

08

METODOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO DE PROBLEMAS CON INCERTIDUMBRE

METHODOLOGY FOR THE TREATMENT OF PROBLEMS WITH UNCERTAINTY

Lic. Edgar Ribeiro Simão João¹
E-mail: ribeiroed0616@gmail.com
Dra. C. Lucía Argüelles Cortés¹
E-mail: largue@uclv.edu.cu

¹ Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara. Cuba.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Simão João, E. R., & Argüelles Cortés, L. (2017). Metodología para el tratamiento de problemas con incertidumbre. *Revista Conrado*, 13(1-Ext), 63-70. Recuperado de <http://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado>

RESUMEN

En la presente investigación se analizan las diversas fuentes que aportan incertidumbre a un problema o planteamiento, con vista a caracterizar dos de las más importantes, que son el riesgo y los estudios de prospectiva. Se ejemplifican tipos de métodos para abordar la incertidumbre y se explica la base metodológica de los mismos. Se describen las principales funciones del método de comparación con vista a destacar la importancia de su estructuración en el cumplimiento de sus funciones y se fundamenta la experimentación numérica como criterio de confiabilidad de los modelos apropiados. El análisis realizado conduce a la propuesta de una metodología para abordar problemas con incertidumbre.

Palabras clave:

Prospectiva, riesgo, técnicas Delphi, lógica difusa, consenso, experimentación numérica.

ABSTRACT

In the present investigation the diverse sources that contribute uncertainty to a problem or position are analyzed, in order to characterize two of the most important, those are the risk and the studies of prospective. Types of methods are exemplified to approach the uncertainty and the methodological base of them is explained. The main functions of the comparison method are described with view to highlight the importance of their structuring in the execution of their functions and the numeric experimentation is based as approach of confidence of the appropriate models. The carried out analysis leads to the proposal of a methodology to approach problems with uncertainty.

Keywords:

Prospective, risk, Delphi technics, diffuse logic, consensus, numerical experimentation.

INTRODUCCIÓN

La incertidumbre tiene varias fuentes y esto conduce a problemas con diversos tipos de incertidumbre, los cuales requieren diversas formas de tratamiento, diferentes de las que son utilizadas en problemas cuyo contexto es un ambiente de certidumbre.

En la realidad, en muchos campos de las ciencias exactas, la técnica y las ciencias sociales, proliferan los problemas cuya imprecisión está basada en imprecisiones lingüísticas. Entre los más importantes, por su alcance práctico, figuran los problemas de riesgo y los problemas de prospectiva.

Por las características de estos tipos de problemas, han surgido técnicas basadas en la Lógica Difusa, algunas de las cuales son generalizaciones de técnicas de consenso ya conocidas para problemas deterministas y otras tienen su fundamento teórico en nuevas ideas, como la de utilización de medidas de similitud.

Sin embargo, en estos métodos hay invariantes en las consideraciones, como son la importancia de los expertos y las rondas, tratadas con diversas perspectivas.

Es por esto que cobra importancia el papel del diseño de la comparación entre los métodos mediante experimentación numérica.

DESARROLLO

Hay varias fuentes que aportan incertidumbre a un planteamiento o a un problema. Por ejemplo, en la caracterización de un proyecto, se observan generalmente tres enfoques: la medición directa, la estimación aproximada y la valoración apreciativa. Concretamente, se puede decir:

- El proyecto tiene una duración de cinco años (medición directa).
- El costo del proyecto está entre 30000 y 40000 pesos (estimación aproximada).
- El proyecto es de *mediana* complejidad (valoración apreciativa).

En los dos últimos enfoques, están presentes *fuentes de incertidumbre* debidas a *imprecisiones en la información* y a *imprecisiones lingüísticas* respectivamente.

En el caso del segundo enfoque, es usual manejar las ideas mediante una aproximación numérica en el rango ofrecido, tal como la semisuma de los valores extremos del rango en cuestión.

En el caso de las imprecisiones de tipo lingüístico se requieren técnicas matemáticas para abordar el manejo de imprecisiones provenientes de características cualitativas

subjetivas. Estas técnicas abordan problemas de riesgo, de toma de decisiones, etc., comunes a las ciencias exactas, las áreas técnicas y aún a las ciencias humanísticas, tales como la Medicina y la Psicología.

Todo proceso de decisión que conduce a la solución del problema planteado transcurre en un contexto que se denomina ambiente o entorno. El conjunto de características que define la situación de decisión respecto al entorno, puede ser de diversa naturaleza, pudiéndose dar los siguientes casos:

- Decisiones en ambientes de certidumbre: cuando se conocen con exactitud las consecuencias que conlleva la selección de cada alternativa.
- Decisiones en ambientes de riesgo: cuando se conoce una distribución de probabilidades de las consecuencias que tiene la selección de una determinada alternativa.
- Decisiones en ambiente difuso: cuando se desconoce la probabilidad de las consecuencias de una elección, y sólo se pueden caracterizar aproximadamente.

Los métodos clásicos de decisión han sido diseñados para tratar problemas de decisión en ambientes de certidumbre. Estos métodos presentan un serio inconveniente en cuanto a su aplicabilidad en entornos de incertidumbre. En estos ambientes no siempre es posible determinar los datos de partida exactos que requieren estos métodos y sólo es posible disponer de "aproximaciones" tales como "alrededor de cinco", "muy importante", etc. Para tratar problemas de decisión de esta naturaleza, en los que los datos son imprecisos, vagos o borrosos, la Teoría de la Lógica Borrosa o Difusa creada por Zadeh en 1965, se ha perfilado como la más adecuada, debido a su capacidad para tratar conceptos imprecisos.

La mayoría de las situaciones de decisión de la vida real tienen lugar en ambientes de incertidumbre, en los que los objetivos, las restricciones y las consecuencias de las posibles actuaciones no son conocidos con precisión. El origen de tal imprecisión tiene, entre otras, las siguientes causas:

- Información incuantificable.* Por ejemplo: El precio de un nuevo producto puede ser fácilmente determinado a través de su costo de importación o de fabricación, mientras que sus atributos tales como la seguridad y la comodidad son siempre expresados en términos lingüísticos tales como bueno, aceptable, malo, etc. Se trata de datos cualitativos y, por lo tanto, sujetos a valoración subjetiva.
- Información incompleta.* Por ejemplo: La cuantía de una etapa del proyecto con requerimientos adicionales

puede ser medida por algunos economistas como “alrededor de 25000”. Tales datos pueden ser representados mediante números difusos, pues la información es incompleta.

- *Información imposible de obtener:* Algunas veces la obtención de datos exactos se realiza a un coste muy elevado, pudiendo ser deseable obtener una “aproximación” a esos datos. También, cuando los datos son muy sensibles (secretos gubernamentales, datos bancarios, etc.), se suelen usar datos aproximados o descripciones lingüísticas. La información es difusa debido a su no disponibilidad.
- *Ignorancia parcial:* Cierta borrosidad es atribuida a la ignorancia parcial de un fenómeno a causa del desconocimiento de parte de los hechos, como es el caso del riesgo y en los estudios de prospectiva.

El riesgo se maneja mediante variables lingüísticas que asumen valores representados por conjuntos difusos, tales como: alto, bajo, medio, mayor.

En términos generales, puede decirse que el riesgo es un indicador de la ocurrencia de hechos que afectan el cumplimiento de los objetivos del problema. La perspectiva del análisis del riesgo involucra cuatro orientaciones: identificación, reducción, transferencia (encaminada generalmente a la protección financiera) y manejo de consecuencias.

Conceptualmente, el riesgo está dado como una función de la amenaza y la vulnerabilidad. La amenaza es la posibilidad de un suceso potencialmente desastroso y la vulnerabilidad es la predisposición intrínseca de un grupo de elementos expuestos a sufrir una afectación. Por tanto, la amenaza es un peligro latente que puede afectar elementos vulnerables.

Los elementos en riesgo son de naturaleza muy variada: la población, edificaciones civiles, actividades económicas, servicios públicos, empresas productivas, etc.

De aquí que si se pretende la estimación del riesgo, constituye un paso previo el análisis y la evaluación de la amenaza como variable de fundamental importancia, así como también el estudio de la vulnerabilidad relacionada con la capacidad de los elementos expuestos para soportar la acción de los fenómenos.

La apreciación de la amenaza y de la vulnerabilidad puede ser muy diferente desde la óptica de técnicos evaluadores, comunidades afectadas y autoridades financieras, por lo que hoy se acepta que es necesario profundizar en la percepción individual y colectiva del riesgo e investigar características que favorezcan la previsión y la mitigación

del mismo, por lo que suele practicarse la consulta a expertos.

Del análisis anterior se deriva que desde el punto de vista algorítmico, la metodología computacional que se vaya a utilizar debe descansar en la determinación de los elementos bajo riesgo como objeto de trabajo, la identificación de las amenazas como variables de entrada y la descripción de las vulnerabilidades asociadas que se corresponderán con los grados de afectación dados por las funciones de pertenencia.

Para el análisis del riesgo, el enfoque de las denominadas ciencias naturales concentra los aspectos de su estudio en el conocimiento de las amenazas. Por su parte, el enfoque de las ciencias aplicadas está dirigido hacia los efectos del suceso sobre los elementos expuestos a partir de la evaluación de la vulnerabilidad. Finalmente, el enfoque de las ciencias sociales ha hecho énfasis en la capacidad de las comunidades de absorber el impacto y en la recuperación después de un suceso. Consecuentemente, la especialización del tratamiento del riesgo en aspectos muy específicos no ha facilitado la visión integral y multidisciplinar del mismo que se requiere.

En particular, en las empresas productivas y de servicios, los riesgos que son objeto de interés pueden ser agrupados según sus procedencias en los tipos que se describen a continuación.

- *Inherentes:* son propios de cada entidad laboral en dependencia de la actividad que realice.
- *Incorporados:* aparecen como resultado de la conducta humana.
- *Administrativos:* tienen lugar por fallas en el control del sistema de legislaciones estipuladas.

El objetivo primario del diagnóstico es determinar los factores de cada uno de estos tipos para realizar una evaluación consecuente.

Mediante el término *futuro* se alude al tiempo que aún no ha acontecido y por esto es que éste se asume como un espacio de incertidumbre, afectado por los fenómenos naturales y las construcciones sociales, debido a lo cual la incertidumbre va acompañada de deseos, posibilidades y creatividad.

Cualquier ejercicio prospectivo está lleno de riesgos, ya que pueden olvidarse aspectos condicionantes que son decisivos; pueden ocurrir acontecimientos extraordinarios; es posible que la ponderación de la importancia de los diferentes aspectos no sea la adecuada; es difícil que se acierte en cómo evolucionarán en el tiempo todos los condicionantes, cómo interactuarán entre sí y cuáles

serán sus aspectos finales sobre el objeto de estudio, por todo lo cual se infiere la incertidumbre presente en este tipo de análisis. Sin embargo, una visión prospectiva puede ayudar a entender mejor los problemas del futuro y a valorar cómo pueden considerarse sus efectos por adelantado, cuestión muy importante en cualquier campo de acción del ser humano.

En Prospectiva, la incertidumbre está asociada al manejo de la información, ya que al buscar una visión holística y no un conocimiento exhaustivo de todas las partes del sistema, deben tratarse solamente los criterios considerados más relevantes.

La prospectiva, además de permitir y de impulsar el diseño del futuro, aporta elementos muy importantes al proceso de planeación y a la toma de decisiones, ya que identifica peligros y oportunidades de determinadas situaciones futuras, además de que posibilita ofrecer políticas y acciones alternativas, aumentando así el grado de elección.

Un requisito para el ejercicio de la Prospectiva es enmarcar la incertidumbre en el contexto de condiciones objetivas, ya que de lo contrario no se estará en el terreno de la realidad, sino en el ámbito de los sueños, de la utopía y de lo imaginario.

1. Tipos de métodos para abordar la incertidumbre

En la actualidad, han surgido poderosos métodos elaborados a partir de la Lógica Difusa (también denominada Borrosa), los cuales dan un tratamiento matemático a términos permeados de subjetividad, y se obtienen consecuentemente resultados mucho más rigurosos.

La Lógica Difusa ha encontrado múltiples aplicaciones en las más variadas áreas del conocimiento a partir de su formalización en la década de los años 60 del siglo XX. La misma se ha construido sobre una apropiada generalización de los conjuntos tradicionalmente conocidos, para los cuales la condición de pertenencia de cada uno de sus elementos constituye una proposición que es susceptible de ser cierta o de ser falsa de forma categórica. Por ejemplo, la proposición: *“el número de los proyectos territoriales aprobados por el CITMA en Villa Clara en el año 2008 fue mayor que 100”* es una proposición que puede ser falsa o cierta, por lo que para evaluarla adecuadamente basta asignarle el valor 0 o el valor 1 respectivamente. Pero si se considera la proposición *“el número de los proyectos territoriales aprobados por el CITMA en Villa Clara en el año 2008 fue mucho mayor que 100”*, la misma está afectada por un transformador (el término *mucho*) que requiere un convenio de definición para poder interpretarse adecuadamente.

La diferencia sustancial desde el punto de vista analítico reside en que si se considera el conjunto A de los números que son mayores que 100, se sabe con toda certeza si cualquier elemento x del conjunto de los números naturales pertenece o no a A. Por ejemplo, 300 pertenece al conjunto A, pero 17 no.

Esta situación puede describirse muy concisamente a través de la función característica o indicadora de un conjunto A, la cual está definida para cada elemento x de un cierto universo X (en el caso del ejemplo el conjunto de los números naturales) y le asigna el valor 1 si x pertenece al conjunto A y 0 si x no pertenece al conjunto A. Se observa entonces que la función que indica la pertenencia o no al conjunto A toma solamente dos valores diferentes, luego la condición de que x pertenezca o no al mismo produce un cambio abrupto en los valores de la función característica correspondiente. Por esta razón, este tipo de conjunto recibe el nombre de abrupto. La lógica asociada al estudio de estos conjuntos se denomina por tanto bivalente.

Si se considera ahora el conjunto B de los números que son *mucho* mayores que 100, no se puede precisar de manera totalmente objetiva si cada elemento x del conjunto universo X pertenece o no a B, porque en la descripción de este conjunto está presente un grado de incertidumbre dado por apreciación. En este caso la función indicadora pierde su sentido y lo que se requiere es una función de pertenencia que indique, para cada valor x del conjunto universo X, su grado de pertenencia al conjunto que se analiza, que debe ser un indicador que transite entre 0 (garantía de no pertenencia) y 1 (condición de plena pertenencia).

Por ejemplo, si se conviene que por debajo del doble de 100 no se considera que el número sea mucho mayor que 100 y por encima de 5 veces 100 es sin dudas mucho mayor que 100, y para valores entre 200 y 500 crece linealmente desde 0 hasta 1, entonces esta nueva función debe tomar valores en el intervalo $[0, 1]$. Por tanto, debido a la flexibilidad de este tipo de función, que hace que las fronteras de definición resulten manejables, este nuevo tipo de conjunto se denomina difuso o borroso.

De aquí que la lógica que fundamenta el tratamiento de esta clase de conjuntos se denomine difusa o borrosa, aunque de hecho es una lógica rigurosa desde el punto de vista de su base matemática.

En este sentido, la lógica difusa generaliza la lógica bivalente, resultando más efectiva en casos donde esta última no resulta adecuada, en particular en problemas donde están presentes diversos tipos de riesgo, la toma

de decisiones mediante análisis de múltiples criterios y de problemas de Prospectiva.

Es precisamente debido a la falta de conocimiento cierto que para realizar inferencias sobre el futuro, una práctica apropiada puede ser el uso de las técnicas Delphi. En Ortega San Martín (1997), se define la técnica Delphi como un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos tratar un problema complejo.

El método Delphi es un mecanismo de consultar expertos anónimamente, que mediante la retroalimentación permite el refinamiento de las opiniones con el fin de llegar a un consenso. Para elevar la efectividad del método, la técnica Delphi ha evolucionado de modo que pueda tomar apropiadamente en consideración el carácter subjetivo de las opiniones de los expertos.

Se resume seguidamente una panorámica de la evolución del método desde sus inicios hasta nuevas variantes incorporadas en este milenio.

- *Dalkey, Norman C.* propone en 1969 el método conocido como Delphi clásico, cuya respuesta estadística se calcula a través de la media o la mediana
- Murray, Pipino & Gigchen (1985), propusieron la aplicación de la Teoría Difusa al método Delphi, con variables semánticas usadas para resolver el problema con técnicas difusas. Estas técnicas constituyen una generalización del método clásico.
- *Ishikawa et al.* usaron en 1993 el Método Máximo-Mínimo junto con la distribución de frecuencias acumuladas y el tanteo difuso para traducir las opiniones de los expertos en números difusos. De aquí se derivó el Método Delphi Difuso por Kaufman & Gupta (1985).
- Nuevas técnicas surgen ante el obstáculo que constituye la subjetividad y la imprecisión de las opiniones de los expertos, así como su dependencia de la competencia de cada uno de ellos. Inicialmente se encontraron alternativas que solo utilizaban la representación de las opiniones mediante conjuntos difusos, y mantenían el procesamiento en su forma estadística, como el Método Delphi Difuso (MDD) y el Método Delphi Difuso Ponderado (MDP)
- Hsu & Chen, en 1996, propusieron un método de agrupación basado en la similitud. En él se usa una medida de similitud, que mide la proximidad entre las opiniones de los expertos. A partir de ésta se construye un coeficiente de consenso, que se usa para integrar finalmente todas las opiniones.

A partir de estas ideas se crearon métodos muy eficaces.

- Hsuy Shih Lee, en una nueva propuesta en 2002, el Método de Consenso Óptimo, sugirieron una nueva

interpretación de la intersección de las opiniones y la utilización de una medida de similitud diferente.

El método Delphi ha sido utilizado en muchas aplicaciones de múltiples ramas del saber, en particular en Pedagogía y en Economía.

La esencia del método Delphi radica en explorar la opinión de expertos en la rama donde se analiza el problema que se aborda.

Se define un experto como alguien que presenta habilidades y conocimientos especiales adquiridos por el entrenamiento o la experiencia. Según Dalkey (1969), es aquel que es visto como tal por las otras personas de su mismo campo.

Se aconseja trabajar con expertos en presencia de alguna de las siguientes situaciones:

- Cuando no hay datos disponibles sobre el tema de consulta o estos no son suficientes.
- Cuando el problema es de prospectiva y solo se dispone de la intuición de ciertas personas basada en su experiencia.
- Cuando se quiere analizar lo que puede suceder en la práctica al aplicarse el resultado científico que se ha obtenido.
- Durante el proceso de elaboración, reelaboración y perfeccionamiento de modelos, estrategias u otros aportes que se dan en las investigaciones
- Para proponer generalizaciones de lo que experimentalmente dio resultado bajo determinadas condiciones, o para la justificación de las recomendaciones cuando éstas se hacen con un enfoque prospectivo.

Existen tanto ventajas como desventajas derivadas del trabajo con expertos.

La ventaja fundamental radica en que cuando se acude a los expertos se garantiza que la información disponible esté siempre más contrastada que aquella de la que dispone el participante mejor preparado, y que el número de factores considerado sea mayor que el que podría ser tenido en cuenta por una sola persona.

Entre las desventajas pueden citarse:

- La presión social que el grupo ejerce sobre sus participantes puede provocar acuerdos con la mayoría, aunque la opinión de ésta sea errónea.
- La elocuencia de algunos individuos puede orientar erróneamente la opinión de la mayoría, independientemente de la validez de ésta.

- La vulnerabilidad del grupo a la posición y personalidad de algunos de los participantes.
- Puede existir un sesgo común a todos los participantes en función de su procedencia o su cultura.

Algunas características de la técnica Delphi como modalidad de trabajo con expertos están encaminadas a minimizar las desventajas citadas, entre ellas el *anonimato*, que elimina la posible influencia del criterio de otros expertos (la cual pudiese estar dada por su jerarquía, prestigio o elocuencia) y la *retroalimentación controlada entre las iteraciones*, que permite que el experto modifique su criterio, al observar hacia dónde se orientó la mayoría y efectuar con esto un nuevo análisis bajo su propio criterio, o dar sus razones para el desacuerdo, lo que también pudiese influir en etapas sucesivas en los criterios de los demás.

La forma de este mecanismo de consulta está dada por interrogatorios a expertos mediante cuestionarios sucesivos, a fin de descubrir convergencias de opiniones y deducir eventuales consensos.

La realización de sucesivas vueltas tiene dos objetivos: el primero es hacer partícipes de la información obtenida a todos aquellos que han participado en el estudio, aportando su conocimiento y sus opiniones. El segundo objetivo persigue consolidar y refrendar los resultados obtenidos en la consulta anterior.

Para representar las opiniones de los expertos se utilizan números difusos. Los más usados son los triangulares y los trapezoidales, debido a la facilidad de trabajar con estos números, los cuales se manejan en particular en estudios prospectivos.

La filosofía del número triangular, dado por un trío de valores, responde desde el punto de vista práctico a la siguiente característica: el valor mínimo del número triangular representa la visión optimista de cada experto respecto a la variable bajo análisis, el valor central representa el escenario con más posibilidades de ocurrir según el experto consultado y el mayor de los números representa el escenario pesimista. Por ejemplo, si la persona consultada acerca de la tasa de interés para una cierta fecha informa que se encontrará entre 9.5% y 15%, siendo 12% el valor al que se le asigna confianza máxima, el número triangular es (0.095, 12, 15).

Entre los métodos que combinan el Método Delphi con técnicas difusas figuran el Método Delphi difuso ponderado y el Método de consenso por similitud.

En el Método Delphi Difuso Ponderado (MDDP), cada experto representa su opinión en un número difuso triangular. Se le asigna a cada experto un número real α entre 0

y 1, de manera que mientras mayor importancia tenga el experto, más próximo a 1 esté este valor. En particular, el hecho de tomar α constante significa que se está concediendo la misma importancia a cada experto.

Luego se calcula el promedio difuso ponderado utilizando aritmética difusa y se halla la desviación de cada experto respecto al promedio. En una ronda posterior, se envía este dato al experto para que reexamine su opinión.

Cada experto escribe un nuevo número triangular con su opinión modificada y se repite el proceso actualizando el promedio y la desviación en cada repetición, hasta obtener dos promedios consecutivos tan cercanos como se requiera.

En el Método de Consenso por Similitud (MCS) se busca un consenso entre las opiniones de los expertos basándose en una medida de similitud.

Cada uno de los expertos construye un número difuso triangular de componentes positivas y antes de la aplicación del método se verifica que las estimaciones de cualquier par de expertos tengan intersección no vacía. El propósito es construir el número difuso denominado grado de consenso mediante la siguiente secuencia de operaciones lógicamente encadenadas:

Calcular el grado de acuerdo entre cada par de expertos mediante la relación entre el área de intersección entre los dos números y la suma de las áreas bajo los dos números. Esta es, por su efecto, una buena medida del acuerdo entre dos opiniones, pues a medida que los números que las representan se alejan disminuye el numerador y aumenta el denominador, disminuyendo el cociente; o, si se amplía el soporte funcional de estos números difusos, y por tanto la incertidumbre, aumenta el denominador y consecuentemente disminuye el cociente.

Construir la matriz de acuerdo AM , de dimensión, $n \times n$ para $i=1,2,\dots,n$, y $j=1,2,\dots,n$, que en la intersección de la i -ésima fila y la j -ésima columna contiene a $S_{ij} = S(\tilde{R}_i, \tilde{R}_j)$

-Calcular el grado de acuerdo promedio $A(E_i)$ del experto E_i

$$A(E_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n S_{ij}$$

-Calcular el grado de acuerdo relativo RAD_i del experto E_i :

$$RAD_i = \frac{A(E_i)}{\sum_{i=1}^n A(E_i)}$$

Definir el grado de importancia (w_i) de cada experto:

$$w_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^n r_i}, i = 1, 2, \dots, n.$$

Donde es la importancia asignada a cada experto. Al experto de mayor importancia se le asigna el valor, de manera que:

$$\max \{r_1, r_2, \dots, r_n\} = 1 \text{ y } \min \{r_1, r_2, \dots, r_n\} > 0$$

Calcular el coeficiente del grado de consenso CDC_i del experto E_i :

$$CDC_i = \beta \cdot w_i + (1 - \beta) \cdot RAD_i$$

Donde $0 \leq \beta \leq 1$, se utiliza para ponderar el peso que se le va a dar a la importancia del experto y al grado de acuerdo relativo.

Integrar las opiniones difusas mediante el coeficiente del grado de consenso (CDC_i) del experto E_i ($i = 1, 2, \dots, n$), construyendo el número difuso global:

$$\tilde{R} = \sum_{i=1}^n (CDC_i \cdot \tilde{R}_i)$$

Repetir el proceso si se estima necesario.

Obsérvese que los dos métodos involucran la importancia del experto.

2. Características del método de comparación

El método de comparación es un procedimiento destinado a valorar la correspondencia entre casos de estudio con fines de generalización empírica y de análisis de sensibilidad numérica. La aplicación de este método es particularmente útil en presencia de incertidumbre.

La comparación es inherente a cualquier procedimiento científico, ya que el método científico es inevitablemente comparativo. La comparación conlleva una interpretación valorativa de las opciones o de los resultados.

Las principales funciones de la comparación son: procurar heurística, generar nuevas hipótesis y generalizar desde el punto de vista empírico, las cuales no son excluyentes.

Entre los fines de la comparación figuran:

- A. Comprender cuestiones desconocidas a partir de conocimientos establecidos mediante analogía o contraste.
- B. Realizar descubrimientos heurísticos.

C. Sistematizar características partiendo del análisis.

El método comparativo busca establecer nexos causales, delimitando previamente la causa como variable independiente y el efecto como variable dependiente. La comparación requiere un contexto para el análisis de las variables analizadas. Cuando la comparación logra un adecuado nivel de abstracción es determinante para que logre el cumplimiento de los fines establecidos.

Por ejemplo, el análisis realizado de los métodos descritos permite descubrir que el MDDP tiene un enfoque más estadístico, mientras que el MCS posee una perspectiva más geométrica. Como analogía, se determina que los factores de incidencia en el resultado son: los valores que toman los parámetros asociados a los métodos Delphi Difuso y Consenso por Similitud respectivamente con relación a la importancia concedida a los expertos y también la cantidad de rondas R , con $R=1,2,\dots,k$. Sin embargo, contrasta la utilización de estos parámetros, puesto que pondera no solo la relevancia de la opinión, sino también su cercanía a las demás opiniones.

3. Fundamentación de la experimentación numérica

La experimentación numérica está basada en la identificación de todas aquellas variables que influyen en la variable de salida. Hay tres tipos de variables:

1. Controles
2. Variables exógenas
3. Variables endógenas

Los controles son las variables instrumentales cuyos valores se varían por el investigador dentro de ciertos límites. Las variables exógenas son condiciones paramétricas de los métodos o están relacionadas con el entorno, de modo que influyen sobre el modelo, pero no son influidas por él. Finalmente, las variables endógenas son las restantes: ellas se calculan en función de las exógenas, los controles y valores previos de ellas mismas, en dependencia del tipo de modelo.

La experimentación numérica parte de la consideración de un conjunto de casos o problemas que deben ser tratados con diversos métodos. El primer requerimiento es determinar los factores exógenos que influyen en los métodos y compatibilizarlos para utilizarlos como criterio de comparación.

Con respecto a los métodos mencionados, las variables exógenas son la cantidad de rondas y la importancia asignada a cada experto. Al aplicar los diversos métodos, en cada uno de ellos se hace variar al menos uno de los parámetros exógenos. Por tanto, en la perspectiva

de la experimentación numérica se tiene en cuenta las siguientes variantes: variación del método, variación de la cantidad de rondas, la variación de y la variación de .

La finalidad de la experimentación numérica es medir de alguna manera la confiabilidad de los modelos que se analizan, simulando casos particulares bajo algún criterio.

4. Metodología para el tratamiento de problemas con incertidumbre

Del análisis anterior se deriva la propuesta de una metodología para abordar problemas con incertidumbre. La misma consta de los siguientes pasos:

P1) Análisis de las características difusas del tipo de problema.

P2) Valoración de métodos posibles a utilizar.

P3) Determinación de los parámetros de comparación de los métodos.

P4) Diseño de la experimentación numérica asociada a la comparación.

Tras la ejecución de la experimentación numérica, se calibran los resultados atendiendo criterios técnicos.

CONCLUSIONES

La creación de la metodología se basa en el análisis del ambiente del problema, la selección de métodos apropiados, la determinación de las variables exógenas y el diseño consecuente de la experimentación numérica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Dalkey, N.C. (1969). *The Delphi method: an experimental study of group opinion*. Santa Mónica: The Rand Corporation.

Ishikawa, A., et al. (1993). *The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration*. Fuzzy Sets and Systems, 112(2000), 511-520.

Kaufmann, A., & Gupta, M. M. (1985). *Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications*. New York: Van Nostrand Reinhold.

Lee, H.-S. (2002), *Optimal consensus of fuzzy opinions under group decision making environment*. Fuzzy Sets and Systems, 132 (3), 303-315. Recuperado de <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=637309>

Linstone, H. A., & Turoff, M. (1975). *The Delphi method: Techniques and applications*. Reading: Addison-Wesley Publishing Company.

Murray, T. J., Pipino, L. L., & Van Gigch, J.P. (1985). A Pilot Study of Fuzzy Set Modification of Delphi. Human Systems Management, 5, 6-80. Recuperado de <https://www.scienceopen.com/document?vid=432e49ba-d228-4e5c-a541-bbb7e614ec94>

Ortega San Martín, F. (1997). *La prospectiva: herramienta indispensable en una era de cambios*. Recuperado de <http://www.oei.es/historico/salactsi/PROSPECTIVA2.PDF>

Wang, W. J. (1997). New Similarity Measure on Fuzzy Sets and on Elements. *Fuzzy Sets and Systems*, 85, 305-309. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0165011495003657>