro. Este bloque de reglas de salida es facturado dentro de la variable de salida del avalúo hipotecario (Crédito).

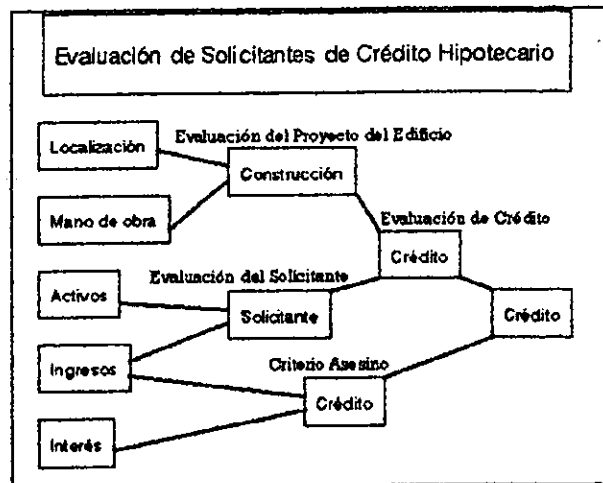


Figura 31: Estructura del modelo de puntaje con lógica difusa.

Lo siguiente fue diseñar las definiciones de las variables lingüísticas, esto es, la definición de términos y de funciones de membresía. La regla inicial establecida para los cuatro bloques de reglas fue generada como un resultado directo de la auditoría.

### FASE 3: REFINAMIENTO.

La tercera fase es una fase de refinamiento en la cual los diseñadores verifican la estructura del sistema y entonces modifican las funciones de membresía y las reglas sobre la base de hipotéticos casos de estudio. Los casos de estudio hipotéticos son usados más que los datos históricos debido a los problemas inherentes al uso de los datos históricos discutidos previamente. El uso de casos de estudio hipotéticos permitió la evaluación de sólo 50 casos que fueron generados por los consejeros expertos en hipotecas. Ellos tomaron con mucho cuidado todas las posibles peculiaridades y los casos inusuales que ellos piensan que fueron representados por los 50 casos de estudio hipotéticos. Debido al relativamente bajo número de casos, la discusión sobre los casos individuales con los expertos del banco fue posible en mucho mayor detalle, permitiendo una mayor profundidad en la evaluación de cada experto. Cuando fueron forzados a definir sus decisiones sobre casos distintos, concretos, fue mucho más fácil para los expertos combinar las reglas que representarían mejor la estrategia de avalúo.

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

Comparación entre la ejecución de un sistema modelo de tarjeta de puntos con un modelo de tarjeta de puntos mejorado con lógica difusa.							
Caso	Mano de obra	Localización	Ingreso	Activos	Interés	Calificación difusa	Puntaje
1	50	50	50	50	50	38	50
2	50	50	50	50	70	30	42
3	15	30	50	50	50	6	36
4	15	50	50	50	50	6	41
5	50	50	50	50	100	25	30
Etc.							

Para facilitar esta fase, los 50 casos hipotéticos de estudio fueron creados en formato de Microsoft Excel (una hoja electrónica de cálculo de la compañía Microsoft). Se crearon tablas que generaron el sistema de lógica difusa de la fase 2 y fueron usadas para calcular los resultados. Incluso se realizaron algunos ajustes a las reglas y a las definiciones de las funciones de membresía. Entonces, el sistema de lógica difusa fue modificado a fin de representar el razonamiento de los expertos. A menudo, hubo un alto grado de inconsistencia en la forma en que diferentes expertos evalúan los casos, incluso más frecuentemente, los expertos estuvieron en desacuerdo con la política corporativa. La discusión necesaria para equilibrar los compromisos tomo una cantidad considerablemente mayor de tiempo del que actualmente se había diseñado para el completo sistema de lógica difusa.

A diferencia de una salida convencional para un modelo de tarjeta de puntos, la salida de un sistema de lógica difusa requiere mayor elaboración, sin embargo, aquí se presenta la salida convencional del modelo de tarjeta de puntos usada en este caso:

$$Puntaje = \left( \frac{Mano\_de\_Obra + Localización + Ingresos + Activos}{4} \right) + \left( \frac{Ingresos - Intereses}{2.5} \right)$$

Para entender como el sistema de lógica difusa representa la estrategia de evaluación, hay que comparar diferentes casos. En el caso 1, todos los parámetros de entrada están perfectamente a la mitad, por lo tanto, el resultado del sistema de lógica difusa es de 38 y para el modelo convencional de tarjeta de puntos es de 50. En el caso 2, la tasa de interés para el repago llega a 70, lo cual indica una tasa de interés por encima del promedio para el repago en contraste con un perfecto promedio de ingreso. En este caso, el sistema de lógica difusa reacciona mucho más fuertemente que el modelo convencional de tarjeta de puntos debido a las reglas definidas en el bloque de reglas del "criterio asesino". El caso 3 es el mismo que el caso 1, sin embargo, la construcción es de mucho menor calidad. Debido a que la calidad de la mano de obra es de gran importancia en las reglas que definen la evaluación del edificio en el sistema de lógica difusa, el sistema de lógica difusa de nuevo reacciona más fuertemente.

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

### FASE 4: PRUEBA FINAL.

Mientras que los casos hipotéticos son excelentes para implementar una base de reglas y para definir funciones de membresía, una prueba final involucra datos históricos. A los expertos hipotecarios les fueron solicitados a cada uno alrededor de una docena de casos pasados en los que en cada caso involucrara cierto grado de maña o truco. Entonces los evaluadores de lógica difusa para esos casos fueron computados y los resultados discutidos con el mismo grupo de expertos quienes estuvieron involucrados con el prototipo de la fase 1.

Primero, los casos fueron presentados a los expertos bancarios de la fuerza de trabajo, y cada uno de ellos independientemente dio sus resultados. Esos resultados fueron registrados para su posterior análisis. Lo siguiente fue que el grupo discutió los casos y registró los resultados. Después, el sistema de lógica difusa evaluó los casos, y los resultados fueron presentados al grupo donde el resultado del sistema de lógica difusa y su razonamiento fueron discutidos.

Unos pocos casos actualmente revelaron combinaciones de hechos que el sistema de lógica difusa no había implementado en su fase 3. Esto fue simplemente debido al hecho de que los expertos bancarios no incluyeron tales combinaciones en los casos hipotéticos. La realidad algunas veces tiene más inventiva que la imaginación de los humanos.

Después de hacer algunos reajustes para esos casos en los que el sistema de la lógica difusa no había cubierto, el sistema de lógica difusa consistentemente llegó a estar mucho más cerca a la decisión de grupo de la fuerza de trabajo que la decisión de un consejero hipotecario individual. La ejecución del sistema fue evaluada por una comisión del banco que dictó un criterio de aceptación del banco y se decidió incluirlo en su uso diario. De esta forma, el final de la fase 4 y la aceptación del sistema significó el final del diseño del proyecto.

### MANTENIMIENTO DEL PROYECTO.

Cada exitoso sistema de apoyo para la toma de decisiones es sujeto de constante modificación y actualización a fin de seguir la huella de los cambios de políticas. Por ejemplo, el mercado de bienes raíces cambia a través del tiempo y así la calidad de la mano de obra podría llegar a ser menos importante que la localización. Tales modificaciones para al sistema de lógica difusa son realizadas por los mismos expertos bancarios. Debido a que ellos trabajaron muy cerca con los expertos consultores en lógica difusa durante las cuatro fases del diseño del proyecto, y debido a que la lógica difusa permite en sí un fácil entendimiento del sistema implementado, ellos serían capaces de emprender la tarea de modificar el sistema sin asistencia externa.

Como fue señalado al inicio de esta sección, el sistema de lógica difusa es sólo un modelo muy simplificado de la aplicación actual. La aplicación real del sistema de lógica difusa comprende 9 variables (criterios) de entrada y 171 reglas en total. También incluye una segunda salida que explica la toma de decisiones en lógica difusa, así que el consejero hipotecario puede explicar al cliente porque fue rechazado.

## CAPITULO IV. LA LOGICA DIFUSA EN LAS FINANZAS.

### BENEFICIOS DE LOS MODELOS DE PUNTAJE MEJORADOS CON LOGICA DIFUSA.

Basados en la aplicación del proyecto discutido aquí, el banco concluyó lo siguiente:

"La lógica difusa es una tecnología capaz de mejorar los sistemas de puntaje existentes"

- ✓ Para lograr mejores resultados, ningún criterio adicional es requerido.
- ✓ El sistema mejorado esta relacionado sin problemas con los datos existentes.
- ✓ Es ideal para el uso de volúmenes debido a su fácil automatización.

"Los modelos de puntaje con lógica difusa son más discriminantes"

- ✓ Tienen reacciones más fuertes debidas a sutiles condiciones.
- ✓ Una verificación consistente puede ser formulada fácilmente.
- ✓ Representa directamente la política del banco.

"La experiencia acumulada de un banco puede ser integrada en el modelo de puntaje"

- ✓ El flujo de decisión y evaluación en el sistema sigue el razonamiento de un banquero experimentado.
- ✓ Incluye transparentes y entendibles tomas de decisiones.
- ✓ Permite la identificación de discrepancias.

"La lógica difusa presenta una implementación robusta para su uso cotidiano"

- ✓ No requiere estadísticas o datos históricos para su calibración.
- ✓ Puede ser directamente implementado en una PC, estación de trabajo o computadora central.
- ✓ El mantenimiento y las modificaciones pueden ser hechas por personal bancario experimentado.

## CONCLUSIONES

### RESUMEN

A lo largo del presente trabajo se ha podido establecer la enorme importancia que los modelos cuantitativos tienen en nuestras vidas; también hemos podido conocer cómo se construyen y dónde se aplican dichos modelos cuantitativos y en particular, se establecieron aquellos modelos que nos ayudan a la toma de decisiones, ya que esto nos lleva directamente al manejo de aquellos modelos de riesgo e incertidumbre.

Se estableció que el riesgo y la incertidumbre no son lo mismo, y que tanto el riesgo como la incertidumbre cuentan con características propias que han propiciado —o no, según sea el caso— el desarrollo de metodologías particulares para hacerles frente y se precisó dentro de cada área aquellos métodos con los que actualmente se cuenta para modelar y manejar cuantitativamente tanto a los riesgos como a las incertidumbres, incluidas las financieras.

Se definió, se caracterizó y se clasificó lo que es un riesgo y lo que es una incertidumbre, incluyendo en ambos casos a los riesgos financieros y a las incertidumbres financieras respectivamente, y se mostró que la metodología empleada por la lógica difusa permite el manejo cuantitativo de las incertidumbres financieras, al permitirnos manejar cuantitativamente incertidumbres lingüísticas. Pero no solo eso, se establecieron sus principales características y se le comparó con otras metodologías que también permiten el manejo cuantitativo de incertidumbres, además se estableció la metodología seguida por la Lógica Difusa y como resulta viable su aplicación a incertidumbres financieras.

### CONCLUSIONES

Aunque quedó establecido que depende del contexto empleado, aquí aclaramos que los términos riesgo e incertidumbre no son necesariamente lo mismo y de hecho, no son palabras sinónimas, aunque algunas veces se piense lo contrario. Se reconoce a la incertidumbre como un aspecto de suma importancia en todos los ámbitos que incluye al riesgo y que siempre esta presente en nuestro entorno y en nuestra realidad; particularmente importante para nosotros resulta también su presencia en el mundo de las finanzas. Además, se establecieron para el caso de la incertidumbre, todas aquellas metodologías existentes en la actualidad en las diversas áreas de conocimiento humano y se planteó la necesidad e importancia del desarrollo de nuevas metodologías, que nos auxilien en el manejo cuantitativo de incertidumbres en general y de incertidumbres financieras en particular.

Nos fue posible apreciar que en el caso de las incertidumbres financieras, son muy escasas las metodologías que nos permitan hacerles frente para tratar de minimizar sus efectos negativos. De ahí surge la importancia de poder establecer una nueva metodología que nos permita realizar un manejo cuantitativo de aquellas incertidumbres que nos pueden dañar o puedan dañar nuestro entorno.

Tal es el caso de la Lógica Difusa. Así es que se presentaron las principales características de la Lógica Difusa, estableciendo que a partir de su metodología,

existe plena viabilidad en el manejo cuantitativo de incertidumbres financieras, de esta manera se puede decir que la Lógica Difusa es una sólida herramienta matemática que posibilita el manejo de incertidumbres financieras.

Con ello se crea la posibilidad de aplicar una nueva herramienta que pretende establecer un tratamiento inédito de problemas de incertidumbre para el área de las finanzas, ya que en sí misma, la Lógica Difusa hace posible realizar un manejo cuantitativo de un cierto tipo de incertidumbres, que antes no se podía hacer y que nos permite traducir ciertos aspectos cualitativos de un problema o situación financiera a aspectos cuantitativos, manejables numéricamente, y operarlos lógicamente y algebraicamente, para finalmente volverlos a traducir a aspectos cualitativos, haciendo de este proceso algo similar al proceso de razonamiento humano.

En la actualidad la Lógica Difusa es una herramienta que cuenta ya con suficiente fundamento matemático, lo que nos permite resolver problemas que permanecían insolubles por una parte, o bien representa una nueva alternativa en la solución de problemas financieros que son resueltos de manera tradicional por otros medios, posibilitando de esta manera la comparación de resultados obtenidos por los diversos métodos, para mejorar la toma de decisiones en aspectos financieros.

Con la aparición de la Lógica Difusa para el manejo cuantitativo de incertidumbres financieras, se tiene una nueva y valiosa herramienta de soporte o apoyo para la evaluación de diversas situaciones, incluyendo los procesos de optimización en la toma de decisiones, logrando con ello manejar con mayor éxito situaciones del mundo real. Pero como toda metodología nueva, esta sujeta a una profunda revisión y pruebas constantes. Definitivamente este trabajo no pretende, ni mucho menos, agotar el tema; es más bien todo lo contrario. Principalmente se busca tratar de dar a conocer a la Lógica Difusa, de presentar su estructura, su manejo y sus posibles implicaciones e impacto en el manejo de incertidumbres financieras, en esto radica la principal aportación del presente trabajo.

En la actualidad se ha visto crecer el interés por la Lógica Difusa y todo parece indicar que esta tendencia seguirá creciendo en el futuro, pues no hay que olvidar que esta es una metodología relativamente reciente que está resurgiendo en la actualidad. Finalmente se reconocen también la existencia de toda una serie de limitaciones y carencias del modelo de Lógica Difusa que hacen que no se pueda garantizar el éxito absoluto en la búsqueda de soluciones a problemas de incertidumbre; pero creo también que en esta debilidad puede estar su fortaleza, ya que más que ver a la Lógica Difusa como una ruptura con los paradigmas tradicionales, la podríamos apreciarla como un método complementario que es susceptible de mejoras que nos permitan un mayor enriquecimiento de los actuales métodos cuantitativos, de las matemáticas modernas y por supuesto, de su aplicación al mundo de las finanzas.

## BIBLIOGRAFIA

ACKOFF, Russell L., Planificación de la empresa del futuro, México: Limusa, 1998.

ACKOFF, Russell L., Un concepto de planeación de empresas, México: Limusa, 1994.

ANDERSON, SWEENEY y WILLIAMS, Estadística para administración y economía, México: International Thomson Editores, 1999.

ARNAZ, José Antonio, Iniciación a la lógica simbólica, México: Trillas, 1981.

BARROSO Mejía, María de la Paz y RODRIGUEZ Gómez del Campo, María, Cálculo actuarial del riesgo, México: Mendoza, 1987.

BUDNICK, Frank S., Matemáticas aplicadas para administración, economía y ciencias sociales, México: Mc. Graw Hill, 1997.

COOK, T. D. y REICHARD, Ch. S., Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evolutiva, Madrid: Morata, 1988.

COSIO Rodríguez, José, Introducción al seguro de vida, México: IMESF, 1982.

COSS Bu, Raúl, Análisis y evaluación de proyectos de inversión, México: Limusa, 1986.

DESCARTES, René, Discurso del método, México: Porrúa, 1984.

Diccionario Enciclopédico Vox Lexis 22, Barcelona: Circulo de Lectores, 1976.

DIEZ de Castro, Luis y MASCAREÑAS, Juan, Ingeniería financiera, la gestión en los mercados financieros internacionales, Madrid: Mc. Graw Hill, 1994.

DORNBUSCH, Rudiger y FISCHER Stanley, Macroeconomía, México: Mc. Graw Hill, 1986.

DURAN Camarillo, Edmundo René, Circuitos CMOS en modo de corriente para lógica difusa, México, Tesis de Maestría, 1994.

Enciclopedia Salvat del Estudiante, México: Salvat, 1984.

Enciclopedia Salvat Diccionario, México: Salvat, 1984.

FERAUD, Lucien, La economía en las instituciones de seguridad social y el papel del actuario, México: UNAM, ENEP Acatlán, 1986.

GALLAGHER, Charles A. y WATSON, Hugh J., Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en administración, México: Mc. Graw Hill, 1992.

GLASS Gene V. y STANLEY Julián C. Métodos estadísticos aplicados a las ciencias sociales, México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1986.

GONZALEZ Velázquez, Guillermo, Uso de métodos e instrumentos financieros como protección contra los riesgos de la empresa, México: Tesina de Especialización, 1997.

GORSKI, D. P. y TAVANTS, P. V., Lógica, México: Grijalbo, 1968.

GUJARATI Damodar, Econometría básica, México: Mc. Graw Hill, 1981.

HENRY, William R. y HAYNES, W. Warren, Economía de la empresa, México: CECSA, 1987.

HERMIDA Rosales, Adolfo, Contabilidad de seguros, México: Rodríguez Hnos., 1978.

HERNANDEZ Rosales, Fernando, Diseño electrónico de un controlador difuso para un sistema móvil, México: Tesis de Maestría, 1995.



JORDAN, Chester W. Jr. Society of Actuaries' textbook on life contingencies, Chicago: The Society of Actuaries, 1975.

KANDEL, Abraham, Fuzzy mathematical technics with applications, New York: Addison-Wesley, 1990.

KAUFMANN, Arnold and GUPTA, Madan M., Introduction to fuzzy arithmetic. Theory and Applications, New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

KOCH, Richard, Diccionario de management y finanzas. Términos, técnicas e instrumentos, desde la A a la Z, Barcelona: Financial Times, 1995, Tomos I Y II.

KREYSZIG, Erwin, Introducción a la estadística matemática, principios y métodos, México: Limusa, 1982.

LENIN V. I., Cuadernos filosóficos, Moscú: Ed. Rusa, 1947.

LEVIN, Richard I., y KIRKPATRICK, Charles A. Enfoques cuantitativos a la administración, México: CECSA, 1999.

LIPSCHUTZ, Seymour, Teoría de conjuntos y temas afines, México: Mc. Graw Hill, 1980.

MANSELL Carstens, Catherine, Las nuevas finanzas en México, México: Milenio, 1994.

MARMOLEJO González, Martín, Inversiones. Práctica, metodología, estrategia y filosofía, México: IMEF, 1987.

MARTINEZ Fuentes, Vicente José y DELGADILLO Ocampo, María de Lourdes, Administración de riesgos de personal. México: Tesis de Licenciatura, 1986.

McNEILL, F. Martin and THRO, Ellen, Fuzzy logic. A practical approach, New York: AP Professional, 1992.

MENDEZ, Ignacio y GONZALEZ Casanova, Pablo (coordinadores), Matemáticas y ciencias sociales, México: Grupo Editorial Miguel Angel Porrúa, 1993.

MOCHON, Francisco y PAJUELO Alfonso, Microeconomía, México: Mc. Graw Hill, 1990.

MOLINARO, Luigi, Lecciones de técnica actuarial de los seguros contra los daños, México: UNAM, Textos universitarios, 1976.

MORENO Fernández, Joaquín, Las finanzas en la empresa, México: UNAM, Programa del libro de texto universitario, 1983.

PAGANO, Robert R., Estadística para las ciencias del comportamiento, México: International Thomson Editores, 1999.

PRAWDA Witenberg, Juan, Métodos y modelos de investigación de operaciones, México: Limusa, 1986. Volúmenes I y II.

Real Academia Española, Diccionario de la Lengua Española, Madrid: Espasa-Calpe, 1970.

REYES Ponce, Agustín, Administración de empresas. Teoría y práctica, México: Limusa, 1987, Primera y segunda partes.

RODRIGUEZ de Castro, J. Introducción al análisis de productos financieros derivados, México: Limusa, 1995.

ROLL, Erick, Historia de las doctrinas económicas, México: Fondo de Cultura Económica, 1985.

SAMUELSON, Paul A. y NORDHAUS, William D., Economía, Madrid: Mc. Graw Hill, 1993.

SUPPES, P. y HILL, S., Introducción a la lógica matemática, México: Reverté, 1984.

TAHA, Hamdy A., Investigación de operaciones. Una introducción, México: Representaciones y Servicios de Ingeniería, 1981.

TERANO, Toshiro; ASAI, Kiyoji and SUGENO Michio, Fuzzy systems theory and its applications, San Diego: Academic Press, 1992.

VON Altrock, Constantin, Fuzzy logic and neurofuzzy applications in business and finance, Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 1997.

Webster's ninth new collegiate dictionary, Springfield: Merriam-Webster Inc., 1991.

WESTON, J. Fred y BRIGHAM, Eugene F., Fundamentos de administración financiera, México: Mc. Graw Hill, 1994.

YAGER, Ronald R. and ZADEH, Lotfi A., An introduction to fuzzy logic applications in intelligent systems, Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1992.

ZADEH, Lotfi A. and KACPRYK Janusz, Fuzzy logic for the management of uncertainty, Norwell: Kluwer Academic Publisher, 1992.

\_\_\_\_\_, "CreditExpert - ASK", INFORM GmbH Aachen and Inform Software Corporation Chicago (1986).