

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y
NATURALES

Doctorado en Ciencias de la Ingeniería

TESIS DOCTORAL

Título:

*Toma de Decisiones en grupos de trabajo.
El método Procesos DRV
(Decisión con Reducción de Variabilidad)*

Doctorando: Ing. José Luis Zanazzi

Director: Dr. Ing. Santiago Reyna

Comisión Asesora:

Dr. Ing. Luiz Autran Monteiro Gomes

Dr. Ing. José Inaudi

Córdoba, Febrero de 2016

Dedicatorias

*A mis padres: Lucía Bermudez y Lindy Zanazzi,
porque estimularon y apoyaron de manera sostenida,
mi vocación por el conocimiento.*

*A Octavio García Faure y a mis amigos del Campamento La Sortija,
porque esa experiencia, la de construir en grupo, la de crecer en equipo,
me ha acompañado e inspirado siempre.*

Agradecimientos

- A mi Director y miembros de la Comisión Asesora.
- A los miembros del Comité Evaluador.
- A mis compañeros del LIMI, que contribuyeron con su trabajo y apoyo a la realización de esta investigación.
- A los Docentes Investigadores de la UNC, que colaboraron de diferentes maneras e hicieron posible el avance.
- A la FCEFyN y en particular, a la carrera del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería.
- A la Facultad de Ciencias Económicas de la UNC, porque brindaron un decidido apoyo a este Proyecto, en momentos claves.
- A los Investigadores de nuestro país y de Brasil, que contribuyeron de distintas maneras, aportaron materiales y sumaron ideas que enriquecieron este producto.
- A mi familia, que entendió y apoyó, permanentemente apoyó, el avance de esta iniciativa.
- A los Grandes Maestros, los que tienen conocimientos y habilidades destacables y se esfuerzan por formar a otros para el crecimiento de nuestra sociedad.**

Abstract

This paper analyzes the problem of decision-making in workgroups, when it is necessary to select an alternative or to put the options in order from a higher to a lower preference/priority, in a finite set of possibilities and with multiple criteria. In this paper a new method, called DRV processes, is designed and applied. This tool uses altogether operational research concepts, particularly concepts on Multiattribute Additive Utility Theory, and Statistics. The proposed method consists of three stages: Stabilization, Aggregation and Ordering. Stabilization encourages group members to exchange knowledge and experiences and to reach to a consensus position. In addition, during the Stabilization phase, the basic information is collected in a way that it reduces the problem of possible data gaps; at the same time it allows a reduction in both imprecision and uncertainty, which generally affect group decisions significantly. Meanwhile, the aggregation stage can be done by means of two variants: linear weighting and Todim methodology; the latter has the advantage of applying the theory of perspectives, which makes it possible for the members of the group to model their predisposition before risk. In the organization phase, it is possible to set an order in the options available and to identify strict preference as well as equivalence relations. The thesis includes an example of discrete simulation that helps understanding the method's operative modalities. Additionally, three different applications carried out in different types of organizations are described. On the other hand, the paper studies the possibility of using the developed method complementing other methodologies, and applies these combinations to quality management systems, people selection and industrial maintenance. In the conclusion it is emphasized that the method can be applied using a few resources, and that people respond well to directives. Also, potential advantages are discussed over other approaches.

Keywords:

Group decision making. Multicriteria Decision Aid. Multiattribute Additive Utility Theory. Statistics Quality. Maintenance. Personnel management.

Resumen en español

Este documento analiza el problema de tomar decisiones en grupos de trabajo, cuando es necesario seleccionar una alternativa u ordenar las opciones de la mayor a la menor preferencia, entre un conjunto finito de posibilidades y con criterios múltiples. En el documento se diseña y aplica un nuevo método, al que se denomina Procesos DRV. Esta herramienta utiliza conjuntamente conceptos de investigación operativa, más concretamente de la Teoría de Utilidad Multiatributo Aditiva (Multiattribute Additive Utility Theory), y de Estadística. El método propuesto se compone de tres etapas: estabilización; agregación y ordenamiento. La primera de estas fases estimula a los miembros del grupo para que intercambien conocimientos y experiencias y se acerquen a una posición de consenso. Además, durante la fase de estabilización se reúne la información básica de un modo que reduce el problema de posibles faltantes en los datos; a la vez que permite disminuir tanto la imprecisión como la incertidumbre, que generalmente afectan de manera notable a las decisiones grupales. Por su parte, la etapa de agregación puede hacerse mediante dos variantes: ponderación lineal y la metodología Todim; esta última tiene la ventaja de aplicar la teoría de las perspectivas, con lo que es posible modelar la predisposición de los integrantes del grupo frente al riesgo. En la tercera fase es posible establecer un ordenamiento de las opciones disponibles, desde las mayores a las menores preferencias e identificar tanto relaciones de preferencia estricta como de equivalencia. La Tesis incluye un ejemplo de simulación discreta que ayuda a comprender las modalidades operativas del método. Adicionalmente, se describen tres aplicaciones diferentes, realizadas en diferentes tipos de organizaciones. Por otro lado, el documento estudia la posibilidad de utilizar el método desarrollado de manera complementaria con otras metodologías y aplica estas combinaciones a sistemas de gestión de calidad, a selección de personas y a mantenimiento industrial. En las conclusiones se destaca que es posible aplicar el método con pocos recursos, que las personas responden bien a sus consignas y se discuten potenciales ventajas respecto a otras aproximaciones.

Palabras claves

Toma de decisiones en grupo. Apoyo Multicriterio a la Decisión. Teoría de la Utilidad Multiatributo Aditiva. Estadística. Calidad. Mantenimiento. Gestión de personas.

Resumen extenso

En este documento se presenta y desarrolla un nuevo método, denominado Procesos DRV (Decisión con Reducción de Variabilidad), orientado a facilitar la realización de procesos de toma de decisiones grupales. Este tipo de actividades debe desarrollarse con elevada frecuencia en las organizaciones de producción, tanto de bienes como de servicios.

Se asume que la cuestión analizada puede entenderse como un problema de decisión multicriterio discreta, en el que es necesario escoger una entre un conjunto finito de alternativas, bajo la consideración de diversos criterios que pueden estar contrapuestos entre sí. Además se supone que los integrantes pertenecen a una misma organización, por lo cual comparten prioridades y valores.

En respuesta a la necesidad de las organizaciones, el método planteado se propone generar un espacio de intercambio de conocimientos y experiencias entre los participantes. En ese sentido, esta aproximación se orienta a incrementar la posibilidad de que todos los integrantes puedan expresarse libremente, controlando el efecto conocido como presión del grupo. Se considera que esa libre participación contribuye a fortalecer el compromiso posterior con las decisiones adoptadas.

Por otro lado, se propone controlar diversos problemas típicos de las decisiones grupales, como imprecisión, incertidumbre y faltante de datos. Al respecto, esta propuesta busca reducir los dos primeros efectos, al tiempo que permite arribar a una decisión, aún cuando la información no se encuentre completa.

En cuanto a lo metodológico, el método utiliza una combinación de elementos de la Teoría de la Utilidad Multiatributo Aditiva (MAUT) y de Estadística. De la primera, adopta la modalidad de valoración de preferencias y prioridades. De la segunda, modela los valores aportados como realizaciones de variables aleatorias multidimensionales y realiza el tratamiento de datos con recursos de Estadística Inferencial.

El método se integra con tres etapas, a las que se denomina: Estabilización; Agregación y Ordenamiento. La primera de estas fases permite que el grupo analice en plenario los diferentes subproblemas que integran el proceso decisional y que avance sobre acuerdos básicos. La estabilidad se alcanza cuando ya no es factible cambiar sustancialmente las posturas individuales, aún cuando se continúe el estudio. Para

valorar la estabilidad y el nivel de consenso alcanzado, se proponen indicadores apropiados.

La Agregación permite obtener valores globales para cada alternativa de decisión. Esta fase se ejecuta cuando se ha logrado estabilizar todos los subproblemas. Para agregar, el método ofrece dos estrategias: la primera es la denominada ponderación lineal, recurso propio de la MAUT; la segunda se fundamenta en la Teoría de las Perspectivas, de Kahnemann y Tversky, con lo que se procura valorar la propensión al riesgo de los decisores.

La tercera fase permite ordenar las alternativas, desde la mayor a la menor preferencia. Al comparar entre sí los elementos considerados, el método permite establecer tanto relaciones de preferencia estricta, como de equivalencia.

Esta aproximación al problema de la decisión en grupo, ha sido aplicada en una variedad de situaciones prácticas y con participantes de diferentes características. En la primera de esas experiencias, un conjunto de personas realizó una selección de actividades de capacitación para una empresa. En otra aplicación, un grupo de ingenieros encargado de implementar un sistema de mantenimiento de equipos electromecánicos, debió analizar diferentes fallas y asignar prioridades para su reparación; en esa oportunidad, el proceso de toma de decisiones fue utilizado como actividad de capacitación. Una tercera experiencia se realizó en una entidad de tipo Cooperativa, donde un grupo mixto, compuesto por miembros del Consejo de Administración y por empleados, establecieron prioridades para la adquisición de equipamiento.

Asimismo, el método ha sido utilizado con éxito, de manera combinada con otras metodologías. Por ejemplo, se utilizó para complementar el enfoque de procesos, en una organización cuyo Sistema de Gestión de Calidad se encontraba certificado bajo Normas ISO 9001:2008. En esa oportunidad, el método facilitó el desarrollo de indicadores compuestos, para evaluar la evolución del Sistema mencionado.

También contribuyó al establecimiento de prioridades para un Sistema de Mantenimiento Preventivo, en una importante industria farmacéutica. En ese caso, los participantes del grupo fueron dependientes de las tres áreas involucradas: Producción; Calidad y Mantenimiento. La aplicación permitió definir puntos de vista compartidos, aún cuando los sectores mencionados arribaron al ejercicio con diferencias previas.

Otra posibilidad que fue explorada, consistió en la utilización del método como parte de un enfoque multi-metodológico. El caso de estudio en esta oportunidad, es una empresa que ofrece servicios de outsourcing informático. La aplicación fue orientada a facilitar la selección de los profesionales que integran el equipo de desarrollo de cada proyecto. En este caso, se combinó con otras metodologías de la Investigación Operativa, entre los que se destacan los Campos Cognitivos tipo SODA, Soft System Methodology y Programación Binaria.

En las conclusiones de esta Tesis se identifican aspectos positivos de la aproximación propuesta, entre los que se destacan la buena recepción que los participantes tienen ante estos ejercicios y el hecho de que favorecen el desarrollo de competencias en el grupo de trabajo, mediante la capacitación y el involucramiento. Además ofrecen la posibilidad de reducir tanto la imprecisión, como la incertidumbre, que siempre afectan a estos procesos. Entre las limitaciones, se destaca el hecho de que no resulta evidente el modo de valorar el verdadero impacto de estas aplicaciones, lo que puede disminuir sus posibilidades de empleo, particularmente porque estudios como este y otros similares, requieren esfuerzo y demandan varias horas de trabajo. Por otro lado, se enumeran líneas de investigación que se abren a partir de este trabajo. Finalmente, se agregan sugerencias para otros investigadores que deseen profundizar en la temática.

Elemento	Página
Abstract	4
Resumen en Español	5
Resumen extenso	6
Índice	9
Listado de artículos anexos	10
Diccionario de acrónimos	11

Índice

Nro.	Título	Página
1	El problema analizado y fundamentos conceptuales utilizados en su Resolución	14
2	Revisión de aportes de la Investigación Operativa, a la Toma de Decisiones en Equipo	33
3	Estabilización del proceso de análisis	64
4	Agregación con Ponderación Lineal	79
5	Agregación de Utilidades con el método TODIM	105
6	Ordenamiento de las alternativas	120
7	Aplicación simulada para ilustrar las prácticas operativas	135
8	Aplicaciones reales	144
9	Aplicaciones en Mantenimiento Preventivo	165
10	Combinación de los DRV con Enfoque de Procesos	180
11	Aplicación a problemas de selección de personas	207
12	Conclusiones	224
13	Bibliografía	235

Anexos

Nro.	Título	Página
1	Análisis de los métodos de Saaty	251
2	Series aleatorias utilizadas para estudiar la Distribución de Vi	279

Listado de artículos anexos

Nº	Descripción
1	Zanazzi J, Gomes L (2009) La búsqueda de acuerdos en equipos de trabajo: el método Decisión con Reducción de la Variabilidad (DRV). <i>Revista Pesquisa Operacional</i> , 29,1, pp. 195-221.
2	Zanazzi, J. L., Gomes, L. F. A. M., & Dimitroff, M. (2014). Group decision making applied to preventive maintenance systems. <i>Pesquisa Operacional</i> , 34(1), 91-105.
3	Zanazzi, J. Boaglio, L. Carignano, C. Conforte, J. y Zanazzi, J. F. (2013). Indicadores ponderados en una biblioteca universitaria, construidos con un método de decisión grupal. <i>Revista del Instituto Chileno de Investigación Operativa</i> , 1, 1, 10.
4	Gomes L; Zanazzi J (2010) Análisis multicriterio con múltiples decisores: Aplicación combinada de los métodos TODIM y Procesos DRV. <i>Revista de Administração do Gestor</i> . Vol. 2, n. 1, pág. 105-136, jun. 2012
5	Zanazzi J y otros (2010) Procesos DRV: la Toma de Decisiones como entrenamiento para equipos de trabajo. <i>Revista Ingeniería Industrial</i> . Universidad de Bio Bio. Vol. 9, pp. 53-66.
6	Cabrera G. y Zanazzi J. (2014) Una aproximación multimetodológica al problema de selección de equipos de trabajo. <i>Revista EPIO</i> , 36.
7	Zanazzi, J. Dimitroff, M. Pontelli, D. y Pedrotti, B. (2013). Metodos para Tomar Decisiones en Grupo: Comparación entre Procesos DRV y SMAA. <i>Revista EPIO</i> , 34., 45-61
8	Zanazzi J.L.; Carignano, C.; Boaglio, L.; Dimitroff, M.; Conforte, J. (2006) Metodología para apoyar la toma de decisiones en equipo. <i>Revista EPIO</i> , N. 27, 61-74.
9	Zanazzi J, Pedrotti B, Arias F, Dimitroff M, Blázquez M (2010) Enfoque de procesos en la gestión de servicios: estrategias para lograr aplicaciones exitosas. <i>Revista Ciencia y Tecnología</i> , 13, formato digital, Argentina.
10	Zanazzi, J. (2003). Anomalías y Supervivencia en el Método de Toma de Decisiones de SAATY. En Godoy: <i>Problemas del Conocimiento en Ingeniería y Geología</i> , Vol.1. pp. 148-170
11	Zanazzi J., Carignano C y Boaglio L (2005) “Discusiones sobre el método de toma de decisiones de Saaty”. <i>Revista EPIO</i> , 23.

Diccionario de acrónimos

Acrónimo	Término	Descripción
AHP	Analytic Hierarchy Process	Proceso Analítico de Jerarquías. Método DMD para decisor individual.
BM	Biblioteca Mayor	Biblioteca donde se realizó una aplicación de Procesos DRV
DMD	Decisión Multicriterio Discreta.	Metodologías orientadas a escoger una alternativa, entre un conjunto finito, a la luz de criterios que pueden ser contrapuestos.
EJOR	European Journal of Operational Research	Revista científica periódica europea, orientada a la investigación operativa
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant la Réalité	Método de relaciones de superación para decisión individual
EPIO	Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa	Entidad que nuclea a expertos en investigación operativa residentes en Argentina.
FCEFYN	Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la UNC	Facultad donde se desarrolla este Doctorado
GDM	Group Decision Making	Problemas de decisión donde los integrantes del grupo tienen objetivos compartidos
GDN	Group Decision and Negotiation	Revista científica periódica orientada a la decisión y negociación en grupos de personas
GDSS	Group Decision Support System	Sistema informático orientado a facilitar la decisión grupal
IO	Investigación Operativa	Siglas de la disciplina científica en idioma español
IVR	Índice de Variabilidad Remanente	Indicador utilizado en los Procesos DRV para valorar la reducción en la imprecisión e incertidumbre

Continúa Diccionario de Acrónimos

Acrónimo	Término	Descripción
MAUT	Teoría de la Utilidad Multiatributo Aditiva.	Propuesta en Keeney y Raiffa (1993).
MCDA	Multiple - Criteria Decision Analysis	Análisis multicriterio, como aplicación de las teorías sobre la decisión.
NAIADE	Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments	Método para decisión en grupo que utiliza conjuntos borrosos
NDM	Negotiated Decision Making	Problemas de negociación
OR	Operational Research	Investigación Operativa
PL	Ponderación Lineal	Modalidad de agregación de utilidades que se utiliza frecuentemente cuando se aplica MAUT
Procesos DRV	Procesos de Decisión con Reducción de Variabilidad	Nombre de la aproximación desarrollada en la presente Tesis
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations	Método de relaciones de superación para decisión individual
PT	Prospect Theory	Teoría de las Perspectivas: explica las actitudes de las personas en situaciones de riesgo
SCD	Suma de Cuadrados Dentro	Suma de Cuadrados que representa la imprecisión e incertidumbre en una etapa del proceso de estabilización.
SCU	Suma de Cuadrados cuando la Distribución original es la Uniforme	Suma de Cuadrados que representa una situación de total desacuerdo entre los miembros del grupo.

Continúa Diccionario de Acrónimos

Acrónimo	Término	Descripción
SOBRAPO	Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional	Entidad que nuclea a expertos en investigación operativa residentes en Brasil.
SODA	Strategic Option Development and Analysis	Método que utiliza mapas cognitivos, propuesto en Eden (2004)
Soft OR	Investigación Operativa Soft	Conjunto de métodos orientados a la estructuración de problemas de decisión
SSM	Soft System Methodology	Método de la Investigación Operativa Blanda, que propone un enfoque sistémico.
THOR	AlgoriTmo Híbrido de ApoiO MulticritéRio	Método para decisión en grupo que utiliza conjuntos borrosos (Fuzzy Sets) y conjuntos rugosos (Rought Sets)
TODIM	Tomada de Decisão Interativa Multicritério	Método híbrido para decisión individual
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution	Método de agregación muy utilizado en DMD
UNC	Universidad Nacional de Córdoba	Universidad donde se desarrolla este Doctorado
UTA	Utilité Additive	Método diseñado para apoyar decisiones individuales
VIP	Variable Interdependent Parameters	Método multicriterio para decisión en grupo, soportado por computadora (GDSS)

1. El Problema Analizado y Fundamentos Conceptuales Utilizados en su Resolución

En este documento se desarrolla un método orientado a facilitar la realización de procesos de toma de decisiones en pequeños grupos de personas. Se asume que los integrantes pertenecen a una misma organización y que deben escoger una entre un conjunto finito de alternativas, cuando se consideran diversos criterios que pueden estar contrapuestos entre sí.

El presente capítulo tiene por objeto realizar un primer acercamiento al tema, motivo por el cual se identifican diversas cuestiones y restricciones que conviene considerar al plantear un desarrollo de este tipo. En primer lugar, se reconocen y enumeran diversas ventajas del trabajo en equipo, pero también se asume que no es evidente el modo de trabajar en conjunto, dado que los seres humanos se orientan naturalmente a la acción individual. Al respecto, se adopta el supuesto de que para obtener logros concretos en la tarea grupal, es conveniente apoyar la actividad en métodos que reúnan a la vez la doble condición de ser descriptivos y ofrecer una base objetiva.

Dado el tipo de problemas que se enfrentan, escoger una alternativa considerando criterios u objetivos contrapuestos, se adoptan como recursos clave los conceptos de la denominada Decisión Multicriterio Discreta (DMD), por lo que una parte de esta introducción se orienta a recordar supuestos básicos de esta rama de la Investigación de Operaciones.

Además, esta Introducción reconoce que en las aplicaciones DMD que se realizan en forma grupal, las diferencias de percepciones y valoraciones entre los integrantes del grupo, generan ruido en la información necesaria para la toma de decisiones. Al respecto, se resalta la idea de que ese ruido debe ser controlado, porque reduce el compromiso posterior con las acciones acordadas y disminuye sus posibilidades de implementación exitosa.

Por otra parte, se considera importante que el método a desarrollar sea compatible con los conocimientos desarrollados en otras áreas de la ciencia. A ese efecto, se revisan autores destacados en sociología y psicología, porque ofrecen justificaciones a la solución adoptada, a la vez que introducen requisitos adicionales para la misma.

Este capítulo cierra con la formalización del problema a resolver y los objetivos planteados para esta Tesis.

1.1 La Problemática que nos plantea la Realidad

Tanto nuestro país como otras regiones de Latinoamérica, se encuentran envueltos en un proceso de readaptación y expansión económica. Sucede que se mantienen algunas ventajas de la economía global implementada en los años noventa, como es la apertura de nuevos y mejores mercados, en tanto que se ha logrado construir una cierta independencia, lo que pone a nuestros sistemas económicos relativamente a salvo de los vaivenes y crisis de la globalización.

Este es sin dudas un ambiente que parece propicio para las nuevas ideas, donde herramientas de auxilio a la decisión como son las que integran la Investigación Operativa deberían ser de gran utilidad. Sin embargo, el emprendedorismo y la innovación, muy a menudo confían más en la intuición o la experiencia, que en los recursos de la IO.

En este particular se puede recordar una reflexión formulada en el clásico texto de Prawda (1976), donde se plantea que los métodos y modelos de la IO fueron desarrollados y aplicados en los países avanzados, con la finalidad de racionalizar el uso de los recursos. Pero también plantea la paradoja de que en Latinoamérica, donde los recursos son siempre muy escasos, no se utilizan estas metodologías, al extremo de que sus aplicaciones son realmente reducidas.

Cuarenta años después, la afirmación de Prawda sigue teniendo validez, sólo que la cuestión se extiende a centros desarrollados. En efecto, autores europeos plantean que la cantidad de aplicaciones de Investigación Operativa es muy reducida en todo el mundo, al menos si se compara con el número de problemas reales que deberían analizarse (Rosenhead, 2003). Por su parte, Franco (2011) va más allá, al asegurar que frecuentemente las herramientas de la IO permiten arribar a buenas soluciones teóricas, que no se implementan posteriormente en la práctica.

Para explicar estas contradicciones, se debe tener en cuenta que aún cuando las condiciones parecen favorables, el mundo en que se mueven nuestras organizaciones es incierto y complejo. La incertidumbre se evidencia en el hecho de que las

principales variables que deben considerarse al analizar un problema son siempre cambiantes, dado que cambian los protagonistas, las condiciones del entorno, las opiniones y las preferencias. Ante esas circunstancias, los estudios o análisis deben prever cuáles son las variantes posibles y de qué modo pueden afectar al sistema y por ende, tanto al problema que se analiza como a las posibles soluciones. Esto requiere un esfuerzo adicional para identificar las variables fundamentales, las relaciones entre las mismas y los mecanismos de cambio.

Por otra parte, el entorno es complejo porque además de los elementos físicos o económicos, hay una fuerte incidencia de las personas que participan. De hecho, a este tipo de sistemas se los suele calificar como Socio-Técnicos (Zanazzi, Alberto y Carignano, 2013, 2014); término con el cual se hace referencia a situaciones donde los resultados alcanzados dependen tanto de las cuestiones tecnológicas (medios, recursos, métodos e incluso medio ambiente), como de las personas que los operan.

Esto es, en condiciones similares una línea de producción puede trabajar con un 25% de rechazos de productos terminados o con un 1%. Una organización puede operar con una elevada tasa de accidentología o puede lograr que sea aceptablemente baja. Una Universidad puede tener en primer año, un 70 % de deserción o un 15 %, incluso la misma unidad académica puede pasar de una condición a la otra.

El origen de esas notables diferencias puede buscarse en el modo en que el grupo de personas que administra el proceso, se organiza para gestionarlo. Por supuesto, el problema de estos sistemas complejos ha sido analizado desde diferentes áreas del conocimiento. Desde el punto de vista técnico es habitual, por ejemplo, la aplicación de los denominados sistemas de gestión, que pueden ser para la calidad, para el mantenimiento o para el medio ambiente, por citar algunos muy conocidos.

1.2 El modo en que operan las Organizaciones Avanzadas

En las entidades dedicadas a la producción, tanto de bienes como de servicios, es frecuente encontrar modalidades de organización y estrategias de trabajo, que se inspiran en los principios originales de la primera mitad del siglo veinte. Así entonces, los conceptos de Taylor, Fayol y el propio Ford continúan vigentes, pese a que han evidenciado una cantidad importante de debilidades.

Como contrapartida, existen una variedad de propuestas metodológicas que han demostrado ser superadoras de aquella estrategia inicial, en tanto mejoran desde las condiciones de trabajo hasta la productividad. En particular pueden recordarse algunas que si bien se impusieron en los noventa, en pleno auge del neoliberalismo, tienen validez en cualquier espacio y circunstancia.

Apenas caído el Muro de Berlín, las Universidades estadounidenses realizaron propuestas concretas acerca del modo en que convenía trabajar de allí en más. Por ejemplo, desde el Instituto Tecnológico de, se lanzó el concepto de Producción Ajustada, mediante el cual se recomienda que las organizaciones sean esbeltas y flexibles, a fin de reducir el consumo de recursos y disponer de capacidad para adaptarse rápidamente a los cambios que es necesario enfrentar, originados tanto en el ambiente como en la competencia.

En efecto, en el libro “La máquina que ha cambiado el mundo” (Womack J, Jones D, Roos D, 1991), revisan la historia del automóvil y enumeran las cuestiones que deben cumplir las automotrices para tener éxito. El libro resume un estudio de cinco años de duración, donde se comparan las estrategias productivas occidentales con las exitosas empresas japonesas.

La Producción Ajustada propone una estructura organizacional con muy pocos niveles jerárquicos, donde la base está formada por células relativamente independientes que actúan como pequeñas empresas, es decir, para cumplir su misión se ocupan de sus insumos, utilizan de la mejor forma posible sus recursos, dominan sus procesos, se asocian con sus proveedores. De este modo, se aprovecha mejor el trabajo en grupo (células), porque tienen una capacidad de respuesta más rápida que los individuos y de hecho, se transfiere a ellos la responsabilidad por las decisiones.

Veinte años después, estos conceptos conservan un elevado nivel de vigencia, como lo muestran los numerosos artículos científicos que en la actualidad se orientan a su tratamiento (Angelis, Conti, Cooper, Gill, 2011; Wilson, Roy, 2009). Además, sus aplicaciones se han extendido a variados sectores de la actividad económica, como ser la industria farmacéutica (Chowdary y George, 2012), o a la gestión del gobierno (Radnor, 2010).

Otra propuesta que continúa vigente fue planteada en el libro “La quinta disciplina” (Senge, 2007), mediante el concepto de “organizaciones que aprenden”. Dicho texto asegura que las entidades exitosas en el futuro serán aquellas que

adquieran capacidad para aprender en forma continua. A continuación se enumeran y discuten cinco disciplinas que facilitan el crecimiento permanente: pensamiento sistémico, crecimiento personal, visión compartida, modelos mentales y aprendizaje en grupo.

Senge (2007) insiste en la necesidad del aprendizaje conjunto. Señala que “...hay sorprendentes ejemplos donde la inteligencia del equipo supera la inteligencia de sus integrantes, y donde los equipos desarrollan aptitudes extraordinarias para la acción coordinada. Cuando los equipos aprenden de veras, no sólo generan resultados extraordinarios sino que sus integrantes crecen con mayor rapidez. La disciplina del aprendizaje en equipo comienza con el “diálogo”, la capacidad de los miembros del equipo para “suspender los supuestos” e ingresar en un auténtico “pensamiento conjunto.”

Con esta lógica, buena parte del planteo original pasa por la posibilidad de operar y construir en pequeños equipos de trabajo, como lo destaca Garvin D, Edmonsom A, Gino G (2008). Estos equipos favorecen tanto el ejercicio de liderazgos, como la comprensión de la misión y visión de la organización. Además, estimulan el crecimiento individual de los integrantes. Con este enfoque, se impulsa el desarrollo de verdaderos campos mentales en las organizaciones, dado que los miembros de la comunidad aprenden a compartir una cierta cantidad de valores y creencias.

A decir verdad, en toda la literatura especializada existe acuerdo sobre la importancia que tiene el trabajo en equipo en las dinámicas de las organizaciones actuales. Diversos autores han dedicado extensos párrafos a destacar las ventajas de esta forma de operar, donde se reconoce por ejemplo que el trabajo en grupo permite: aumentar la productividad; integrar habilidades individuales complementarias; mejorar la comunicación; realizar trabajos que los individuos no pueden hacer; aprovechar mejor los recursos; aumentar la creatividad; mejorar los procesos; diferenciar y a la vez integrar a la organización (Gibson, Ivancevich, Donnelly, 2001; Krieger, 2001)

1.3 Dificultades a superar para poder trabajar en equipo

Más allá de sus reconocidas ventajas, es preciso aceptar que el trabajo en equipo tiene dificultades dado que no es una actividad natural para el ser humano. Por el

contrario, las personas necesitan diferenciarse, lo cual contribuye a incrementar las fricciones internas. Esta cuestión ha sido tratada en diversos textos clásicos de la psicología. Por ejemplo, Maslow (1943) explica que la motivación de las personas para trabajar, nace en la necesidad satisfacer una pirámide formada por los cinco niveles siguientes de necesidades: fisiológicas elementales; seguridad; reconocimiento personal, reconocimiento social; autorrealización.

Si este enfoque fuera cierto, los tres primeros niveles pueden considerarse satisfechos en cualquier persona que trabaja en una organización. En efecto, dicha vinculación le ofrece alimentos, vivienda, seguridad, e incluso reconocimiento, por el solo hecho de pertenecer a la entidad. El siguiente nivel pasa por la necesidad de diferenciarse, por lograr que el entorno al cual pertenece perciba sus cualidades y aptitudes.

Es decir que el cuarto nivel agrega tanto efectos positivos como negativos para la actividad grupal. Entre los positivos se encuentra el interés por participar. En tanto, el lado negativo surge de la inevitable priorización de los intereses individuales en desmedro de los del conjunto. Dicho de otro modo, al ser convocado para un trabajo grupal, la persona tiende a dedicar más energía a lograr que el resto de los integrantes lo valore, en vez de priorizar los objetivos explícitos o implícitos para el grupo.

Una estrategia que generalmente contribuye a salvar estas limitaciones es la adopción de posturas muy definidas por parte de los directivos. Gibson et al (2001), establece requerimientos para que los equipos sean efectivos, entre los que se encuentran los siguientes: compromiso de muy alto nivel; establecimiento de metas claras; confianza empleador-empleado; voluntad para asumir riesgos y compartir información; y recursos y compromiso para capacitarse.

Pero aún bajo condiciones favorables de los grupos directivos, puede ocurrir que fracasen los intentos por producir en conjunto. Sucede que los aspectos personales, radicados en la subjetividad, están siempre presentes e introducen distorsiones, como percepciones enfrentadas y necesidad de diferenciarse.

Sin duda existe un gran número de factores internos y externos que interactúan en los individuos y se manifiestan en sus relaciones. La trama de interacciones presentes en el accionar de un equipo, puede ser armónica y originar un trabajo exitoso, o producir múltiples dificultades, generando incertidumbre y fricciones de distinta

índole entre sus integrantes.

Entre los aportes que ayudan a comprender esta cuestión, se encuentran los de Pichon-Riviere, experto argentino orientado a la Psicología Social, que trabajó en Buenos Aires hasta los años setenta. Dicho autor denomina grupo a un conjunto de personas enfocado en una tarea compartida y señala que los “grupos operativos” son los que logran mejores resultados. Su trabajo evidenció que para poder operar en conjunto de manera eficiente, es conveniente que los grupos se enfoquen en la tarea mediante la aplicación de dinámicas con objetivos y reglas muy precisas (Pichón-Riviere, 1975; Quiroga, 1998).

Es decir, las actividades grupales funcionan mejor cuando la actividad se apoya en métodos que establecen con claridad las reglas básicas de operación (Cembranos y Medina, 2011). Una de las condiciones favorables es que las personas utilicen elementos objetivos para comunicarse e interactuar, de modo que puedan adoptar criterios comunes y una regla general de análisis comprensible para todos. Si esto no ocurre, la adopción de elementos subjetivos impide la uniformidad del análisis.

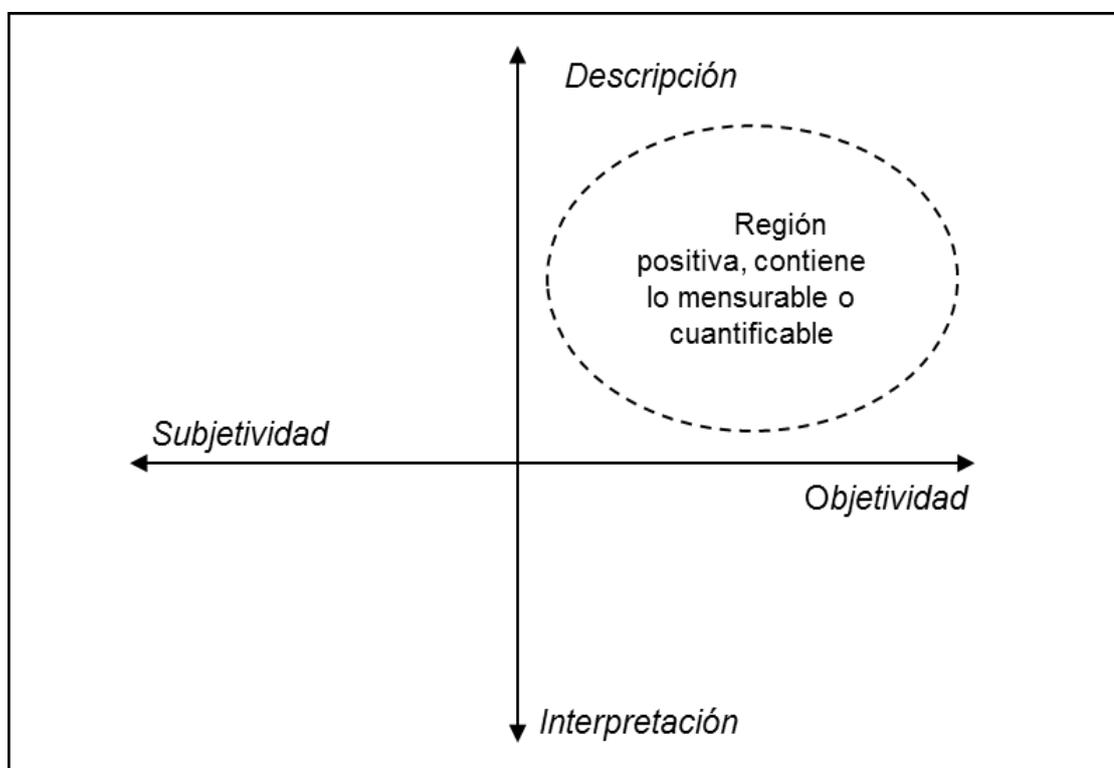


Figura 1.1: Regiones posibles de interacción

Además del nivel de objetividad a utilizar, es conveniente definir si los miembros del grupo pueden realizar interpretaciones personales a lo largo del estudio, o si deben limitarse a describir lo que observan. Sucede que la interpretación está condicionada por la diferencia en las percepciones y en las experiencias previas, por lo tanto puede generar fricciones o problemas; en cambio la descripción posiciona el análisis en una condición más tangible y evita los inconvenientes mencionados.

La Figura 1.1 permite visualizar que existe una “región positiva”, en la cual las opiniones encuentran un cauce común para manifestarse. Es importante que los métodos a utilizar permitan posicionar la interacción del equipo en la región positiva.

Dicho de otro modo, es necesaria la aplicación de estrategias de trabajo pertinentes, que permitan a los integrantes superar sus necesidades de diferenciación y concentrarse en la tarea. Estas herramientas metodológicas deben incluir prácticas tendientes a facilitar la comprensión de distintas situaciones problemáticas, discriminar elementos de decisión y reconocer la necesidad de introducir pautas o normativas que posibiliten objetivar las cuestiones en discusión, mediante la cuantificación de los elementos de decisión identificados.

En resumen, por un lado se tiene que las organizaciones deben trabajar en grupo y que es necesario que esos grupos tomen decisiones con una perspectiva sistémica. Por el otro, se afirma que el aprendizaje grupal y el trabajo conjunto solo se tornan eficientes, cuando se apoyan en objetivos y reglas adecuadas.

En el párrafo anterior, el término reglas hace referencia a ordenamientos simples, que ayudan a regular la dinámica del grupo. De hecho, la creación y adopción de normas, tanto explícitas como implícitas, es una cualidad de los equipos de trabajo (Cembranos y Medina, 2011). Por ejemplo, en el análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas), las consignas son sencillas: enumerar elementos que encuadran en cada una de las categorías consideradas y elaborar en conjunto, definiciones de las mismas

Un modo simple de trabajar con objetivos y reglas compartidas es aplicar técnicas o métodos. Algunos ejemplos de herramientas que tienen esas cualidades en la práctica industrial son las siguientes: Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE); Diagrama de flujo; Diagrama causa efecto; Plan-Do-Check-Action (PDCA) (Gryna, Chua y De Feo, 2007).

Cabe preguntar entonces sobre el aporte que puede hacer la Investigación de Operaciones. Una primera cuestión es determinar cuáles son los métodos de la IO que pueden utilizarse para potenciar el trabajo de los grupos operativos. En ese marco, los métodos de Apoyo Multicriterio a la Decisión (Gomes, Araya y Carignano, 2004), tienen un elevado potencial para sostener los procesos de aprendizaje y crecimiento grupal en las organizaciones (Gomes, Gomes y Almeida, 2009; Saaty & Begicevic, 2012; Almeida y otros (2012). Sobre esta base, resulta natural pensar que apoyar los procesos de toma de decisiones grupales con métodos adecuados, puede y debe ser un recurso muy efectivo para potenciar el aprendizaje en equipo.

1.4 Sobre la Decisión Multicriterio Discreta (DMD)

La DMD puede ser considerada como una rama de la denominada Investigación Operativa. Diversos textos se han orientado a formalizar este conjunto de conocimientos. A los efectos de este trabajo, se han considerado especialmente los siguientes libros: Barba Romero y Pomerol (1997); Gomes, Araya y Carignano (2004); Gomes, Gomes y Almeida (2009); Almeida y otros (2012).

La DMD se caracteriza como discreta porque el conjunto de alternativas que se encuentran en condiciones de ser elegidas, es de tamaño finito y se integra con elementos que son separables y distinguibles unos de otros. El término multicriterio hace referencia al hecho de que las alternativas deben valorarse considerando diferentes criterios o condiciones a cumplir. En este sentido, también se habla de objetivos múltiples y de la necesidad de maximizar las utilidades sobre los mismos.

Los criterios pueden ser contrapuestos entre sí, esto es, cuando se obtiene una mejora en uno de los criterios, pueden generarse pérdidas o empeoramientos en los otros. Por ejemplo, se desea encontrar la alternativa que ofrece las mayores prestaciones y que a la vez, tiene el menor costo. Generalmente no existe un óptimo global para todos los criterios, antes bien, se busca una solución de compromiso, donde los diferentes objetivos se satisfagan de manera aceptable.

La representación gráfica utilizada en el presente trabajo es el denominado árbol de jerarquías, conforme al planteo de Saaty (2014) (ver Figura 1.2). En el extremo superior o nivel uno de este árbol, se consigna el objetivo general a satisfacer, en el nivel dos se especifican los criterios fundamentales, en el nivel tres los subcriterios y

así sucesivamente, hasta que en el último nivel se discriminan las alternativas.

Este enfoque requiere información sobre la preferencia de cada una de las alternativas, para cada criterio. Es decir, se valoran las alternativas bajo la consideración del criterio uno, luego se valoran con la escala planteada por el criterio dos y así sucesivamente.

A los efectos de valorar tanto las alternativas como los criterios, en este trabajo se utiliza la Teoría de la Utilidad Multiatributo Aditiva (MAUT), planteada por Keeney y Raiffa (1993). Con esta herramienta, se asume que las preferencias entre alternativas, o la importancia de cada uno de los criterios, pueden ser representadas con números reales denominados utilidades.

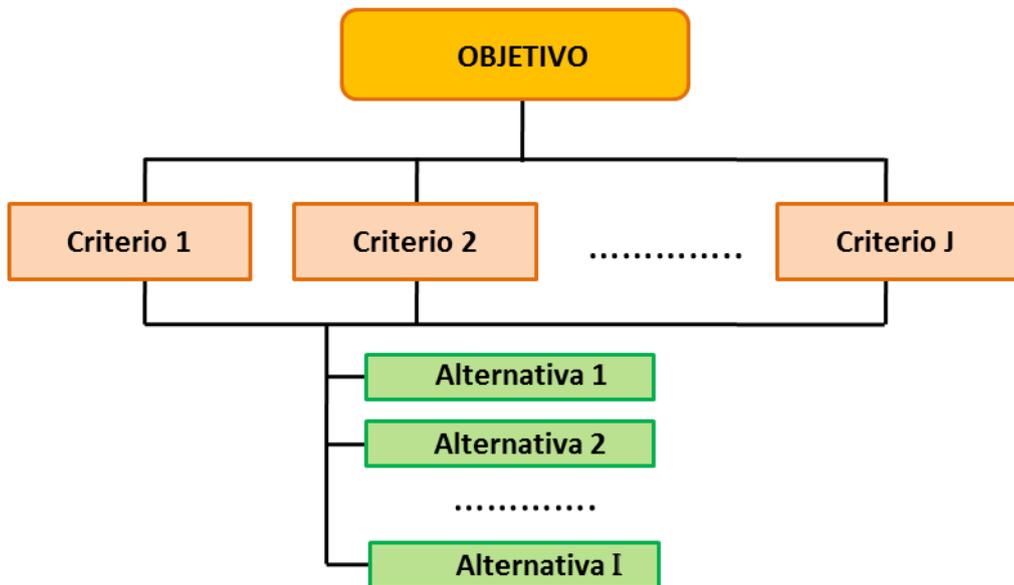


Figura 1.2: Árbol de jerarquías con un solo nivel de criterios

Así entonces, dado un criterio j , una alternativa A_i se considera preferible a otra alternativa A_m , cuando la utilidad asignada a la primera es mayor que la asignada a la segunda. Si en cambio las alternativas son equivalentes, las utilidades asignadas a las mismas deben ser iguales.

$$\{(A_i \succ A_m / C_j) \Leftrightarrow u_j(A_i) > u_j(A_m)\} \quad (1.1)$$

$$\{(A_i \approx A_m / C_j) \Leftrightarrow u_j(A_i) = u_j(A_m)\} \quad (1.2)$$

De igual modo, un criterio C_j tiene mayor peso o importancia que otro criterio C_i , cuando la utilidad asignada al primero (w_j), es mayor que la utilidad asignada al segundo (w_i). En el enfoque básico planteado en la MAUT, es necesario obtener valoraciones globales para las alternativas. La ponderación lineal es un modo frecuente, aún cuando tiene diversos inconvenientes, de obtener estas valoraciones. Aplicando este modo de agregación, el valor global para la alternativa número i , se obtiene haciendo:

$$V(A_i) = \sum_{j=1}^J w_j \times u_j(A_i) \quad (1.3)$$

Ahora bien, en el paradigma dominante en la DMD clásica, las figuras participantes en estos procesos son el decisor (se trata de una sola persona o entidad) y un facilitador, el cual domina la técnica o método que se desea aplicar. Esto es, no se piensa en conjuntos integrados por varios individuos.

Sin embargo, las revistas especializadas recogen entre mil novecientos ochenta y la actualidad, una gran variedad de aplicaciones colectivas de métodos formulados para decisores individuales. Estas experiencias en general se resuelven mediante simplificaciones que no siempre se encuentran debidamente justificadas.

Recién a partir del año dos mil, se comienza a reconocer que el problema de la decisión grupal es diferente al individual. La principal ventaja de estas formulaciones es la de intentar representar la diversidad existente entre las valoraciones de los diferentes integrantes.

1.5 Enfoques Sociológicos y Psicológicos compatibles con esta propuesta

Se desea que la solución al problema que se estudia, mediante la utilización de conceptos básicos de la DMD, sea compatible con el conocimiento imperante en otras áreas de la ciencia. En particular, dado el componente grupal del problema, se considera conveniente que el modelo a desarrollar no enfrente supuestos

fundamentales de la sociología o de la psicología.

Por ejemplo, Jon Elster, sociólogo noruego nacido en 1940, ha realizado reconocidos aportes en el campo de la filosofía de las ciencias sociales y políticas. Una característica distintiva de su obra es la aplicación de la teoría de la elección racional para estudiar los comportamientos humanos. Esta visión se encuentra fundamentada en Elster (1990) y en Becker (1980).

Elster plantea el supuesto de que las personas desarrollan sus actividades como un proceso continuo de sucesivas tomas de decisiones y utiliza para representar estos procesos, conceptos que son aceptados en el campo de la decisión multicriterio discreta. En efecto, el autor acepta como válido el supuesto de que las personas buscan maximizar la satisfacción de sus objetivos o criterios al desarrollar sus actividades. Además utiliza el concepto de función de utilidad en el planteo de sus ideas y asume que la búsqueda individual se orienta a mejorar estas utilidades.

Por su parte Pierre Bourdieu, uno de los autores más citados en las publicaciones especializadas, sostiene que las personas no desarrollan elecciones libres sino que se encuentran fuertemente influenciados por factores sociales. De hecho, entiende a las acciones humanas como una conciliación entre las influencias de las estructuras sociales externas y las experiencias subjetivas del individuo.

Más concretamente, Bourdieu (1996) plantea que el individuo actúa según el ámbito en el cual se desempeña y especifica: “...*La parte de nuestras acciones que controlamos es muy débil con relación a aquella que incumbe a “mecanismos” que, inscriptos en nuestro cuerpo por el aprendizaje, no son pensados conscientemente sino que funcionan fuera de nosotros, según las regularidades de las instituciones*”.

Por otra parte, en la Psicología, Kelly (1955, 2001) desarrolló la Teoría de Constructos Personales a partir de un postulado según el cual, las personas construyen su mundo individual conforme a la interpretación que hacen del mundo exterior. El enfoque constructivista ha sido y es utilizado en disciplinas muy diversas.

Por ejemplo, Stewart (1981) lo aplica en investigaciones de mercado, control de calidad y entrenamiento de dirección. Ha sido utilizado en educación y orientación vocacional: Rivas (1988; 1995), Martínez Sánchez (2005), Padilla (2010), Zanazzi y otros (2011). También se la ha aplicado en marketing y gestión empresarial: Lemke, Clark y Wilson (2010), Alexander P, Van Loggerenberg J, Lotriet H, Phahlamohlaka J

(2010). Es destacable también, el empleo en la estructuración de problemas de Investigación Operativa (Eden y Jones, 1984; Eden, 2004).

Ahora bien, lo relevante es que Kelly sostiene que el sistema de construcción de una persona está compuesto por un número finito de constructos dicotómicos, denominados constructos bipolares. Los constructos personales, concebidos en términos de bipolaridad, se entienden como referenciales que utilizan las personas para conducir su accionar.

Además del postulado fundamental ya mencionado, Kelly (1955, 2001) plantea los siguientes corolarios: de la construcción, de la experiencia, de la dicotomía, de la organización, del rango o del ámbito, de la selección, de la individualidad, de la comunalidad, de la fragmentación, de la sociabilidad.

A los fines del presente documento, el interés se centra en el corolario de la comunalidad. Esto es, siempre que una persona emplea una construcción de experiencias similar a la empleada por otra, sus procesos psicológicos son parecidos a los de esa otra persona (Boeree, 1999) y las calificaciones o puntuaciones asignadas deben ser similares.

Ahora bien, la combinación de las opiniones de estos referentes, tanto de la sociología como de la psicología, invitan a pensar que las acciones de las personas pueden ser modeladas como un proceso de decisión multicriterio. Por otra parte, si los miembros del grupo utilizan la Teoría de Utilidad Multiatributo para asignar utilidades, tanto a los criterios como a las alternativas y con independencia unos de otros, dichas asignaciones deben estar condicionadas por el ambiente en que operan. Claro que dicho condicionamiento puede considerarse una característica deseable cuando estas personas integran un equipo de trabajo que opera dentro de una cierta organización y se ha logrado desarrollar lo que se conoce como “cultura organizacional”. Dicho de otro modo, cuando el equipo de trabajo se encuentra consolidado, las acciones individuales deben estar especialmente condicionadas por el interés y los criterios del conjunto.

1.6 Sobre la Complejidad

Si bien la complejidad siempre ha estado presente en los problemas de ingeniería, esa condición parece haberse incrementado con el tiempo. Sucede que cuestiones

como el desarrollo tecnológico, la globalización, la participación social, el aumento de la población o la superabundancia de información, introducen elementos que complican las situaciones y que es imperioso considerar.

Sin embargo, de manera cotidiana percibimos evidencias de proyectos que no han tenido en cuenta estos aspectos y que por ello, enfrentan grandes dificultades. Algunas de estas evidencias son: empresas que deberían ser exitosas y que sin embargo caen en estrepitosos fracasos; radicaciones industriales o proyectos inmobiliarios, que no pueden concretarse por resistencia social; sistemas de gestión probados, que en algunas organizaciones son resistidos o ignorados; planes gubernamentales bien intencionados, que no obtienen los resultados esperados.

Estos contratiempos se producen porque ya no alcanza con entender los requerimientos técnicos de un problema, escoger un método adecuado y determinar una posible solución. Actualmente las soluciones adecuadas no lo son tanto, los óptimos se diluyen y la gente se resiste a utilizar razonamientos que no puede comprender.

Por ese motivo es preciso ampliar las perspectivas de la ingeniería e incorporar una mirada holística que perfeccione las propuestas de solución. Además se necesita lograr el convencimiento de las personas que deben implementar las estrategias seleccionadas y la disposición favorable de aquellos que van a recibir los productos de la iniciativa.

Ahora bien, en términos de Investigación Operativa (IO), se entiende que un problema es complejo cuando además de soluciones técnicas, se precisa que la gente se ponga de acuerdo y que actúe de manera asociada. Por otra parte, la complejidad introduce ruido en la información necesaria para el proceso de decisión. Esta perturbación se origina en las diferencias entre los agentes vinculados al proceso y es natural, porque las personas necesariamente tienen preferencias diferentes.

Lo malo es que el ruido no solo perjudica y empobrece la información disponible, sino que también reduce las posibilidades de éxito de las acciones acordadas en conjunto y el compromiso de la gente para sostener dichas acciones (Georgiou, 2008).

Con este razonamiento, cuando se toman decisiones que afectan a múltiples personas o entidades, con intereses variados, es fundamental reducir los niveles de ruido todo lo que sea posible. Es que tiene poco o ningún sentido impulsar planes de acción que no cuentan con el apoyo de los actores que deben concretarlos.

1.7 Definición del problema que se busca resolver

Para lograr una especificación adecuada de la problemática sobre la que se trabaja, es apropiado recordar algunas de las reflexiones realizadas sobre el tema. En lo que refiere específicamente a la toma de decisiones grupales, Krieger (2001) plantea que en estas prácticas pueden presentarse desviaciones indeseables.

Por una parte, él o los líderes pueden imponer sus puntos de vista y establecer de este modo un freno a los aportes de los integrantes del equipo de trabajo; una influencia similar se produce a través de la denominada “*presión de grupo*”, debido a que la necesidad de cada individuo de ser reconocido por sus compañeros, lo induce a plegarse a las posturas que parecen mayoritarias. Por la otra, los individuos tienen distintas percepciones e intereses, con lo que se torna difícil la integración.

De manera coincidente, en Robbins & Coulter (2000) se considera que no existe un procedimiento adecuado para tomar decisiones grupales. Los autores opinan que las decisiones resultantes se encuentran afectadas por la antes definida: “*presión de grupo*”, lo cual empobrece el proceso, inhibe los aportes individuales y debilita la motivación.

Ahora bien, en la concepción actual de organización es preciso superar estas limitaciones, de modo que puedan implementarse estrategias de intervención que ordenen y comprometan (Costa, 1997). Es apropiado recordar el planteo de Costa (1997):

“los procesos sociales que tienden a cambiar las condiciones de existencia de la gente, difícilmente se desarrollan, al menos con posibilidades de consolidación y permanencia, si los mismos agentes implicados no visualizan los objetivos y los medios propuestos como “pensables”, “posibles”, “aceptables”, “convocantes”, y al mismo tiempo no disponen de los conocimientos y habilidades requeridos para participar activamente.” (Costa, 1997).

O sea que cuando se toman decisiones en equipo, no solo es importante estimular la participación de todos los interesados, reducir la influencia de los líderes y disminuir la presión del grupo, sino que también es necesario controlar los niveles de

ruido que afectan al proceso de toma de decisiones, dado que ese ruido impacta directamente sobre las posibilidades de éxito de las acciones acordadas.

Además se requiere ofrecer a los participantes una instancia de capacitación relevante que favorezca el crecimiento personal de los miembros. Entre los espacios de formación y capacitación que se abren en las organizaciones, son variadas las opiniones que destacan la conveniencia de realizar procesos de toma de decisiones para mejorar las competencias del equipo de trabajo. Al respecto, Senge (2007) señala que las actividades de planificación desarrolladas en equipo, que implican ejercicios de toma de decisiones, constituyen una instancia potente de aprendizaje para el grupo.

Por otra parte, en Dias y Climaco (2005) se destaca que la discusión de las restricciones de un problema de toma de decisiones, genera un incremento en el nivel de aprendizaje interactivo entre los actores, producto de sus diferentes experiencias y raíces culturales, a la vez que permite reducir la ambigüedad y el ruido que afecta al proceso de decisión.

En cuanto al ruido que perturba el proceso de análisis, la literatura especializada en DMD reconoce tres tipos de influencias: imprecisión, incertidumbre y carencia de datos. La imprecisión se origina en las variaciones inevitables de las percepciones de los miembros del grupo y en las dificultades para expresarlas con exactitud, cuando se utilizan escalas numéricas. La incertidumbre respecto a las posiciones del grupo se origina en las diferencias de percepciones y posturas entre sus integrantes. Finalmente, la carencia de datos tiene origen en la dificultad de obtener valoraciones de todas las personas que componen el equipo de trabajo, sobre todas las cuestiones inherentes al problema de toma de decisiones que se considera.

Entonces la idea es que el análisis grupal de problemas de toma de decisiones debe tener efectos positivos para mejorar las habilidades de los grupos, porque la reducción de perturbaciones, contribuye a superar o eliminar las barreras que dificultan el accionar en conjunto. Dicho de otro modo, cualquiera sea la organización, es razonable suponer que la realización ordenada y controlada de prácticas conjuntas de ejercicios de toma de decisiones, que se realizan con frecuencia elevada, puede favorecer la capacitación y la cohesión interna, incrementando con ello las habilidades de trabajo conjunto.

A partir de estas consideraciones, el objetivo general planteado para el presente trabajo se formula del siguiente modo:

Desarrollar y probar un método que facilite la realización de procesos de toma de decisiones en grupo, que permitan seleccionar una entre un conjunto finito de alternativas a la luz de una serie de criterios que pueden ser contrapuestos.

Adicionalmente, se espera que el método aumente la posibilidad de que:

- se reflejen las preferencias de todos los miembros del equipo;
- se reduzca el ruido que afecta al proceso de toma de decisiones;
- la decisión sea aceptada y sostenida posteriormente por los participantes;
- los procesos de decisión puedan utilizarse como una efectiva herramienta de capacitación para los grupos;

1.8 Aportes y organización de la Tesis

Para dar respuesta a las cuestiones enumeradas, esta Tesis presenta una metodología inserta en el entorno de la Decisión Multicriterio Discreta, que se orienta a facilitar el proceso de análisis conjunto de problemas de decisión, de modo que el grupo pueda distinguir en qué difieren sus opiniones y acercar posiciones. Estimula además, la realización de aportes independientes de los miembros del grupo con la preocupación de que los integrantes se identifiquen con la decisión adoptada. En definitiva, plantea abrir un espacio regulado en el proceso de análisis donde los integrantes intercambien conocimientos y experiencias situados en la “región positiva” de la interacción, para hacer posible el crecimiento del conocimiento global y consecuentemente, la conformación de un equipo de trabajo eficiente.

El método desarrollado, que recibió la denominación de Procesos DRV (Decisión con Reducción de la Variabilidad), contempla tres grandes fases. La primera (Estabilización), incorpora ejercicios grupales que permiten reducir los niveles de ruido; la segunda (Agregación), permite obtener muestras estadísticas con valoraciones globales de cada una de las alternativas, lo que puede realizarse por dos caminos diferentes, con Ponderación Lineal por una parte y con la Teoría de las Perspectivas, por otra; la tercera (Ordenamiento), permite organizar las alternativas de la mayor a la menor preferencia y distinguir si las disparidades encontradas en las muestras pueden originarse en diferencias reales o si pueden ser consideradas como consecuencia de los errores de estimación del proceso.

Además del método propuesto, la investigación realiza diversos aportes, entre los cuales se destacan los siguientes:

- Propone un enfoque multi-metodológico para mejorar el estudio de problemas complejos, que se orienta estrictamente a reducir el ruido imperante en el entorno del proceso de toma de decisiones.
- Presenta una modalidad orientada a mejorar el compromiso de los actores involucrados, durante la implementación de distintos sistemas de gestión. El documento contiene aplicaciones a Mantenimiento Preventivo, Gestión de la Calidad y Gestión de Personas.
- Realiza una propuesta concreta para operar indicadores de gestión, tanto específicos como compuestos, a fin de permitir su operación con una lógica similar a los Tableros de Comando.
- Propone una modalidad adecuada para efectuar el seguimiento de competencias en un Sistema de Gestión de Personas y para facilitar la selección de grupos de trabajo.

En cuanto a la organización del documento, luego de la presente Introducción se realiza una revisión de antecedentes y referencias bibliográficas. A continuación se plantea un enfoque combinado de metodologías, dentro del cual se inscriben los Procesos DRV, orientado a estructurar el problema, reducir el ruido y mejorar las posibilidades de éxito del proyecto completo.

A estos apartados introductorios, le siguen cuatro capítulos destinados a presentar las fases del método desarrollado. Luego se presenta un ejemplo de simulación destinado a ejemplificar las prácticas operativas.

Los tres capítulos siguientes se orientan a presentar experiencias reales de aplicación del método, que no solo han sido exitosas en las organizaciones participantes, sino que también permitieron realizar publicaciones en revistas especializadas.

El trabajo cierra con la enumeración de diferentes conclusiones relativas a la metodología propuesta. De ese modo, se destacan las cualidades positivas de la propuesta, pero además se identifican algunas limitaciones. También se incluye un comentario sobre las aplicaciones realizadas, donde fue posible verificar una predisposición positiva de las personas participantes, lo que evidencia que las

dinámicas propuestas son estimulantes para los grupos. Finalmente se agregan recomendaciones acerca de líneas de investigación futuras.

Adicionalmente, se destina un anexo al análisis de uno de los métodos DMD más conocidos, el Analytic Hierarchy Process (AHP), planteado por Saaty (1980). En ese apartado se recuerdan los motivos por los que dicha aproximación no fue adoptada como base para este trabajo de Tesis, pese a su nivel de difusión y a que fue planteada como posibilidad en el proyecto inicial.

2. Revisión de aportes de la Investigación Operativa, a la Toma de Decisiones en Equipo

El presente capítulo se orienta a efectuar una revisión de los aportes realizados desde el área de conocimiento de la Investigación Operativa en general, para facilitar o soportar el tratamiento de problemas donde es necesario seleccionar alternativas en un conjunto discreto, bajo la consideración de criterios múltiples e incluso contrapuestos. Esta revisión contempla dos tipos de problemas distintos, según que el actor del proceso sea un individuo o un grupo.

Con la finalidad de ordenar el análisis y de acuerdo con Valqui Vidal (2006), los métodos analizados en este capítulo se clasifican como Investigación Operativa Blanda e Investigación Operativa Dura. Los primeros se orientan a estructurar los problemas de toma de decisiones, a identificar los requerimientos de los actores que tienen intereses en el problema analizado. El segundo conjunto de métodos, en cambio, se integra con aproximaciones que tienen un fuerte desarrollo matemático.

Respecto a la IO Blanda, el presente documento realiza una breve descripción de algunos de los aportes que la componen y ejemplifica estas posibilidades, con aplicaciones realizadas en el marco de la investigación. De este modo se recuerdan las siguientes aproximaciones: Grilla de Repertorio; Mapas Cognitivos tipo SODA; Metodología de Sistemas Suave (SSM).

Dentro del segundo conjunto de métodos, se encuentran los enmarcados en la disciplina DMD. Corresponde precisar que en los primeros treinta años de vida de esta disciplina, las propuestas presentadas se orientaron al caso individual. Más aún, las aplicaciones realizadas donde la cuestión grupal era insoslayable, se trabajaron repetidamente como extensión de los métodos planteados para un solo decisor.

En el aspecto individual, algunas de las propuestas realizadas son mencionadas de manera repetida en los diferentes apartados de esta Tesis. Por ese motivo, se ha incluido una presentación breve de los mismos. Ello sucede con los denominados: AHP; UTA; y TOPSIS.

Por otra parte, los métodos y modelos que reconocen desde su génesis la problemática grupal, inician sus presentaciones en las revistas especializadas muy cerca del año 2000. Desde ese momento, la cantidad de aportes realizados ha crecido de manera notable. Ante esa realidad, el presente capítulo espera evidenciar la vigencia del problema bajo análisis.

Se dedica un apartado especial a la familia de métodos denominada Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis (SMAA). Sucede que en distintas presentaciones a revistas especializadas, los evaluadores han requerido comparaciones de esas metodologías con la desarrollada en esta Tesis, bajo el supuesto de que existen elementos en común entre los objetivos de los Procesos DRV y las mencionadas propuestas.

El capítulo cierra con referencias a métodos que se orientan a reducir el ruido en este tipo de procesos de decisión, debido a que ese es uno de los objetivos planteados para los Procesos DRV. Cabe destacar que por el momento son pocas las aproximaciones que se proponen de modo explícito ese objetivo, dentro de la Investigación Operativa Dura.

2.1 Métodos de Estructuración de Problemas en grupos

En este conjunto de propuestas, se incluyen métodos que pueden brindar algunos posicionamientos claves, como por ejemplo, identificar qué tipo de proceso debe realizar el grupo. Esto es, puede que haya un objetivo compartido, puede que existan intereses contrapuestos y sea necesaria una negociación o puede que se plantee una situación de conflicto y que como consecuencia, sólo se deseen soluciones de compromiso.

Cuando la capacidad para decidir se encuentra dividida entre dos o más actores con objetivos diferentes, surgen los problemas de negociación con dos aspectos claves: el conflicto de intereses y la interdependencia en los resultados. Para facilitar el tratamiento de estas situaciones se han realizado diversos aportes desde diferentes áreas. En particular, se considera pertinente rescatar los aportes realizados desde la teoría de juegos y desde la denominada Investigación Operativa Soft.

La Teoría de Juegos, impulsada por Nash (1954), es adoptada como base conceptual en problemas de resolución de conflictos. Diversas propuestas que utilizan sus fundamentos pueden encontrarse en Fang, Hipel, Kilgour (1993). Una solución conjunta a diferentes tipos de juegos puede encontrarse en Zoroa, Zoroa, Fernandez-Saez (2008).

El desarrollo de métodos suaves (Soft) en la Investigación Operativa, tiene su origen en los años 1960-1970, ante la necesidad de abordar problemas de alta complejidad que no pueden resolverse con los métodos tradicionales de esta disciplina. Dentro de la categoría de métodos blandos se encuentran por ejemplo: Grilla de Repertorio (Kelly, 1955) (Padilla Carmona, 2010); Mapas Cognitivos en general y los de tipo SODA en particular (Eden, 2004) (Gomes y otros, 2009); Soft System Methodology (Checkland, 2000) (Georgiou, 2006; 2008, 2012). A continuación se realiza una descripción somera de estos aportes.

2.1.1 Grilla de Repertorio.

En el método de Kelly es de central importancia el concepto de constructo personal, es decir la idea de que las personas construyen los hechos al predecirlos basados en la experiencia y el aprendizaje. Por el término “construir”, Kelly entiende “introducir una interpretación”. Todas las experiencias se definen a través de los filtros de los constructos personales, no hay algo que se llame experiencia pura que pueda separarse de sus constructos semánticos.

La Teoría de la Construcción Personal explica cómo una persona clasifica, realiza la experiencia en su entorno y adopta en su comportamiento el resultado de esa experiencia, generando un cambio en su sistema de construcción personal. Sugiere que el comportamiento individual es parecido al del hombre de ciencia, esto es, construye y prueba modelos mentales de su entorno.

George Kelly ha desarrollado métodos de entrevista para investigar el sistema de construcción de la persona. Toda persona posee un entorno de construcción, que se define a partir de dimensiones de evaluación (Kelly 1969), de pares de conceptos o dimensiones de análisis; por ejemplo, teoría/práctica. Las experiencias a partir del entorno de la persona se clasifican, se categorizan y responden a su sistema de evaluación: el sistema de construcción personal.

Es decir que el individuo tiene expectativas que se derivan de teorías (construcciones personales), las que somete a prueba (experimenta), en forma de postura o comportamiento. El resultado de estas pruebas modifica su teoría y la persona cambia su punto de vista acerca del entorno (Fransella y Bannister, 1977).

Kelly (1955) sostiene que estas conceptualizaciones o constructos son bipolares y cada sujeto emplea aquel polo del constructo que le resulta más válido para predecir su

propia conducta. Los constructos son susceptibles de modificación y todo el sistema en conjunto está interrelacionado y abierto al cambio. Es decir, para Kelly los constructos suponen una interpretación de la realidad.

El instrumento utilizado por Kelly (1955) en las investigaciones sobre el Sistema de Construcción Personal es la técnica de la Grilla de Repertorio. Esta herramienta es utilizada para investigar el sistema de construcción individual y está representada en forma de una matriz. Su objetivo es poner de relieve la estructura del espacio psicológico de un sujeto. La rejilla es un sistema bidimensional de ((E)) elementos, ((C)) constructos y ((ExC)) intersecciones de los constructos con los elementos.

A fin de clarificar esta idea, en la siguiente figura se representa una rejilla construida durante la entrevista a un alumno ingresante a la carrera de Ingeniería Civil, en la FCEFyN de la UNC, con la finalidad de elicitarse algunas cuestiones consideradas en su elección de carrera. La entrevista forma parte de un estudio orientado a estudiar los patrones que influyen sobre la elección. La imagen se extrajo de Zanazzi y otros (2011).

	Derecho	Ing. Civil	Medicina	Ciencias Biológicas	Ing. Aeronáutica	Psicología	
Mal sueldo	1	6	1	5	5	5	Buen sueldo
Pocas horas trabajadas	4	5	2	6	6	5	Muchas horas trabajadas
Trabaja con cosas intangibles	1	6	4	2	6	4	Trabaja con cosas tangibles
Trabaja individual	2	6	1	2	6	4	Trabaja en equipos
Poca salida laboral	5	6	1	5	6	4	Buena salida laboral
	13	29	9	20	29	22	

Figura 2.1 Grilla de Kelly construida en una entrevista

Los elementos están situados en la parte superior de la matriz y los constructos bipolares, a los lados de ella. Aplicando la Grilla de Repertorio, interesa realizar el proceso de elicitación de elementos, constructos y sus interrelaciones. Básicamente una grilla muestra una clasificación de eventos en el entorno (elementos) y el modo en que los mismos se relacionan con las abstracciones individuales (constructos), de su experiencia en relación con aquellos eventos.

Como se ve en la rejilla anterior, el alumno compara seis carreras diferentes, dentro de las cuales se encuentra la que él mismo eligió. Por otra parte, los constructos elicitados son el ingreso, el tipo de trabajo, la posibilidad de trabajar en grupo y la salida laboral.

El entrevistado utiliza una escala tipo Lickert definida entre uno y seis, donde el uno implica cercanía con el polo de la izquierda, en tanto que el seis vincula la carrera con el polo emergente (derecha). Por otra parte, las puntuaciones de la última fila son las acumuladas sobre las columnas y es razonable vincular mayor puntaje con mayor interés en la carrera. Si esto es cierto, el entrevistado concede tanto valor a Civil como a Aeronáutica y en cambio deja en claro, su escaso interés por el Derecho o la Medicina.

2.1.2 Mapas Cognitivos (SODA)

En lo que refiere a los Mapas Cognitivos, consisten en una técnica mediante la cual se representa el pensamiento de una persona o grupo de personas, respecto de un problema o cuestión. Según Eden (2004), se integran en una red de nodos y flechas como vínculo, donde la dirección de estas flechas implica causalidad. Por ello, a estos mapas también suele llamárselos Mapas Causales. Suelen ser contruidos a partir de entrevistas y representan el mundo subjetivo del o de los entrevistados.

Obviamente esta técnica se basa también en la Teoría de la Personalidad, más precisamente en la de los Constructos Personales. Es decir que cada persona produce sus propios mapas cognitivos según su punto de vista; así, frente a una misma situación, pueden generarse tantos mapas como individuos haya para construirlos.

Sin embargo, si los mapas acerca de una misma situación o problema, son contruidos por individuos que comparten determinadas características importantes para el problema en estudio, es razonable que resulten similares en los aspectos principales del tema, o que al menos evidencien las disidencias a fin de poder trabajar las diferencias y llegar a acuerdos.

El punto de vista sobre una situación determinada, varía según el conocimiento que el individuo tenga y de su posicionamiento frente a ella. Este punto de vista se compone de dos elementos: el conocimiento y el uso o relación con el ambiente.

Debido a que las personas tienen diversos conocimientos, se afirma que los mapas cognitivos individuales tienen un carácter incompleto, según el tipo de conocimiento y

de relación con el ambiente. Además, los mapas cognitivos son dinámicos, puesto que la persona se relaciona con el ambiente constantemente y de diversas formas. Esa permanente interacción le proporciona elementos nuevos que se incorporan al mapa, modificándolo, reduciéndolo o enriqueciéndolo.

En gran número de situaciones, el problema involucra a un equipo de trabajo; en estos casos la persona a cargo (facilitador, coordinador, la persona de mayor experiencia o conocimiento del tema), puede iniciar la tarea a partir de entrevistas individuales o mediante la técnica de “*tormenta de ideas*” (Gomes y otros 2009). En el artículo referido se señala que para definir el problema y determinar los factores que inciden sobre él, puede ser de utilidad que los integrantes del equipo realicen un ejercicio consistente en responder las siguientes preguntas: ¿Por qué esto es importante para usted?; ¿Por qué le preocupa esta situación?; ¿De qué forma sería posible lograr mejoras en la situación analizada?; ¿Cómo se transmite la información de un lugar a otro?

Como ejemplo, se analiza un mapa cognitivo orientado a identificar posibles opciones para el tratamiento de los residuos patógenos generados en la UNC. La siguiente figura, extraída de Pontelli y otros (2011), es el resultado de entrevistar a una persona vinculada al tema.

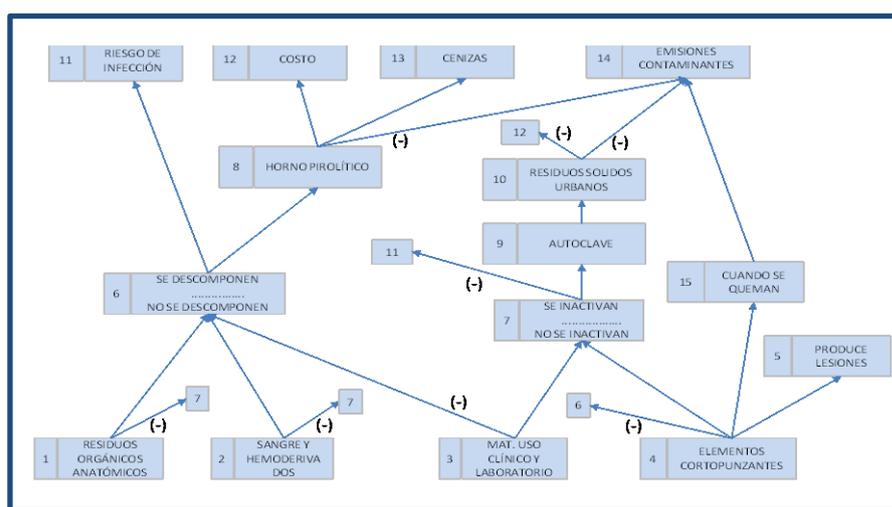


Figura 2.2 Mapa cognitivo que vincula el tipo de residuo con sus tratamientos.

2.1.3 Metodología de Sistemas Suave (SSM).

Los postulados y estrategias vinculadas con esta metodología fueron planteados por Checkland (2000, 2001). SSM asume la forma de un proceso organizado de

indagación y aprendizaje que emplea modelos sistémicos. Dispone de mecanismos que permiten extraer información clara de entrevistas y/o talleres. De este modo facilita posibles acuerdos entre los puntos de vista en conflicto, que a su vez permiten que se tome “una acción para el mejoramiento” (Rosenhead y Mingers, 2004).

El método valora la visión que cada persona tiene de la situación problemática. Sostiene que es necesario reconocer las opiniones de los otros, comparar y encontrar estrategias comunes para resolver la situación en cuestión, de manera que esa visión individual pueda reorientarse a través de un proceso de aprendizaje constructivo.

Esencialmente, el enfoque SSM busca construir un modelo conceptual que represente el medio ambiente idealizado que dará marco a la resolución y/o mejora de la situación problemática. A partir de este marco se generan debates constructivos con el fin de reconocer y explicitar los cambios que son susceptibles de ser implementados en la situación real correspondiente. Se reconoce que es necesario aprender acerca de la manera como la gente piensa y habla de la acción intencionada (Rosenhead y Mingers, 2004).

Checkland (2000) resume el desarrollo de esta metodología en siete etapas constitutivas del método, como se reproduce en la Fig. 2.3, además de la relación entre las mismas (Silva Barros, Castellini y Belderrain, 2012).

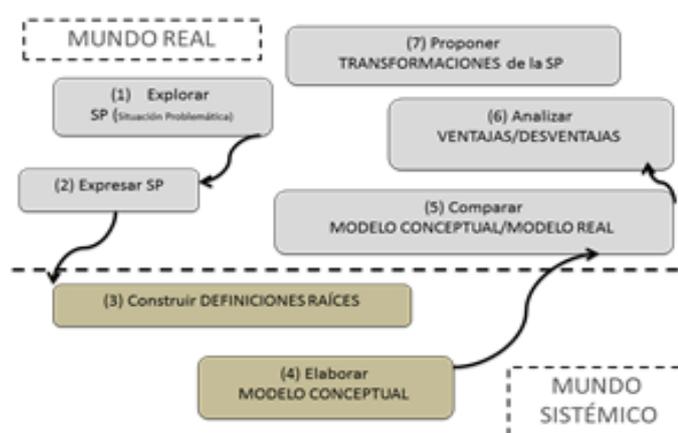


Figura 2.3 Esquema de las siete etapas del SSM.

Por su parte, Georgiou (2006, 2008) concibe una “SSM reconfigurada”, que sigue los principales postulados de Checkland (2000, 2001) y propone algunos cambios respecto del modo de materializar su implementación. Estas modificaciones se orientan a mejorar la eficacia de la gestión.

Este autor plantea tres cuestionamientos centrales sobre los cuales se erige el concepto de eficacia. El primer cuestionamiento se refiere a cómo extraer información de una situación problemática para la cual, se cuenta en principio con conocimiento confuso y escaso. El segundo cuestionamiento hace referencia a la factibilidad de estructurar la situación problemática a partir de una definición rigurosa. El tercer cuestionamiento, en tanto, alude a cómo dicha definición rigurosa de la situación problemática podrá generar un enfoque sistémico hacia la resolución. Las respuestas a estas cuestiones conforman las fases constitutivas de esta aproximación.

En la fase 1 se hace foco en la exploración y expresión de la situación problemática a través de las Imágenes Ricas y los Análisis 1, 2 y 3. Las imágenes ricas son representaciones gráficas típicas de la metodología SSM, se construyen en base a las percepciones de los actores implicados en el proceso decisorio. Por otra parte, los denominados análisis 1, 2 y 3 se refieren respectivamente a la identificación de roles (involucrados en la situación), la identificación y caracterización de las dinámicas socio-culturales y de las relaciones de poder del contexto del problema.

En la fase dos, la situación conflictiva actual se constituye en la entrada del proceso de transformación que devuelve como salida, el cambio que se espera alcanzar para superar dicha situación conflictiva. Para expresar dichas transformaciones y el contexto en el que se dan, el método propone desarrollar una base de datos denominada CATWOE.

Este recurso tiene la forma de tabla de doble entrada en la que se exponen los siete elementos claves de cada transformación. La C hace referencia al Cliente, beneficiarios y perjudicados por la transformación; la A al Actor, que es quién ejecuta la transformación; la T al Proceso de transformación que cambia alguna entrada definida o situación actual en una salida definida o situación ideal; la W expresa las razones que justifican la transformación; la O permite identificar a los dueños, o sea aquellos actores que pueden interrumpir o limitar el cambio propuesto; finalmente la E enumera las restricciones del ambiente que pueden afectar este proceso de cambio.

Los autores recomiendan que estas transformaciones sean realistas. Esto es, que tengan la doble cualidad de ser sistemáticamente convenientes (sobre la base de la lógica de los modelos) y culturalmente factibles para aquellas personas que están inmersas en la situación problemática (Rosenhead y Mingers, 2004).

Un aspecto importante de la SSM es el uso de escenarios como una forma de abarcar diferentes situaciones futuras dentro del estudio (Rosenhead y Mingers, 2004). En esta dirección, la fase tres hace referencia a una planificación sistémica del conjunto de acciones tendientes a solucionar y/o mejorar la situación problemática planteada. De este modo, la última fase consiste en una planificación detallada, denominado Sistema de Acciones Humanas (SAH). En dicha planificación es necesario enumerar las actividades que van a permitir lograr cada una de las transformaciones propuestas y estipular los criterios de control para las mismas.

El concepto de seguimiento y control se materializa mediante la revisión del SAH planteado, para verificar la efectividad, la eficacia y la eficiencia del mismo (Rosenhead y Mingers, 2004). Por su parte, Georgiou (2006, 2008) propone además utilizar la revisión de cualidades como la ética y la elegancia, como otros dos criterios de control. Observar la ética implica argumentar los motivos morales por los cuales se realiza una determinada transformación, se hace foco entonces en la responsabilidad social, moral y ecológica. En tanto, observar la elegancia supone determinar si la transformación se lleva a cabo con una estética compatible con la que desean los propietarios del sistema; se alude a la sensibilidad socio-cultural.

2.2 Decisión multicriterio discreta con decisor único

El problema de la decisión con enfoque determinístico, espacio discreto de alternativas y objetivos múltiples y contrapuestos, es abordado por los métodos de Decisión Multicriterio Discreta (DMD). Esta área de trabajo, nacida durante la década de los setenta, ha permitido el desarrollo de diversos textos que la analizan con buen detalle. Entre los más utilizados para los fines de la presente tesis se encuentran los siguientes: Barba Romero y Pomerol (1997); Gomes, y Carignano (2004); Gomes, Gomes y Almeida (2009).

Como lo señala Barba Romero y Pomerol (1997), el paradigma dominante en la DMD se concentra en un único decisor, el cual puede ser una persona o cualquier entidad, pero con la característica de tener una visión unificada del proceso de toma de decisiones. Dicho ente debe escoger una entre un conjunto finito de alternativas, a la

luz de diversos criterios, los cuales pueden evidenciar objetivos que se contraponen entre sí.

En ese entorno, se reconocen en una primera aproximación dos familias de métodos: ordinales y cardinales. Los antecedentes de los métodos ordinales se remontan a la Revolución Francesa, con los aportes de Borda y Condorcet y más allá de su interés práctico, aportan al conjunto algunos requisitos básicos que deben ser considerados a la hora de proponer un método DMD.

Vale la pena recordar estas cuestiones, sucede que la agregación de Borda puede conducir a diversos ordenamientos entre un par de elementos, según que se consideren o no otros elementos irrelevantes; este indeseable efecto se conoce en la literatura como reversión de rangos. Por su parte, la propuesta de Condorcet apela al recurso de efectuar comparaciones por parejas, entre las alternativas; este recurso de agregación puede permitir la aparición de ciclos con el consecuente defecto de conducir a ordenamientos no transitivos.

Arrow (1963) formula cinco axiomas según los cuales, todos los métodos de tipo ordinal están sujetos a estos problemas. De hecho, el quinto axioma anuncia que sólo se pueden evitar las reversiones de rango o la aparición de ciclos, cuando se opera con una modalidad de tipo dictadura, es decir, cuando uno de los votantes o criterios impera sobre los demás.

Más allá de esa importante conclusión, la actividad en torno a los métodos ordinales se ha extendido en el tiempo, en el marco de la denominada Teoría de la Elección Racional. Ejemplos recientes en este sentido pueden encontrarse en Billot (2011), o en Perez y otros (2011).

De todos modos, cuestiones como la reversión de rangos y la paradoja de Condorcet, conducen a los investigadores a explorar otras formas de representar las posturas y preferencias, con lo que desarrollan los métodos cardinales a partir de los años 70. Una premisa para los mismos es representar la intensidad de las preferencias.

Entre las modalidades de representación de preferencias desarrolladas en esa etapa, pueden destacarse las siguientes propuestas:

- Conjuntos Difusos presentados en Zadeh (1970).
- Teoría Matemática de la Evidencia de Demster-Shaffer, la cual puede revisarse en Shafer (1976); Salicone (2007); Krantz D y Kunreuther H (2007); Dempster A (2008).

- Teoría de la Utilidad Multiatributo Aditiva (MAUT), cuya base axiomática se plantea en Keeney y Raiffa (1976, 1993).

Son muchos los métodos que a continuación se apoyan en estos recursos para representar opiniones y preferencias. En los siguientes párrafos se enumeran de manera no exhaustiva, algunos de las aproximaciones más conocidas.

Se desarrollaron por ejemplo los denominados “Métodos de relaciones de superación”, donde una parte importante del esfuerzo se concentra en comparar por parejas a las alternativas, a fin de determinar la existencia o no de preferencias. Cada una de estas metodologías está orientada a problemas de decisión con características específicas, de allí que se sucedan diferentes versiones.

El enfoque fue introducido originalmente en Roy (1968) y continuado posteriormente por diferentes versiones del ELECTRE. Entre las contribuciones que aprovechan este enfoque se encuentran los trabajos de Vansnick (1986), Roy (1990, 1996), Almeida (2007). Recientemente se han hecho propuestas de aplicación con la posibilidad de agregación para grupos, cuando no se requiere consenso (Alencar, Almeida y Morais, 2010).

Por otro lado, en Brans y Vincke (1985), Brans, Vincke, Mareschal (1986), Brans, Mareschal (2002), se propone el modelo PROMETHEE, para el cual se desarrollan también distintas versiones. En Behzadian, Kazemzadeh, Albadvi, Aghdasi (2010), se aporta una revisión del estado del arte sobre este método. También en este caso se han realizado propuestas de empleo de PROMETHEE, en procesos de análisis grupal (Morais y Almeida, 2009).

Por otra parte, puede reconocerse un conjunto de métodos que se apoyan sobre la MAUT, pero resuelven el problema de maneras diferentes. Cabe mencionar aquí al modelo UTA, presentado en Jacquet-Lagrange y Siskos (1982) y mejorado por trabajos como los de Jacquet-Lagrange (1990); Rangel (2002), Gonzalez-Araya y otros (2002), Rangel y Gomes (2009).

En esta propuesta, las relaciones de preferencia de los decisores se expresan por medio de un Programa Lineal, donde se plantea como objetivo minimizar la distancia entre la decisión y lo que puede considerarse como una alternativa ideal. Una revisión del estado del arte en este tipo de herramientas puede encontrarse en Siskos y otros (2005).

Un ejemplo clásico y posiblemente el más difundido y utilizado en esta línea, es el Analytic Hierarchy Process (AHP), propuesto en Saaty (1978, 1996). El método obtiene las utilidades del decisor mediante comparaciones por parejas entre criterios y alternativas, estandariza con el vector propio de las matrices que se construyen a partir de estas comparaciones y emplea una agregación de tipo Ponderación Lineal, para obtener valores globales para cada alternativa.

El método es destacable por la gran cantidad de aplicaciones que en diferentes áreas de la ciencia y particularmente en ingeniería, se realizan y documentan en la actualidad. Evidencia de esta elevada cantidad de aplicaciones se encuentran por ejemplo en Onut y Sone (2008); Karamouz y otros (2007); Brent y otros (2007).

Ahora bien, sucede que el AHP parece ser también el método más cuestionado en el ámbito de la DMD, por aspectos como la escala adoptada o la estandarización mediante el vector propio de la matriz de comparaciones por pareja. En el trabajo de Zanazzi y otros (2005), se enumeran una importante cantidad de artículos dedicados tanto a fortalecer como a denostar el método y se analizan las principales críticas.

Otra corriente muy utilizada en la literatura es la que apoya la toma de decisiones en el concepto de distancia al ideal. En este particular se destaca el método TOPSIS, el cual se caracteriza por buscar una solución de compromiso que se acerque a este ideal, alejándose complementariamente del anti-ideal. La propuesta fue introducida en Hwang, Yoon (1981) y registra múltiples aplicaciones en la actualidad. Cabe mencionar por citar solo algunos ejemplos a Lin y otros (2008); Wang y Chang (2007); Huang y Li (2011).

Otra vertiente clave en la propuesta de métodos para un decisor único es la que aplica conjuntos borrosos para representar las preferencias. Un antecedente claro en este sentido fue proporcionado por los creadores de la lógica difusa en Bellman y Zadeh (1970), quienes hacen propuestas concretas para apoyar la toma de decisiones.

Un aporte inicial en este sentido, importante por la cantidad de trabajos que se fundamentan en el mismo, es el de Saaty (1978), donde explora la posibilidad de potenciar el AHP con los conjuntos borrosos. El tema parece seguir vigente a partir de publicaciones como la de Mikhailov L (2003), o la de Chang y otros (2009).

2.2.1 Revisión del método Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Como se señaló anteriormente, este método fue propuesto en forma completa en Saaty [1980]. Una de sus ventajas, es que permite construir una representación jerárquica del proceso de decisión. Dicha Jerarquía puede ser representada, siguiendo a Zahedi (1986), en el siguiente árbol de decisión:

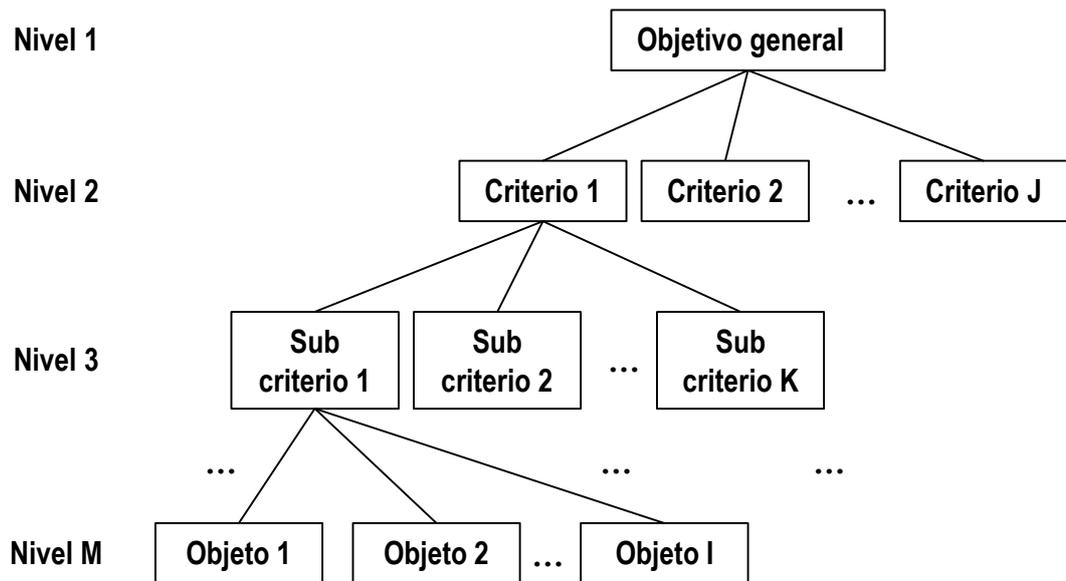


Figura 2.5 Árbol de Jerarquías de Saaty

La Figura anterior sugiere que en cada nivel de Jerarquía deben agruparse varios elementos. En el segundo nivel se discriminan los criterios fundamentales. En el tercero los sub-criterios correspondientes a cada criterio fundamental, y así sucesivamente. En el último nivel se especifican los elementos de decisión entre los que se debe seleccionar.

Durante el análisis el Decisor debe realizar comparaciones por parejas, entre los elementos que forman parte de un mismo nivel. En primer lugar se comparan entre sí, los criterios principales. Luego, a la luz de cada criterio fundamental se comparan entre sí los sub-criterios dependientes. Descendiendo por el árbol de Jerarquías, esta etapa del análisis culmina con las comparaciones apareadas de las diferentes alternativas de decisión, de acuerdo a cada uno de los subcriterios del nivel precedente.

Hay un aspecto muy interesante en la modalidad de asignación de pesos del AHP. Para comparar dos elementos a y b, donde es preferible el primero, la preferencia debe calificarse con las puntuaciones que se muestran en la Tabla 2.1. Como consecuencia

de estas comparaciones se obtiene para cada sub-criterio una matriz A como la que se muestra a continuación, donde se compara tres elementos: a, b y c.

Tabla 2.1
Comparación de elementos entre sí.

		Con los elementos		
		a	b	c
Al comparar	a	1	3	0,5
	b	0,3333	1	0,125
	c	2	8	1

Según la matriz, el elemento c es dos veces más importante que a, en tanto que el a es tres veces más importante que b. Luego, cada una de estas matrices puede ser condensada para obtener el peso de los elementos involucrados. En efecto, si se define el vector que contiene los ponderadores de cada elemento: w_i , como:

$$\mathbf{W} = |w_1, w_2, \dots, w_J| \quad (2.1)$$

Entonces se verifica que:

$$\mathbf{A}\mathbf{W} = \rho \mathbf{W} \quad (2.2)$$

Y por lo tanto ρ es el autovalor dominante de A, en tanto que \mathbf{W} es su autovector asociado. Dicho de otro modo, Saaty sostiene que es el autovector dominante de cada matriz, el que resume los pesos de cada elemento.

Esta suposición está sólidamente fundamentada cuando la matriz es consistente. En efecto, si los juicios aportados por el Decisor resultan transitivos, entonces cada puntuación puede entenderse como el cociente entre los pesos de los elementos comparados. Formalmente esto puede escribirse como: $a_{ij} = w_i / w_j$, con lo cual se verifica que:

$$A\mathbf{W} = \begin{pmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_n \\ \dots & \dots & \dots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \end{pmatrix} = n\mathbf{W} \quad (2.4)$$

Por lo tanto, el autovalor dominante es igual a la cantidad de elementos comparados. En la realidad los juicios difícilmente son transitivos, así que la igualdad anterior no se cumple. De todos modos, como la matriz A es simétrica y definida positiva, entonces existe un único autovalor y se verifica la condición $\rho > n$.

La incongruencia entre los juicios se denomina inconsistencia. Una medida de las inconsistencias generales de la matriz está dada por:

$$CI = (\rho - n)/(n - 1) \quad (2.5)$$

Para expresar la inconsistencia en una escala estandar de 0 a 100, Saaty determinó por simulación las inconsistencias esperables en matrices de juicio construídas de modo totalmente aleatorio. Sea CIA la medida de una matriz de ese tipo, entonces la Razón de Inconsistencias es:

$$RI = CI / CIA \quad (2.6)$$

Si RI es menor al 10%, la inconsistencia se considera aceptable. En cambio, si el Decisor no logra un RI adecuado (lo cual es esperable), debe revisar sus juicios. En la práctica esto lleva a un largo procesos de sucesivas correcciones.

Tabla 2.1
Escala fundamental de juicios del Proceso Analítico Jerárquico
(extraída de Saaty, 1996)

Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Igual	Dos actividades contribuyen de igual modo al objetivo.
3	Moderada	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
5	Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra.
7	Muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra, su predominancia se demostró en la práctica.
9	Extrema	Las pruebas que favorecen a una actividad más que a otra son del nivel de aceptación más alto posible.
2, 4, 6 y 8	Para transar entre los valores anteriores.	A veces es necesario interponer numéricamente un juicio de transacción puesto que no hay una palabra apropiada para describirlo.
Recíprocos de lo anterior	El juicio aplicado para comparar i con j, debe ser el recíproco de la comparación de j con i.	Una comparación que surge de la elección del elemento más pequeño como unidad, para estimar el mayor como múltiplo de esa unidad.
Racionales	Coeficientes que surgen de la escala	Utilizado cuando se fuerza la consistencia para establecer una relación transitiva.
1.1 a 1.9	Para actividades vinculadas.	Los elementos son cercanos y casi no se distinguen: moderado es 1.3, extremo es 1.9.

En el Anexo 1 del presente documento se realiza un análisis extensivo de este método.

2.2.2 Revisión del método de Utilidades Aditivas (UTA).

Esta metodología fue originalmente presentada en Jacquet-Lagrèze E y Siskos J (1982). Luego se publica una segunda versión ampliada, en el artículo de Jacquet-Lagrèze E (1990). El siguiente resumen se ha construido en base a Barba - Romero y Pomerol (1997).

El procedimiento UTA solicita inicialmente al decisor que efectúe la selección de los criterios y que identifique las alternativas de decisión. A continuación el decisor debe especificar alternativas ficticias que resuman el ideal y el anti-ideal para el problema analizado y adicionalmente, debe construir un pre orden global involucrando al menos algunas de las alternativas.

En base a dicha información, se construye un modelo de Programación Lineal. Luego, la resolución de ese modelo permite obtener abundante información sobre el problema, entre la cual se incluye un ordenamiento total de las alternativas; los pesos de los criterios y se abre la posibilidad de efectuar un análisis de sensibilidad.

A continuación se describe el procedimiento. Sean n los criterios de decisión adoptados para analizar las alternativas. Sea $U_j(a)$ la utilidad que respecto del criterio j tiene la alternativa a , entonces la utilidad V puede expresarse en forma aditiva del siguiente modo:

$$V(a) = \sum_j U_j(a) = \sum_j w_j v_j(a) \quad (2.7)$$

donde w_j es el peso de cada criterio y $v_j(a)$ es la utilidad para ese criterio. Sea además un *punto ideal* (a^M), caracterizado por el máximo de las puntuaciones posibles para cada criterio y otro elemento ficticio *anti-ideal* (a^m), que reúne el mínimo de las puntuaciones posibles. Con esta suposición es posible plantear:

$$\begin{aligned} V(a^M) = 1 &\Rightarrow \sum_j U_j(a^M) = 1 \quad \text{para el } ideal \\ V(a^m) = 0 &\Rightarrow U_j(a^m) = 0 \quad \text{para todo criterio } j \text{ en el anti-ideal} \end{aligned} \quad (2.8)$$

Bajo esas condiciones el método UTA solicita al decisor un pre - orden global con algunas de las alternativas de decisión. Las preferencias del decisor pueden expresarse en términos de las utilidades marginales del siguiente modo:

- si el elemento a es preferible al elemento $b \Rightarrow |V(a) - V(b)| > s$

- si el elemento a es indiferente al elemento $b \Rightarrow |V(a) - V(b)| \leq s$
- donde s es un umbral de indiferencia.

Ahora bien, como se dijo antes, las $V(a)$ definitivas son obtenidas a partir de la resolución. Puede suponerse entonces que la utilidad calculada $V'(a)$ se apartará de la verdadera en un error $\sigma(a)$. Por lo tanto las expresiones de preferencia anteriores pueden reescribirse como :

- si el elemento a es preferible al elemento $b \Rightarrow \sum_j [U_j(a) - U_j(b)] + \sigma(a) - \sigma(b) > s$
- si el elemento a es indiferente al elemento $b \Rightarrow \sum_j [U_j(a) - U_j(b)] + \sigma(a) - \sigma(b) \leq s$

Las funciones $U_j(X)$ se suponen lineales de a tramos. Para definir las se solicita al decisor la cantidad de tramos a emplear para cada criterio. Con esta información se determinan los valores de abscisas X_i en los cuales se debe valorar la función U_j .

De acuerdo a lo anterior, el programa lineal resulta:

$$\text{Minimizar } \sum_j [\sigma(a^+) - \sigma(a^-)]$$

Donde se utilizan dos variables de decisión, para cada una de las alternativas definidas en el conjunto referencia.

La búsqueda del mínimo debe hacerse considerando las siguientes restricciones:

$$\sum_j U_j(a^M) = 1 \quad \text{para el } \textit{ideal}$$

$$U_j(a^m) = 0 \quad \text{para todo criterio } j \text{ en el } \textit{anti-ideal}.$$

$$\sum_j [U_j(a) - U_j(b)] + \sigma(a) - \sigma(b) > s \quad \text{para las comparaciones donde hay preferencia}$$

$$\sum_j [U_j(a) - U_j(b)] + \sigma(a) - \sigma(b) \leq s \quad \text{para las comparaciones con indiferencia}$$

$$U_j(X_{i+1}) - U_j(X_i) \geq 0 \quad \text{para criterios con función de utilidad creciente}$$

$$U_j(X_{i+1}) - U_j(X_i) \leq 0 \quad \text{para criterios donde la función de utilidad es decreciente}$$

Obviamente las variables de decisión son las utilidades $U_j(X_i)$ y las desviaciones $\sigma(a)$. Finalmente, en base al conjunto de referencia se evalúan las $V(a)$ de todas las alternativas, pertenezcan o no al conjunto de referencia. Por último, a partir de las utilidades anteriores, pueden determinarse los ponderadores w_j de cada elemento de cada criterio de análisis.

2.2.3 Revisión del método de distancia al ideal (TOPSIS)

Esta propuesta fue presentada en Hwang y Yoon (1995). La idea básica es que una alternativa deseable debe ubicarse a la distancia más corta respecto de una solución ideal (a^+) y a la mayor distancia respecto a una solución que puede denominarse anti-ideal (a^-).

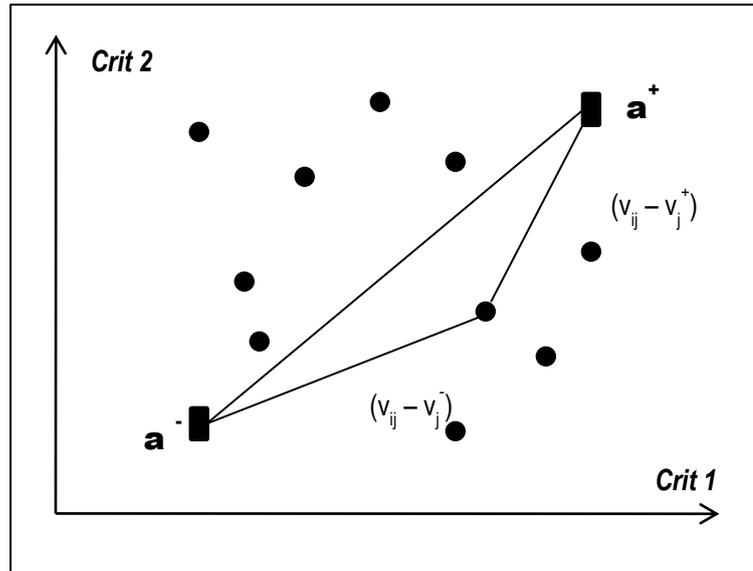


Figura 2.6 La lógica del TOPSIS

En el gráfico anterior se visualiza la alternativa ideal y la anti-ideal, a^+ y a^- respectivamente, definidas en base a las coordenadas extremas del conjunto de alternativas disponibles. Además, la figura representa las distancias euclídeas al ideal positivo y al ideal negativo.

Es posible que en este caso se presenten situaciones aparentemente ambiguas, donde al comparar dos alternativas, una se encuentre más cerca del ideal en tanto la otra se aleja más del anti ideal. Este problema se resuelve mediante un índice de similaridad, valor mediante el cual se tiende a maximizar la distancia relativa al ideal negativo respecto a la suma de las distancias respecto al ideal positivo y al ideal negativo respectivamente.

El método TOPSIS transforma en primer lugar el valor de cada alternativa i respecto al criterio j , en una utilidad estandarizada r_{ij} , mediante un procedimiento de estandarización conveniente. A continuación, los coeficientes normalizados son ponderados por los pesos de los criterios obteniéndose valores v_{ij} que son comparables entre sí.

$$\mathbf{V}_{i,j} = \mathbf{w}_j \mathbf{r}_{i,j} \quad (2.9)$$

Finalmente se determinan las distancias desde cada alternativa hasta el ideal positivo (S_i^+) y hasta el anti ideal o ideal negativo (S_i^-), mediante la aplicación de alguna norma vectorial. Finalmente el índice de similaridad al ideal positivo se evalúa como el cociente:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^+ + S_i^-)} \quad (2.10)$$

Es decir que cuanto más elevado es el índice C_i^* más lejos se sitúa la alternativa i respecto al ideal negativo en relación a las distancias totales a los dos ideales y por tanto más preferida resulta su posición global.

2.3 Antecedentes de metodologías DMD especialmente diseñadas para grupos

Con un enfoque globalizador, puede plantearse que el paradigma de la toma de decisiones en grupos de personas se generalizó en los últimos años, más aún cuando se piensa en aplicaciones de la DMD. Esta evolución ha permitido por ejemplo, que la revista Group Decision and Negotiation, dedique números especiales a su estudio, como lo refleja Ackermann F y Vreede G (2010).

En general, las contribuciones realizadas desde la DMD, aceptan que al solicitar valoraciones individuales a los integrantes del grupo de decisores, las mismas son naturalmente diferentes y evidencian una cierta dispersión. Por otra parte, reconocen que en los problemas reales la etapa de evaluación puede requerir una valoración subjetiva de los elementos del problema o que puede haber información escasa o faltante sobre el mismo.

Estas características, que introducen ruido en el proceso de toma de decisiones, se definen como imprecisión, incertidumbre y carencia de datos. Por ese motivo, en problemas de este tipo es preciso adoptar un modo adecuado para representar el ruido.

Uno de los caminos más utilizados es la aplicación de conjuntos difusos. Con este recurso, tanto la incertidumbre como la imprecisión se representan mediante un número borroso, con lo que la elección de la forma adoptada para dicho número es un paso importante en la modelación.

Respecto a estas formas, si bien se ha propuesto una gran variedad de funciones de verdad, en general se utilizan números borrosos triangulares o a lo sumo trapeziales. Según el conocimiento del autor de este trabajo, la propuesta que introduce más variaciones en este sentido es la de Munda (2003), con su método NAIADE (Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments), donde ofrece una amplia variedad de funciones de verdad.

Otra cuestión que permite distinguir entre las diferentes aproximaciones es el modo en que puede construirse un valor de preferencia cardinal para cada alternativa. En este particular, es necesario adoptar un modo conveniente para efectuar la agregación. Una revisión de los principales operadores que pueden utilizarse con esa finalidad, se encuentra en Merigó, Gil-Lafuente, Zhou, Chen (2011).

Entre los numerosos ejemplos de contribuciones que utilizan conjuntos borrosos, a menudo combinados con otros métodos multicriterio como AHP o TOPSIS, pueden encontrarse en Yeh y Chang (2009); Chou, Chang, y Shen (2008); Wang y Parkan (2008); Yu, Wang, Lai (2009); Herrera, Herrera-Viedma y Chiclana (2001); Lin, Huang, Yeh (2011); Ye J (2011).

Por otra parte, la Teoría Matemática de la Evidencia, de Dempster-Shafer, ha sido utilizada para representar la incertidumbre en la expresión de las preferencias. En este enfoque, se destacan los aportes de Beynon, Curry y Morgan (2000) y de Beynon (2002), Fu y Yang (2012).

El método TOPSIS ha sido adaptado de diferentes maneras a la problemática grupal, dando fundamento a propuestas de agregación que amplían las aplicaciones habituales de media geométrica o aritmética. Entre los aportes de este tipo corresponde citar a Huang y Li (2011).

Ahora bien, el recurso más cercano al método que se propone en esta tesis, es la Teoría de la Utilidad Multiatributo Aditiva (en inglés: Multiattribute Additive Utility Theory, MAUT). La literatura especializada ofrece múltiples aportes que se apoyan en la misma.

Por ejemplo, el Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP), de Saaty, es utilizado con adaptaciones para permitir la práctica en equipos. En los textos de Saaty (1978, 1996), pueden encontrarse algunos aportes en este sentido. En la literatura especializada son continuos y variados los aportes a este método, cabe citar por ejemplo a Hosseinian S, Navidi H y Hajfathaliha A (2011).

En cuanto al modo de tratar la imprecisión y la incertidumbre, la recomendación de utilizar la media geométrica formulada por Forman y Peniwati (1998) se ha convertido en un clásico. El mencionado artículo analiza la conveniencia de aplicar diversas modalidades de agregación según el nivel de cohesión del grupo de trabajo. Así por ejemplo, sugiere que cuando las personas funcionan como equipo, es conveniente agregar mediante la media geométrica de los juicios individuales, en tanto que para grupos no cohesionados, se recomienda calcular sobre las prioridades de los individuos.

Parece pertinente analizar con mayor detalle esta propuesta, dado que ha sido reiteradamente utilizada en aplicaciones posteriores del método de Saaty y que además, ha sido transferida en aproximaciones muy alejadas del AHP. Sea un grupo no cohesionado donde subsisten dos conjuntos de personas con posturas muy diferenciadas. Supongase que en esta situación se solicita a los integrantes del grupo que asignen prioridades a un cierto elemento A, y que las asignaciones son las siguientes:

Utilidades del grupo uno:	0,30	0,24	0,16	0,23	0,19
Utilidades del grupo dos:	0,47	0,45	0,46	0,39	0,48

Es decir, que las utilidades asignadas por el primer grupo se concentran en torno a 0,225, en tanto que las asignadas por el segundo grupo toman valores en torno a 0,45. Si en esta situación se determina la media geométrica, el valor obtenido es 0,313, el cual se encuentra totalmente alejado de ambas posturas, por lo que no parece razonable considerarlo como representativo del conjunto.

Con una visión muy alejada del intento de simplificación anterior, en Altuzarra, Moreno-Jiménez y Salvador (2007), se distinguen tres clases de situaciones cuando el problema de decisión tiene múltiples actores: *Group Decision Making* (GDM), cuando las personas actúan como equipo; *Negotiated Decision Making* (NDM), cuando los actores buscan resolver una situación de conflicto y *Systemic Decision Making* (SDM), cuando los comportamientos son individuales y se requieren condiciones de tolerancia que permitan la agregación de intereses.

Como se ve, el problema GDM planteado en la cita anterior es similar al planteado en el presente trabajo, sólo que exclusivamente orientado al método de Saaty. Para tales situaciones, Escobar y Moreno-Jimenez (2007) y Moreno-Jimenez, Aguaron, y

Escobar (2007), se preocupan por obtener una posición de estabilidad y de consenso, cuando se opera con el AHP. Con esa finalidad, desarrollan nuevas herramientas como Intervalos de Estabilidad y una Matriz de Consenso.

Ahora bien, una aproximación destacable por el nivel de desarrollo alcanzado, por la continuidad de publicaciones en revistas de primer nivel y por su vigencia temporal, es el planteado en la familia de métodos SMAA (*Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis*). Por otra parte, esta propuesta resulta comparable a la de los Procesos DRV, objeto de la presente Tesis, debido a que también utiliza distribuciones de probabilidad multivariadas para representar la variabilidad en las preferencias. Por ese motivo, en el siguiente apartado se efectúa una presentación extendida de la misma.

2.3.1 Métodos con soporte informático

El término Groupware, hace referencia a una familia de aplicaciones basadas en PC, que sirven de soporte al trabajo grupal, facilitan la comunicación y estimulan la colaboración. Las personas asistidas pueden compartir o no el espacio físico, y pueden trabajar o no, al mismo tiempo.

El objetivo de Groupware es facilitar la colaboración y la comunicación. Se reconocen tres cuestiones claves en estos sistemas: Colaboración, lo cual comprende calendarización y etiquetas, archivo, impresión y gestión de documentos; Comunicación, generalmente materializado por soluciones que facilitan el correo interno; Infraestructura, aspecto que incluye el intercambio de contenidos, la autenticación de servicios y los servicios de directorio.

Dentro de este tipo de sistemas, existen módulos directamente orientados a facilitar la toma de decisiones en grupo, los que generalmente se encuadran bajo la sigla GDSS. De acuerdo con Turban, Sharda, Delen & Efraim (2007), un GDSS es un sistema interactivo basado en computadora, que facilita la solución de problemas semi-estructurados o no estructurados, por parte de un grupo de tomadores de decisiones. El objetivo es mejorar la productividad de las reuniones de toma de decisiones y la calidad de las decisiones resultantes.

Los sistemas Groupware y GDSS pueden facilitar el trabajo en equipo, en las organizaciones. Por ese medio, los integrantes se comunican y colaboran, toman decisiones en grupo para mejorar la eficacia, la eficiencia y por lo tanto, la productividad.

Algunas metodologías multicriterio han sido formuladas con la finalidad de ser aplicadas en sistemas de este tipo. Este es el caso del método de selección de parámetros interdependientes variables, identificado con la sigla: VIP (Dias y Climaco, 2000a, 2000b), el cual propone un soporte a la toma de decisiones con equipos de trabajo, cuando se opera sobre una base informática. La propuesta se adapta especialmente para situaciones con información incierta sobre los criterios de decisión, de hecho, los integrantes no proponen valores precisos, sino relaciones que el método transforma en restricciones para una posterior resolución con Programación Lineal. En Dias y Climaco (2005), los autores analizan distintas modalidades de empleo en sistemas GDSS.

Ahora bien, según Rigopoulos, Psarras & Askounis (2008), al diseñar un GDSS deben considerarse las siguientes cuestiones: hardware, software, usuarios y procedimientos. El diseñador del sistema debe poner en consonancia estos aspectos, para obtener los resultados esperados.

La cuestión aparenta ser bastante más complicada. Diversos autores extienden los aspectos que deben ser considerados en el momento de diseñar una herramienta de este tipo. Algunos de estos requerimientos son: estilos de comunicación entre los miembros, estrategias de coordinación, niveles de cooperación, caracterización del trabajo en tiempo y espacio, regulación interna del grupo, conciencia y sentido de pertenencia, dinámicas generales del grupo (Cruz, Correia, Paredes, Fonseca, Morgado & Martins, 2012).

Sin embargo, es frecuente que los diseñadores de los sistemas no contemplen realmente estos requerimientos. Un trabajo clásico en este sentido es el de Grudin (1988), quien identifica motivos para que este tipo de sistemas no funcionen conforme a las expectativas iniciales. El autor señala cuestiones como que el mantenimiento del sistema puede sobrecargar de trabajo a quienes no son directamente beneficiarios del mismo, o que el relevamiento previo puede ser influenciado por las experiencias del diseñador o por opiniones subjetivas de los gerentes.

Adicionalmente, Grudin (1988) señala un problema que disminuye las posibilidades de éxito de los sistemas GDSS, se trata de la dificultad o incluso imposibilidad, de valorar los beneficios que generan estas herramientas, o su verdadero impacto. Dicho de otro modo, después del desarrollo y aplicación de un

sistema computacional para trabajo en grupo, surge la necesidad de valorar cuánto mejor han resultado las cosas por la disponibilidad de esa herramienta.

Esta cuestión es relevante porque afecta de manera similar a una gran variedad de aplicaciones de Investigación Operativa. De hecho, el interés por valorar el impacto de ciertas iniciativas, se refleja en diversos aportes, como por ejemplo en Franco (2013). Por supuesto, la problemática es trasladable al método de toma de decisiones en grupo desarrollado en la presente investigación.

2.3.2 Sobre la familia de métodos SMAA.

Ante todo es importante reconocer que en distintas oportunidades, durante el desarrollo del presente proyecto de investigación, los expertos que juzgaron el trabajo además, que los resultados de la comparación fueron publicados en dos artículos en revistas especializadas (Zanazzi y Gomes, 2009); (Zanazzi, Dimitroff, Pontelli y Pedrotti, 2013).

La estrategia central de estos métodos (Lahdelma, Hokkanen, Salminen, 1998), consiste en agrupar un conjunto de recursos diseñados especialmente para afrontar las situaciones en que no se dispone de valores exactos que representen las alternativas, criterios y preferencias del grupo. En efecto, las diferentes versiones enfrentan los problemas típicos que debe enfrentar la DMD en los procesos de análisis grupal, tal como la necesidad de operar con valores inciertos, imprecisos o no existentes, es decir que explícitamente se proponen modelar el ruido sin reducirlo.

El método SMAA, (Lahdelma, Hokkanen, Salminen, 1998), aplica la Teoría de la Utilidad Multiatributo Aditiva (MAUT), con el fin de elegir la mejor alternativa, entre un conjunto de posibilidades. El segundo aporte relevante, bautizado con el nombre de SMAA-2 (Lahdelma y Salminen, 2001), se orienta a facilitar un ordenamiento de las opciones de elección, según las preferencias.

Las aproximaciones que integran esta familia, utilizan diferentes indicadores para expresar los resultados. Estos índices se formulan mediante integrales multidimensionales, lo cual constituye un recurso muy elegante durante la presentación.

En la práctica, se utiliza Simulación de Monte Carlo para computar las aproximaciones numéricas, lo cual representa una adecuada respuesta ante la falta de conocimiento de los criterios de medición y preferencias. De hecho, se trata de una

estrategia de análisis inverso del espacio de factibilidad de los valores de los parámetros.

El marco de la metodología SMAA está caracterizado por la resolución de un problema de decisión discreta donde la información básica requerida, se reproduce en las siguientes expresiones, con la notación habitual de estos métodos. Entonces, se considera un conjunto de I alternativas, como se plantea en la expresión (2.11), las cuales son evaluadas desde la perspectiva de J criterios, como se expresa en (2.12).

$$\underline{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_I\} \quad (2.11)$$

$$\underline{G} = \{g_1, g_2, \dots, g_J\} \quad (2.12)$$

La evaluación de la acción x_i sobre el criterio g_j se escribe $g_j(x_i)$. El modelo considera múltiples decisores, cada uno de los cuales posee una estructura de preferencias que se representa mediante un vector de peso W y una función de utilidad $u(x_i, w)$, que posee una forma comúnmente aceptada, siendo la más utilizada la Ponderación Lineal:

$$u(x_i, w) = \sum_{j=1}^n w_j g_j(x_i) \quad (2.13)$$

Los pesos se asumen positivos y normalizados por lo tanto están definidos en el espacio siguiente:

$$W = \left\{ w \in \mathbb{R}^n : w \geq 0 \text{ y } \sum_{j=1}^n w_j = 1 \right\} \quad (2.14)$$

Además la incertidumbre que tiene el grupo de decisores respecto a los pesos, se representa con una distribución Uniforme, cuya función de densidad de probabilidad $f_W(w)$ toma valores en el dominio W y se expresa del siguiente modo:

$$f_W(w) = 1/Vol(W) \quad (2.15)$$

La expresión anterior evidencia un supuesto muy importante en la metodología SMAA, dado que la Uniforme representa una situación de falta de conocimiento por

un lado y de absoluto desacuerdo por el otro. Es decir, se supone que los decisores tienen puntos de vista muy diferentes respecto a los criterios.

Además, el método también asume la existencia de imprecisión e incertidumbre en la valoración de las alternativas, motivo por el cual las utilidades de estos objetos se representan con variables aleatorias cuyas funciones de densidad de probabilidad: $f_X(\xi)$, son conocidas. De hecho, en algunos artículos los autores especifican que esta función de probabilidad debe ser “real valued”, aunque no especifican requisitos sobre el modo de hacerlo.

En el caso del SMAA original, se busca ofrecer soporte a las decisiones mediante el cálculo de tres medidas: el Índice de Aceptabilidad, el Vector de Peso Central y el Factor de Confianza. La expresión correspondiente al primero de estos indicadores, se reproduce a continuación:

$$a_i = \int_{\xi \in X} f_X(\xi) \int_{w \in W_i(\xi)} f_W(w) dw d\xi \quad (2.16)$$

Dicho en palabras, el Índice de Aceptabilidad de una alternativa calcula la proporción de veces que en la simulación discreta del problema, la alternativa a_i resulta preferida. De manera adicional, brinda la posibilidad de clasificar a los elementos de elección en dos categorías, alternativas eficientes con $a_i \gg 0$ y alternativas ineficientes, cuando a_i es cercano a cero.

Por otra parte, el Vector de Peso Central describe las preferencias de un decisor que apoya una alternativa según el modelo de preferencias elegido. Se utiliza en forma inversa para dar información a los decisores sobre qué esquema de preferencias hará que una alternativa sea la elegida.

El Factor de Confianza se define como la probabilidad de una alternativa para que sea la preferida con las preferencias representadas por sus respectivos Vectores de Peso Central. Si lo que se busca es elegir una alternativa confiable, las que posean un factor de confianza bajo no serán elegidas. El Factor de Confianza aumenta cuando se colectan datos sobre los criterios más exactos.

El Índice de Aceptabilidad del método SMAA original no permite establecer un orden de prioridades, sino clasificar las alternativas según si serán tenidas en cuenta en futuras consideraciones o no. Por ese motivo, el SMAA-2 propuesto en Lahdelma y Salminen (2001), se orienta a obtener un ordenamiento.

En este caso las medidas descriptivas se denominan: Índice de Aceptabilidad de Rangos, Índice de los K mejores ordenamientos y el Índice de Aceptabilidad Holístico, el cual se utiliza cuando no media un analista entre el grupo y el problema a resolver, o bien cuando se requiere una herramienta automática para la toma de decisiones. La definición analítica del primero de estos indicadores se reproduce a continuación.

$$b_i^r = \int_{\xi \in X} f_x(\xi) \int_{w \in W_i^r} f_w(w) dw d\xi \quad (2.17)$$

Es decir que el indicador de aceptabilidad de ubicación en la posición r del ordenamiento, para la alternativa i, se obtiene como la proporción de veces que dicha alternativa se encuentra en la posición r. Para ilustrar mejor esta idea, se reproduce a continuación una figura obtenida con el software que se ofrece en un Sitio Web elaborado por el Dr. Tommi Tervonen.

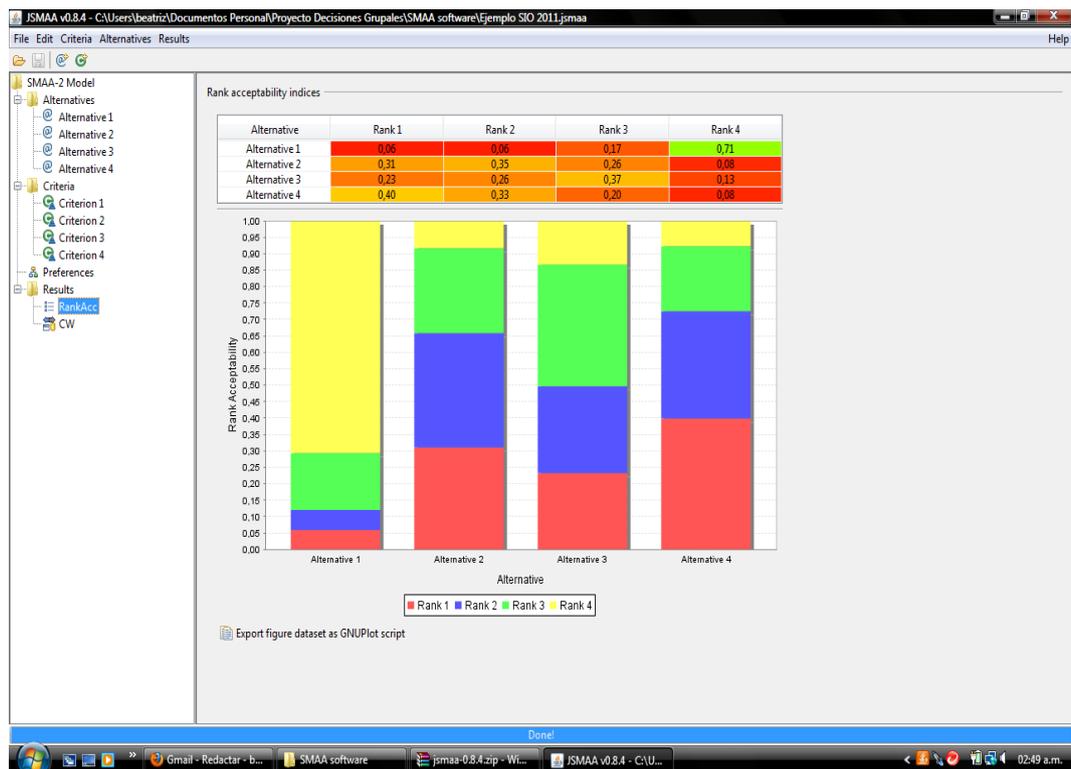


Figura 2.7 Salida del soft JSMAA v 8.4

En la parte superior de la Figura 2.7, se especifica la proporción de veces que cada alternativa ha quedado en cada ubicación, a lo largo de las simulaciones realizadas. Por ejemplo, en la primera posición se posicionó la alternativa cuatro en el cuarenta por ciento de las veces, en tanto que le sigue la alternativa dos, con el treintiuno por

ciento. Adicionalmente, el diagrama en columnas de la parte inferior, presenta los resultados por alternativa; de ese modo se observa que la alternativa cuatro tiende a resultar preferible, en tanto que rara vez se ubica en la última posición. En el extremo opuesto, la primera alternativa es relegada al último puesto en el setenta por ciento de las simulaciones realizadas.

Otras extensiones del método fueron desarrolladas teniendo en cuenta criterios ordinales, criterios interdependientes, factores de confianza cruzados o los basados en el modelo por umbrales de indiferencia y preferencias. En la Tesis Doctoral de Tervonen (2007), se efectúa una oportuna revisión de la familia.

Además, dicha Tesis presenta los métodos SMAA-III y SMAA-TRI, surgidos como variantes del ELECTRE III (acrónimo francés de Elimination and Choice Expressing Reality) y ELECTRE TRI para su utilización con valores imprecisos. Cabe recordar que los métodos ELECTRE se basan en valoraciones cardinales para definir umbrales de indiferencia y preferencias, considerando que pequeñas diferencias entre alternativas es indiferente para la toma de la decisión y diferencias que sobrepasan un determinado orden de magnitud no agregan valor a la misma.

En el artículo referenciado como Lahdelma y Salminen (2009), se presenta una nueva variante denominada SMAA-P. Su característica es que incorpora la Prospect Theory de Kahnemann y Tvesky, con lo cual se abre la posibilidad de representar la actitud de los integrantes del grupo de decisión frente al riesgo.

2.4 Estrategias para reducir el ruido

En el ámbito de la Investigación Operativa, se dice que un proceso de toma de decisiones es complejo cuando es necesario considerar las posturas de distintas personas o entidades y conseguir que esas personas sostengan sus decisiones a lo largo del tiempo (Valqui Vidal, 2006). También es posible utilizar la calificación de socio-técnico para referir a sistemas donde las consecuencias de las decisiones dependen no sólo de los medios y la tecnología utilizada, sino que también se vinculan fuertemente con las personas que operan y gestionan esos recursos (Zanazzi et al., 2013).

Conforme a Mingers y Rosenhead (2004), esta complejidad introduce ruido en la información necesaria para la toma de decisiones. El término ruido incluye cuestiones como incertidumbre, imprecisión o carencia de datos.

Georgiou (2008) reconoce que uno de los orígenes de la incertidumbre es la variabilidad inevitable en las percepciones y apreciaciones de las personas. Por otra parte, considera que la incertidumbre reduce las posibilidades de éxito de los planes de acción establecidos por los diferentes tomadores de decisión. Con esta lógica, es muy importante extremar los esfuerzos orientados a reducir esta perturbación y para mantener bajo control los niveles de ruido presentes en el contexto del proceso de decisión.

Para reducir el ruido es conveniente realizar trabajos grupales que faciliten la comprensión de las problemáticas analizadas y el intercambio de conocimientos y experiencias, en tanto ayudan a evidenciar percepciones y posturas individuales. Esto es, corresponde realizar actividades de capacitación que permitan mejorar los niveles de conocimiento compartido por el grupo.

Ahora bien, la Tabla 1 refleja una comparación entre los enfoques Blandos y Duros de la Investigación Operativa, que fue planteada en Rosenhead (2004). De acuerdo a esta comparación, los métodos Blandos reconocen la problemática compleja de los problemas en tanto que los métodos Duros buscan encontrar una solución, pese a que existen perturbaciones.

En sintonía con esta orientación, los métodos Blandos apelan a la argumentación, se preocupan por generar debates que contribuyan a mejorar la comprensión del entorno del problema y plantean un proceso de aprendizaje organizacional, es decir que implementan procesos orientados a modificar la realidad. En cambio, los métodos Duros suponen que las alternativas de solución pueden identificarse con cierta facilidad, se limitan a representar el mundo real sin pretender modificarlo y se esfuerzan por elaborar una recomendación adaptada a la complejidad.

Tabla 2.2:*Comparación entre OR Soft y OR Hard (Rosenhead, 2004)*

	OR Soft	OR Hard
Problem Definition	Complex view with inter-functions and dimensions	Direct view oriented for resolution
Development	Requires argumentations about feasible solutions and seek alternatives one.	Assumes that the alternative solutions are defined a priori
Model	A way to generate debate and insights regarding to the real world	A representation of the real world
Result	Learning process	A solution or recommendation

Conforme a la lectura planteada en la comparación anterior, la IO Blanda es la vertiente empeñada en generar aprendizajes en los grupos de trabajo. Esa lectura resulta válida hasta mediados de la década pasada, dado que con posterioridad se realizaron algunas propuestas de métodos duros que plantean procesos de aprendizaje entre los integrantes del grupo de tomadores de decisión.

En esa línea se ubica el método VIP, cuando plantea que la discusión y ponderación de los criterios de decisión contribuye al aprendizaje de los integrantes del equipo de personas que realiza el análisis (Dias & Climaco, 2005). También se evidencia esa preocupación en Escobar y Moreno-Jimenez (2007) y Moreno-Jimenez, Aguaron, y Escobar (2007), cuando proponen un modo de verificar si se evoluciona hacia una posición de consenso. En Fu y Yang (2012) se avanza un paso más, al plantear un proceso iterativo que debe estimular el intercambio de conocimientos y el acercamiento de posiciones a lo interno del grupo.

Es decir, en los últimos años se advierten apariciones esporádicas entre los enfoques de la línea Dura, que se esfuerzan en reducir y controlar el ruido. Esa es precisamente la posición adoptada en la presente Tesis.

2.5 Consideraciones sobre los contenidos de este Capítulo

El presente capítulo se orienta a relevar el estado del arte en el área de conocimiento vinculada con los procesos de toma de decisiones grupales, con apoyo DMD. Con ese

objeto recorre en forma global, tanto la literatura general vinculada con el enfoque Duro de la Investigación Operativa, como la enmarcada en el enfoque Blando.

Entre los emergentes de esta revisión, las evidencias parecen indicar que el problema analizado en la presente Tesis puede considerarse como una preocupación actual y compartida en el ambiente científico. Esta afirmación se apoya en que existen revistas especializadas en el tema y en que es abundante la producción orientada a tratar esta cuestión.

En cuanto a los recursos para trabajar el problema, es bueno reconocer que la opción preferida por los expertos son los conjuntos borrosos. Sin embargo, existen grupos muy activos, que estudian la cuestión con variables aleatorias, el más conocido de ellos ha desarrollado en Finlandia los métodos SMAA.

Por otra parte, la problemática que se busca resolver en esta Tesis tiene algunas diferencias con la orientación general. En efecto, si bien el problema identificado como GDM (Group Decision Making) aparece con frecuencia, en general los aportes se preocupan por obtener una decisión pese a las diferencias internas en el grupo.

Dicho de otro modo, las variaciones de percepciones y prioridades se consideran como elementos de incertidumbre e imprecisión. En la generalidad de las aproximaciones, estas perturbaciones distorsionan la información disponible en el proceso de toma de decisiones, por lo que es razonable buscar métodos robustos que faciliten la identificación de soluciones pese a estas dificultades.

La propuesta formulada en esta Tesis, en cambio, considera que además de identificar una decisión adecuada, es preciso generar en el grupo un ambiente colaborativo, que permita desarrollar cohesión, que incremente el conocimiento compartido y que aumente el compromiso posterior con las decisiones adoptadas. Es decir, la presente propuesta se preocupa por cambiar la realidad y en ese particular se acerca a los métodos propios de la IO Blanda.

3. Estabilización del proceso de análisis

Como se plantea en la Introducción, en las aplicaciones de Procesos DRV pueden reconocerse tres fases: Estabilización; Agregación y Ordenamiento. Para los objetivos del método, la primera fase es la fundamental, porque durante su realización es donde se generan buena parte de los beneficios potenciales a nivel de aprendizaje e integración del grupo de trabajo.

A su vez, esta fase se desarrolla en varias etapas, que comprenden la definición del problema, la identificación de alternativas, la selección de criterios apropiados, la representación de los elementos anteriores en un árbol de decisión, con una cierta cantidad de subproblemas, y finalmente, el análisis posterior de los elementos que integran cada subproblema. Las primeras etapas se realizan de manera convencional, conforme a las prácticas corrientes en Decisión Multicriterio Discreta.

En cambio, la última etapa es donde radica el aporte original de los procesos DRV. En efecto, para el análisis de los subproblemas del árbol de decisión, se han desarrollado un conjunto de conceptos y criterios que hacen posible obtener diversos beneficios adicionales para los equipos de trabajo.

En cuanto a la organización de este capítulo, se describen en su parte inicial las estrategias DMD convencionales que resultan apropiadas. Luego se discute la fase final o de análisis. Finalmente se proponen y analizan criterios que permiten verificar si el proceso de análisis del subproblema ha ingresado en la fase estable.

3.1 Aproximación inicial al problema

En esta propuesta se considera el caso de un grupo de personas que estudian un problema de decisión. Se supone que el conjunto es de tamaño reducido, de entre cinco y veinte personas. En lo que sigue, el tamaño se designa como N y el subíndice n identifica a los integrantes.

Se supone que el grupo puede operar como equipo de trabajo, es decir que posee las siguientes cualidades: tiene uno o varios objetivos comunes; presenta en su estructura roles definidos; existe entre sus vínculos al menos una relación de liderazgo; reconoce reglas de funcionamiento y tiene un cierto nivel de cohesión.

Bajo estas condiciones, el grupo está en condiciones de realizar las siguientes tareas:

Tarea 1 - Elaboración del objetivo general: consiste en una verbalización del objetivo del proceso decisional que debe ser elaborada en plenario. Este ejercicio, además de ser clave para la continuidad del trabajo, plantea a los integrantes un primer desafío, dado que generalmente existen ideas dispares sobre el motivo de la reunión.

En su realización surgen y se analizan, por supuesto, múltiples diferencias en cuanto a percepciones y experiencias previas. Por ese motivo, esta definición inicial genera a su vez, un significativo aporte al conocimiento compartido.

Tarea 2 - Identificación de las alternativas: permite especificar y acordar sobre el conjunto de elementos que es necesario comparar. En este planteo, el conjunto de alternativas configura un espacio discreto, por lo que sus elementos deben ser completamente separables. Como notación, en este documento el símbolo I designa el número de elementos entre los que se debe decidir, en tanto que el subíndice i se usa para representar cada una de estas opciones.

Para avanzar en la tarea, conviene que el grupo verbalice en conjunto las propiedades de estas alternativas. Dicho de otro modo, debe acordar cuáles son las cualidades distintivas de cada una de las opciones que se consideran.

Es posible utilizar diversos ejercicios durante la concreción de la actividad, a fin de que los integrantes visualicen de modo adecuado las entidades a comparar. Se considera importante por ejemplo, elaborar precisiones sobre las propiedades deseables y no deseables que debe tener cada alternativa. Una consecuencia de esta fase, cuando corresponde, es la enumeración de las especificaciones técnicas de las alternativas a considerar.

Tarea 3 - Selección de los criterios a considerar: consiste en seleccionar las herramientas con las que se van a medir y comparar las alternativas entre sí. Con el enfoque de Gomes, Araya y Carignano (2004), los criterios pueden ser objetivos o subjetivos y al utilizar los mismos, es conveniente distinguir tres conceptos asociados: el de criterio propiamente dicho, el objetivo a conseguir y la métrica a utilizar.

Es conveniente clarificar este aspecto con un ejemplo. Sea el caso donde es necesario decidir entre tres posibles equipamientos y se considera importante

comparar utilizando el criterio “Costo”. Los datos disponibles sobre esta cuestión son los siguientes:

Tabla 3.1
Ejemplo para ilustrar el tipo de criterios

Alternativa	Costo
A	2500
B	7500
C	15000

En este caso el criterio es el Costo, en tanto que el objetivo a plantear es razonablemente el de minimizar la inversión. En cuanto a la métrica, la función de utilidades puede construirse de maneras diversas. Una posibilidad es comparar de a dos en dos, las alternativas y adoptar como valor representativo de la preferencia, la inversa del cociente entre el menor y el mayor de los valores.

De este modo se llega a que $A \succ B$, dado que $u_{\text{costo}}(A) = 3 * u_{\text{costo}}(B)$. Igualmente, se tiene que $B \succ C$, dado que $u_{\text{costo}}(B) = 2 * u_{\text{costo}}(C)$. Cuando se opera de esta forma, se dice que el criterio es objetivo.

Pero este tipo de expresiones no siempre representa las preferencias reales. Para comprender el sentido de esta afirmación, se puede suponer ahora que esta organización tiene libre disponibilidad en este momento de sólo \$ 10000, por lo que adquirir la alternativa tres requiere apelar a una financiación externa con un importante incremento de costos y tiempos necesarios.

En una situación como esa, es conveniente utilizar un criterio subjetivo, que exprese la intensidad de la preferencia con una representación que va más allá de la simple aritmética. Por ejemplo, es razonable pensar que para los tomadores de la decisión, la alternativa B es más de dos veces preferible a la C. Ahora bien, cuando se utiliza un criterio objetivo, la distribución de utilidades es única para todos los decisores, por lo tanto no es posible aplicar la fase final de análisis de los Procesos DRV.

En definitiva, si bien los Procesos DRV pueden aplicarse con una combinación de los dos tipos de criterios, son los criterios subjetivos los que permiten representar la variabilidad en las preferencias. Con esta idea, cuando no es factible operar exclusivamente con criterios subjetivos, por cuestiones de tiempo disponible, se recomienda adoptar la segunda modalidad para aquellos criterios donde es conveniente que los integrantes refuercen su formación e integren sus competencias.

Tarea 4 - Construcción del árbol de la decisión: el siguiente paso es la representación del problema en un gráfico con forma de árbol, conforme a la propuesta de Saaty (1996). La figura siguiente ilustra el diagrama para el proceso genérico:

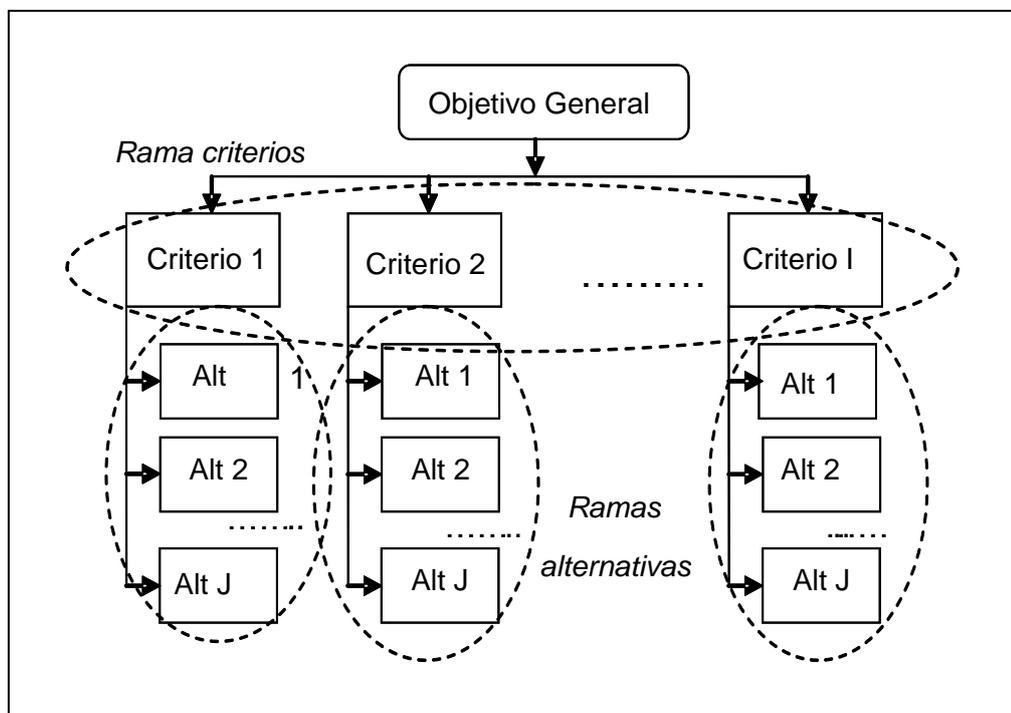


Figura 3.1 Árbol de la decisión

A partir del diagrama anterior y a los fines de una explicación adecuada, conviene dividir el proceso general en subproblemas. Así entonces, el análisis de las alternativas a la luz del Criterio i , puede considerarse como un subproblema. Del mismo modo, la asignación de pesos a los criterios plantea un nuevo subproblema.

3.2 Estabilización de los subproblemas

Es necesario analizar los diferentes subproblemas y comparar entre sí los elementos que lo integran. El análisis debe hacerse en plenario, de modo que todos los miembros del grupo puedan expresar sus opiniones y comprender las posturas del resto.

En este sentido, son bienvenidas las experiencias y conocimientos previos que tienen los integrantes. Incluso es posible plantear y poner a consideración del conjunto, cualquier supuesto o creencia subyacente sobre el tema. Es necesario que se

entiendan las diferentes posiciones, para lo cual conviene intercambiar elementos de juicios y experiencias.

No es preciso que el grupo genere en conjunto, un pre orden de los elementos comparados, conforme a la preferencia o importancia. En caso de que los integrantes acuerden definir en plenario un ordenamiento para un determinado subproblema, la consecuencia positiva es el ahorro de tiempo posterior para el análisis. Pero también existe una negativa, dado que se incurre en pérdida de información sobre la verdadera variabilidad de las percepciones.

La tarea de análisis conjunto procura generar una reducción en la variabilidad inherente de los juicios. En efecto, al iniciar el estudio de una rama las posturas pueden ser completamente dispersas. Sin embargo, al progresar la tarea, esa dispersión debe tender a reducirse de manera sostenida hasta arribar a una condición de estabilidad. Se entiende por condición de estabilidad al estado en el cual las opiniones individuales ya no pueden variar de manera significativa, aún cuando continúe el estudio del problema.

Para verificar si se arribó a esa condición, el grupo debe expresar sus opiniones y preferencias con el auxilio de una función de utilidad cardinal, conforme a las especificaciones de Keeney y Raiffa (1993). La asignación de utilidades debe ser una tarea individual. Es importante que cada uno de los miembros la realice por separado, con independencia de los juicios emitidos por sus compañeros.

Esto puede hacerse con una sencilla operatoria. En efecto, si se considera de manera genérica, que en una cierta rama hay k elementos a comparar, y se denomina u_{kn} a la utilidad estandarizada con la regla de la suma, asignada al elemento k por el individuo n , con $k = 1, 2, \dots, K$ y $n = 1, 2, \dots, N$. Los resultados del estudio de cada rama pueden representarse en términos de la suma de cuadrados de los u_{kn} , del modo siguiente:

$$SC_{total} = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (u_{kn} - \bar{u}_k)^2 \quad (3.1)$$

Esta sumatoria puede desagregarse en dos componentes, del siguiente modo

$$SC_{total} = \sum_{k=1}^K (\bar{u}_k - \bar{u})^2 + \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (u_{kn} - \bar{u}_k)^2 \quad (3.2)$$

En la expresión anterior, \bar{u} es la media general y \bar{u}_k es el promedio para el elemento k. En el segundo miembro de la igualdad, el primer término puede denominarse: suma de cuadrados entre elementos (SCE) y el segundo: suma de cuadrados dentro de los elementos (SCD).

La sumatoria SCD es la que representa las diferencias entre las opiniones individuales respecto al elemento número k. Debido a que se supone que los integrantes forman parte de una misma organización y que como grupo, comparten valores y objetivos, es deseable que estas diferencias no sean excesivas.

Con esa idea, cabe esperar que la suma de cuadrados SCD disminuya a medida que progresa el análisis. A los efectos de contrastar esta sumatoria con algún valor de referencia puede suponerse que al iniciar el análisis de la rama, la peor condición posible es que las medias verdaderas de los elementos sean iguales y que las distribuciones sean uniformes, como se representa en la Figura 3.2.

Con este razonamiento, la media de la distribución uniforme es igual a $1/k$, en tanto que el extremo superior es igual a $2/k$. Conviene recordar que la distribución uniforme de las probabilidades, cuando se encuentra definida en un intervalo (a,b), tiene media $\mu = (a + b) / 2$ y varianza $\sigma^2 = (b - a)^2 / 12$.

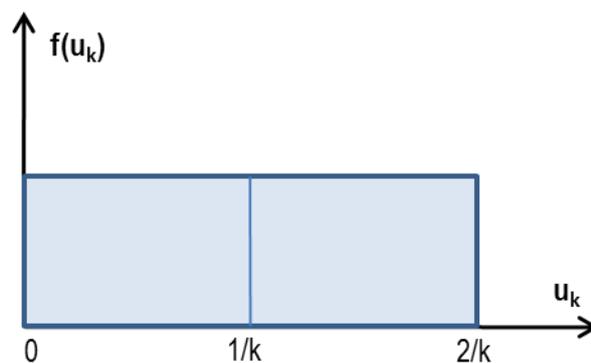


Figura 3.2 Función de densidad de probabilidad para el elemento k

Pueden entonces formularse como supuesto, que la peor condición posible en cuanto a falta de acuerdo entre los integrantes del equipo, se produce cuando se verifican los siguientes supuestos:

- Las medias de las utilidades para cada elemento k, son iguales a la inversa de la cantidad K de elementos comparados.

- Las distribuciones de probabilidad de las utilidades son uniformes, entre cero y dos veces la media.
- La varianza muestral es equivalente a la varianza de la uniforme.

Bajo estas condiciones, se puede calcular una suma total de cuadrados de referencia (SCU), del siguiente modo:

$$SCU = K(N-1) \frac{\left(\frac{2}{K}\right)^2}{12} = \frac{N-1}{3K} \quad (3.3)$$

Así entonces, es posible suponer que a medida que progresa el análisis de la rama, la suma de cuadrados SCD descende desde un valor cercano a SCU, hasta un mínimo propio de la estabilidad, como lo muestra la Figura 3.3.

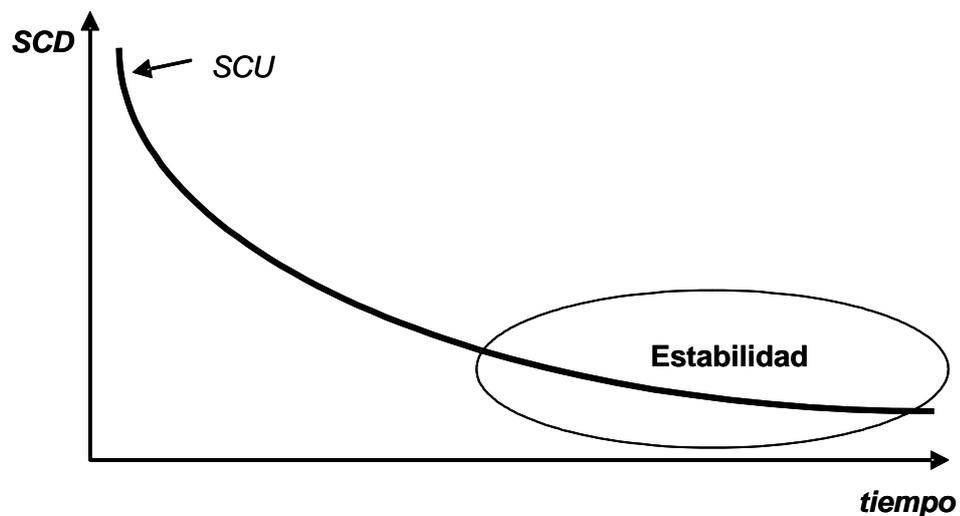


Figura 3.3 Evolución de la Suma de Cuadrados Dentro

Para facilitar el seguimiento del proceso es posible definir un indicador adecuado. En efecto, sea el Índice de Variabilidad Remanente, que se obtiene como sigue:

$$IVR = (SCD / SCU) \times 100\% \quad (3.4)$$

En resumen, luego de la asignación de utilidades tanto el indicador IVR como el análisis estadístico de los resultados u_{kn} obtenidos con los N individuos, permite inferir si la condición de estabilidad se considera satisfecha. En caso de que esta verificación resulte satisfactoria, corresponde iniciar el análisis de una nueva rama. De

no ser así, se retoma la actividad en plenario y se analizan las posibles causas para las diferencias encontradas.

Corresponde señalar que para que la condición de estabilidad se considere satisfactoria, es preciso que el IVR tome valores razonables para esa condición. Precisamente, en la Sección 3.3 se analiza el comportamiento esperable de este indicador, cuando el nivel de variabilidad es reducido y puede suponerse que el grupo alcanzó cierto consenso.

De acuerdo a las experiencias realizadas en el marco de la presente Tesis, la condición de estabilidad debe alcanzarse a lo sumo en tres ciclos de análisis. Pero es factible que pese a reducir la dispersión, no se produzca la convergencia de valoraciones. Es decir, pueden persistir diferencias importantes entre los integrantes, bien porque hay al menos dos grupos de opinión, o porque algunos integrantes se distancian del resto.

Ante esa realidad, en la continuidad de este trabajo se dice que el grupo tiene cohesión respecto a un subproblema, cuando alcanza un nivel de consenso en torno a la cuestión analizada. En términos estadísticos, hay cohesión cuando puede suponerse que las utilidades han sido extraídas de una distribución unimodal.

Ahora bien, en casos de falta de consenso, de todos modos es recomendable continuar con el estudio de los restantes subproblemas, porque de ese modo se pueden identificar las cuestiones del problema de toma de decisiones en torno a las cuales hay falta de acuerdo. Sin embargo, al completar la fase de estabilización, no es recomendable continuar con la agregación, porque el equipo de trabajo no se encuentra cohesionado. Cabe destacar que este razonamiento se retoma en las Secciones 4.1 y 4.4.

3.3 Interpretación del Indicador IVR

Este indicador tiene por objeto verificar que en el proceso de análisis de un determinado subproblema, se tiende de manera efectiva a reducir la variabilidad en las utilidades emitidas. En efecto, la idea es observar el modo en que evolucionan los valores del mismo; por ejemplo, si en un primer intento es de un 37% y en el segundo desciende a 16%, es porque razonablemente el grupo ha logrado superar una parte importante de sus diferencias iniciales.

En cuanto al modo de verificar si el proceso de análisis de cualquier subproblema se torna estable, un concepto básico de esta Tesis es que la distribución Normal es la evidencia de esa condición. En apoyo de esta afirmación, en el Capítulo 4 se demuestra que cuando se alcanza la estabilidad, las utilidades asignadas a los elementos comparados deben tener distribuciones marginales normales.

Sin embargo, el IVR también puede utilizarse como evidencia de que se alcanza la condición de estabilidad. En efecto, al reducirse paulatinamente la suma de cuadrados dentro, las distribuciones marginales deben tender a la normalidad. Cabe recordar que el comportamiento gaussiano puede considerarse como una condición límite, cuando se reduce de modo sistemático la variabilidad.

Ahora bien, la adaptación del IVR como evidencia de estabilidad puede hacerse mediante un razonamiento similar al de las pruebas de hipótesis no paramétricas. El término similar en la oración anterior no es casual, dado que busca destacar que lo que sigue no es realmente una prueba estadística, sino un método empírico que se apoya en la lógica de dichas pruebas.

Entonces, si se plantea como supuesto que se alcanzó la fase estable contra la posibilidad de que en realidad esto no sea cierto, corresponde determinar qué valores de IVR son esperables cuando las distribuciones marginales de las utilidades son normales. Esta determinación puede hacerse mediante la aplicación de una estrategia de simulación discreta.

Sea un tamaño de grupo de N personas que analiza un subproblema donde se comparan K elementos. Para representar la fase estable, es posible generar una matriz X, integrada por NxK impulsos aleatorios con distribución Normal, con la media y el desvío que se considere apropiado para el problema bajo estudio.

Una vez generada la matriz anterior, es necesario estandarizar sus utilidades con la regla de la suma, del siguiente modo:

$$u_{n,k} = x_{k,n} / \sum_{k=1}^K x_{k,n} \quad (3.5)$$

A continuación se debe calcular la Suma de Cuadrados Dentro (SCD), del modo que sigue:

$$SCD = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N (u_{k,n} - \bar{u}_k)^2 \quad (3.6)$$

Luego el SCU puede obtenerse a partir de la expresión (3.3), en tanto que el IVR se calcula aplicando (3.4).

Con esta mecánica es posible generar series de valores posibles para el IVR, bajo el supuesto de normalidad. Luego, el análisis estadístico de estos valores permite determinar cuáles son los valores razonables del indicador, en condiciones de estabilidad en el proceso.

Ahora bien, si de nuevo se traslada a este problema la lógica de la pruebas de hipótesis, cabe preguntar cuál de los dos tipos de errores que pueden presentarse, es el más preocupante. Al respecto, vale considerar que un Error de Tipo I, en este caso, implica que se arribó a la estabilidad y sin embargo se rechaza el supuesto; en tanto, el Error de Tipo II es no rechazar la hipótesis cuando esta en realidad es falsa.

Con esta lógica, el segundo tipo de error parece ser el que tiene consecuencias más negativas. En efecto, si se rechaza injustamente la hipótesis el grupo debe proseguir el trabajo conjunto, aún cuando ya logró estabilizar el proceso, lo cual redundaría en una pérdida de energía interna pero sin dudas, contribuye a un mayor conocimiento grupal. En cambio, si la decisión de no rechazar la hipótesis es incorrecta, el grupo abandona el análisis de un subproblema cuando el mismo aún no se estabilizó, con lo que las utilidades que se van a adoptar no son las adecuadas.

Para controlar la probabilidad del Error de Tipo II, es conveniente asignar una probabilidad elevada a la zona de rechazo, tal como un 5 o un 10%. Por ese motivo, en la continuidad del presente estudio corresponde buscar los valores de IVR que en la simulación, tienen un 90 % o 95 %, de frecuencia acumulada.

3.4 Comportamiento estadístico de los IVR

Para investigar esta cuestión se realizaron diversos experimentos de simulación, aplicando los razonamientos del apartado anterior. En dichos experimentos, se trabajó con longitudes de corridas de trescientos casos. Por otra parte, las cantidades de participantes considerados en el grupo de trabajo, fueron de cinco, diez y quince; además se consideraron subproblemas con cuatro y seis elementos a comparar.

Así por ejemplo, una de las situaciones analizadas es cuando el grupo tiene diez integrantes y se comparan entre sí cuatro elementos. Para estas condiciones, se generaron aleatoriamente impulsos con distribución Normal y desvío igual a seis. Los resultados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 3.1
Simulación para $N = 10$ y $K = 4$

Medida	Valor
Longitud	300
Promedio	14,2
Mediana	13,9
Desvío	3,9
Coef. de Variación	28,53
Coef. de Asimetría	0,47

Una primera lectura de los resultados obtenidos, invita a pensar que la Distribución Normal puede ser una distribución de probabilidad adecuada para los IVR. En efecto, promedio y mediana similares, desvío mucho más chico que la media y coeficientes de variación y asimetría cercanos a cero, son indicios de la distribución gaussiana.

De manera adicional, en la Figura 3.4 puede observarse como las frecuencias relativas acumuladas tienden a describir una curva similar a la de la campana. Sin embargo, los IVR adoptan un valor mínimo mayor que cero, que la Normal no logra representar.

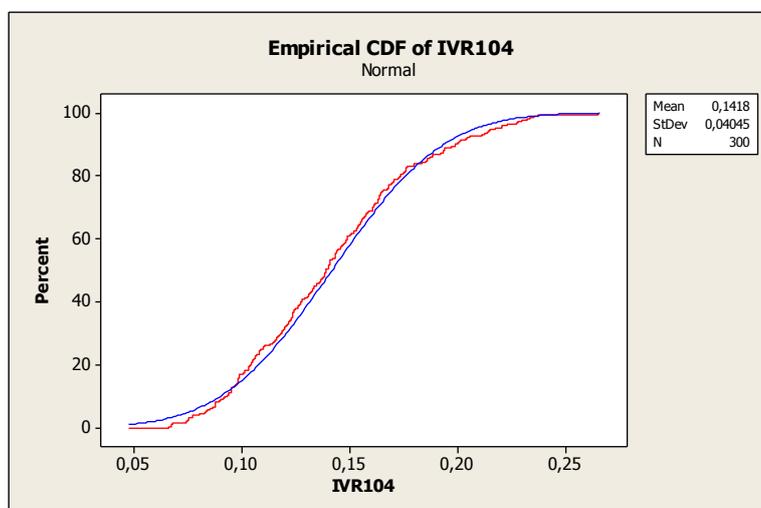


Figura 3.4 Distribución de Frecuencias Relativas Acumuladas de los IVR

Esta condición produce un apartamiento para valores bajos y en la parte central de la curva, que impide obtener buen ajuste. En efecto, cuando la coincidencia es verificada con pruebas de hipótesis que analizan la bondad del ajuste, la distribución Normal es rechazada.

El análisis anterior invita a pensar que para obtener buenos ajustes, es necesario utilizar modelos que puedan representar alguna asimetría o que incluyan tres parámetros (a fin de representar el extremo inferior de los IVR). Para confirmar este supuesto, se utilizó el Software Minitab en su versión Demo, para probar distribuciones que tengan esta cualidad.

De este modo, se ajustó un amplio menú de modelos de probabilidad y se logró buen ajuste con la Distribución de Weibull con tres parámetros, con los estimadores que se reproducen en la Tabla 3.2. Cabe destacar que de modo similar, el buen ajuste de esta distribución se repitió con los resultados de todas las simulaciones.

Tabla3.2

Ajuste del modelo de Weibull para el escenario $N=10$ y $K=4$

Nombre	Parámetros			
	Forma (α)	Escala (β)	Límite inferior (ξ)	Valor p
Weibull con tres parámetros	2,1345	0,1527	0,0598	0,521

Ahora bien, en el apartado 3.3 de este capítulo, se sugiere que el IVR puede usarse para juzgar estabilidad, si se desarrolla una estrategia similar a las de las pruebas de hipótesis de la estadística. Pero, en ese caso es preciso adoptar lo que puede entenderse como valores críticos del IVR.

Con esa finalidad puede usarse la función invertida del modelo ajustado en la Tabla 3.2, para probabilidades de 0,90 o de 0,95, de modo que en la zona de rechazo quede un 10% o 5% del área posible. Vale la pena recordar que la probabilidad de dicha zona debe ser grande, a fin de reducir la posibilidad de cometer un Error de Tipo II. En ese caso el valor puede obtenerse a partir de la siguiente expresión:

$$x = \xi + (\beta - \xi) \cdot (-\ln(1 - F(x)))^{1/\alpha} \quad (3.7)$$

En cuyo caso, el valor que debería considerarse como crítico, para un 10% de área en la zona de rechazo, es 0,197. Por otra parte, para un 5% de área se tiene 0,215.

Si resulta preferible no utilizar el modelo ajustado, otra posibilidad para adoptar el denominado valor crítico, es trabajar con la curva empírica de frecuencias acumuladas. Para ello deben ordenarse los valores de IVR obtenidos de menor a mayor, asignar número de orden (i) a cada dato y determinar la Frecuencia Relativa Acumulada con la frecuencia experimental de Weibull, según la siguiente expresión:

$$FR(x_i) = i / (L + 1) \quad (3.8)$$

Donde L es la cantidad de realizaciones en el experimento de simulación, en este caso trescientos. Esta modalidad permite obtener la distribución de frecuencias que se reproduce de manera parcial, en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3
Frecuencias relativas acumuladas para los IVR

IVR	i	Fr
.....		
0,1991	270	0,897
0,2000	271	0,900
0,2001	272	0,904
.....		
0,2176	285	0,947
0,2185	286	0,950
0,2206	287	0,953
.....		

Con estos resultados, parece una buena idea el adoptar valores críticos de 0,19 o 0,2, para definir la zona a partir de la cual corresponde rechazar el supuesto de estabilidad. Estos valores por otra parte, son coincidentes con los obtenidos a partir de la expresión (3.7).

Ahora bien, el Indicador IVR cambia sus valores por el efecto de las siguientes fuentes de variación: cantidad de miembros en el grupo de decisores (N) y cantidad de elementos a comparar en el subproblema (K); suma de cuadrados dentro de los grupos (SCD). En consecuencia es importante analizar la sensibilidad de los “valores críticos” ante los cambios en estas propiedades.

En cuanto a la cantidad de integrantes, la Tabla que se presenta a continuación muestra los valores críticos obtenidos en las simulaciones, cuando N aumenta a diez participantes o disminuye a cinco integrantes del grupo.

Como se advierte en la tabla, los valores tienden a aumentar cuando se reduce la cantidad de personas participantes. Más aún, en las simulaciones realizadas para N igual a cinco, se han encontrado algunos valores estadísticamente extraños, con magnitudes de 0,40 o 0,50. Sin embargo, la variación no parece grande y se confirma que adoptar valores críticos de entre 0,2 y 0,23, parece razonable.

Tabla 3.4
Valores críticos para diferentes tamaños de grupo

Integrantes del grupo	Probabilidad acumulada	
	0,90	0,95
5	0,2293	0,2547
10	0,2000	0,2185
15	0,1883	0,2082

En cuanto a la cantidad K de elementos a comparar en un subproblema, tampoco se encontraron grandes variaciones. En efecto, las simulaciones efectuadas para K igual a seis, evidencian escasa sensibilidad del IVR ante los cambios en ese parámetro.

En la Tabla 3.5 se comparan los valores obtenidos para N igual a diez y K igual a cuatro, con los resultantes de la simulación, con el mismo valor de N, pero con K igual a seis y un valor de sigma de 0,04, razonable para esa cantidad de elementos.

Tabla 3.5
Valores críticos para diferentes cantidades de elementos a comparar

Cantidad de elementos a comparar (K)	Probabilidad acumulada	
	0,90	0,95
4	0,2000	0,2185
6	0,1961	0,2181

El tercer argumento que influye sobre el indicador IVR, es la propia suma de cuadrados dentro de los grupos (SCD). Cabe precisar que en las simulaciones realizadas este parámetro fue impuesto al adoptar el desvío estándar con que se generaron los impulsos aleatorios.

El problema en este caso es, por supuesto, que en una aplicación real dicho valor no se puede predecir. Una solución para esta dificultad es acompañar el proceso de análisis de los subproblemas, con simulaciones que permitan proponer valores críticos del IVR a partir de las dispersiones que se obtienen. Sin embargo, esto no ha sido necesario en las aplicaciones realizadas hasta el momento.

3.5 Consideraciones sobre los contenidos de este Capítulo

En este capítulo se presentó la fase de estabilización de los Procesos DRV, parte fundamental de la propuesta, porque es la que permite que los equipos de trabajo logren y establecer acuerdos generales sobre el problema. Esto se consigue porque al analizar uno por uno los subproblemas que integran el problema general de toma de decisiones, los miembros del grupo intercambian opiniones y comparten conocimientos.

Esta fase se integra con dos operaciones que se repiten hasta alcanzar la condición estable: análisis y asignación de utilidades. Para el análisis se trabaja en plenario y pueden usarse métodos simples (diagrama causa efecto, tormenta de ideas, etc), que aseguren la dinámica de trabajo.

Dicha actividad permite acercar posiciones en todos los aspectos relevantes del problema hasta arribar a una condición de estabilidad, donde ya no es imperioso continuar el ejercicio. A fin de evaluar si se ha logrado estabilizar el proceso de análisis, en la segunda operación los integrantes asignan de manera individual, utilidades a los elementos que se comparan. Luego el análisis estadístico de los resultados permite determinar si el proceso puede considerarse estabilizado.

Con ese fin, verificar la estabilidad, se proponen dos criterios: distribución normal en las utilidades asignadas; indicador IVR. Cuando se confirma la condición estable en un determinado subproblema, el grupo debe pasar a otro subproblema, en caso contrario, es preciso retomar el análisis del mismo.

4. Agregación con Ponderación Lineal

En las aplicaciones de procesos DRV pueden reconocerse tres fases: Estabilización; Agregación y Ordenamiento. El Capítulo 3 de esta Tesis, se orientó a mostrar como el grupo de trabajo puede conseguir estabilizar el problema de decisión. Además se planteó que las condiciones de estabilidad son las siguientes: valores del indicador IVR pequeños y distribución de probabilidad Normal en las utilidades asignadas de manera independiente por los integrantes.

En la continuidad de ese planteo, el presente capítulo desarrolla una justificación de por qué se considera que la distribución Normal es una condición de estabilidad. Además se formula un modelo aleatorio multivariado para el proceso global en la fase estable.

Por otra parte, el capítulo explora una interesante posibilidad de agregación mediante la aplicación del método denominado Ponderación Lineal (PL). En efecto, con esa finalidad, se desarrolla una variable aleatoria multidimensional que es capaz de condensar las preferencias globales para cada alternativa y se analizan diferentes propiedades de esta variable.

4.1 Propiedades del estado estable

Al comparar los K elementos de una misma rama o subproblema, en el árbol de decisión, la variabilidad de las utilidades asignadas en forma individual, puede ser representada mediante una variable aleatoria de K dimensiones. Para el estudio de variables de este tipo, es necesario definir dos propiedades: las distribuciones de probabilidad marginales y la matriz de correlaciones cruzadas.

En cuanto a las distribuciones marginales, sea U_k la variable aleatoria que representa la utilidad adjudicada al elemento k , por los miembros del grupo, expresada como utilidad normalizada con la regla de la suma. Por otro lado, sea U_{kn} la asignación realizada por el integrante número n . Si puede suponerse que después de realizada la fase de estabilización, el grupo alcanzó una cierta homogeneidad en sus opiniones, condición a la que se denomina “cohesión” de aquí en más, es razonable pensar que

las variables aleatorias U_{kn} tienen la misma distribución de probabilidad, por lo que se puede hablar de manera genérica de U_k .

Con esta idea, cuando los diferentes integrantes realizan su valoración individual, asignan mayor o menor peso a cada elemento dependiendo de una gran cantidad de condiciones. Dicho de otro modo, al expresar cuánto más importante es el elemento uno que el elemento dos, cada participante es influido por múltiples efectos. Así, asigna un valor un poco más grande o más pequeño según sus percepciones y valores. Además se ponen en juego de este modo, las experiencias previas, la historia personal, las inquietudes e intereses, la subjetividad individual, las competencias adquiridas, por citar algunos.

Cada uno de esos muchos efectos puede ser representado por una variable aleatoria Y_i , con lo cual, si estas variables tienen efectos pequeños, es razonable el supuesto de que la suma de estas variables Y_i que tienen propiedades similares, debe tender a una Distribución Normal. Dicho con mayor formalidad, puede proponerse que:

$$U_k = \sum_{i=1}^L Y_i \quad (4.1)$$

Donde L tiende a infinito y las variables Y_i representan los múltiples efectos que influyen sobre el decisor individual, en el momento de asignar peso al elemento k .

Si todos estos efectos tienen impactos similares, de acuerdo al Teorema del Límite Central de las probabilidades, cuando L tiende a infinito, U_k debe tender a comportarse como una normal: $N(\mu_k, \sigma_k^2)$. Este razonamiento puede considerarse válido para las distribuciones de cada uno de los elementos considerados.

Por otra parte, debido al procedimiento de normalización utilizado, las ponderaciones están linealmente relacionadas por:

$$\sum_{k=1}^K U_k = 1 \quad (4.2)$$

Ahora bien, si el equipo tiene cohesión, es razonable descomponer las opiniones de los integrantes del grupo respecto al elemento k , del siguiente modo:

$$U_k = \mu_k + \varepsilon_{kn} \quad (4.3)$$

Donde μ_k es la media del elemento k, en tanto que ε_{kn} , es una variable aleatoria con media cero que representa la desviación de la utilidad asignada por el individuo n respecto a la media del grupo en el elemento k. A partir de la expresión (4.2), se deduce que:

$$\sum_{k=1}^K \mu_k = 1 \quad \text{y además} \quad \sum_{k=1}^K \varepsilon_{kn} = 0 \quad (4.4)$$

Pero entonces:

$$\varepsilon_{mn} = -\sum_{k=1}^K \varepsilon_{kn} \quad \text{para todo } k \neq m \quad (4.5)$$

Por lo tanto, si el individuo n presenta una desviación en más, este alejamiento se compensa con desviaciones en menos en todos o algunos de los elementos restantes.

Por otra parte, las relaciones anteriores son determinantes de la matriz de correlaciones cruzadas entre las variables aleatorias U_k . Al respecto, puede considerarse que la intensidad de las correlaciones decrece con la cantidad de elementos que se comparan entre sí.

Más formalmente, sea ρ_{sr} la correlación entre dos elementos cualesquiera s y r. Conforme a la expresión (4.5), esta correlación es siempre negativa. En el caso que sean dos los elementos comparados se tiene que $\rho_{sr} = (-1)$, en tanto que $\rho_{sr} > (-1)$ cuando $K > 2$.

Además se puede plantear en forma genérica que:

$$\rho_{sr} \rightarrow 0 \quad \text{cuando} \quad K \rightarrow \infty \quad (4.6)$$

Es decir que las utilidades estandarizadas, asignadas por los integrantes de un grupo que ha logrado estabilizar el proceso de análisis de un subproblema y que adicionalmente evidencia cohesión en torno al mismo, pueden representarse con una variable aleatoria multidimensional que tiene distribuciones marginales normales y coeficientes de correlación que tienden a cero a medida que aumenta la cantidad de elementos comparados.

Ahora bien, puede suceder que el equipo de trabajo haya logrado reducir la variabilidad hasta alcanzar la condición de estabilidad en el sentido definido anteriormente, pero que no se encuentre en un estado de cohesión. Esto es, que después del análisis subsistan posturas irreconciliables entre dos o más grupos de personas. En dicha situación, la representación requiere de al menos dos distribuciones normales.

En resumen, cuando el equipo de trabajo alcanza la condición de estabilidad, la estructura de preferencias cuantificada con una función de utilidad cardinal estandarizada mediante la regla de la suma, respecto a los elementos que componen una misma rama del problema de decisión, debe verificar las siguientes condiciones:

- I. Las utilidades toman valores dentro de un conjunto infinito y acotado de números reales. Por ese motivo, no es factible que dos individuos coincidan exactamente en su preferencia.
- II. Si los individuos han logrado compatibilizar sus preferencias y homogeneizar sus opiniones, las utilidades deben concentrarse de un modo que puede ser representado por la distribución normal.
- III. Si en el equipo subsisten dos o más subgrupos con valores muy diferentes, la representación de las preferencias del conjunto requiere de tantas normales como subgrupos haya.

4.2 Modelo Aleatorio Multivariado para las Valoraciones Globales

En el presente apartado se analiza un modelo que permite representar situaciones donde el grupo ha conseguido estabilizar todos los subproblemas y evidencia cohesión en los mismos. En ese caso, puede pensarse en el proceso completo como un arreglo de variables aleatorias multidimensionales, con distribuciones marginales normales para cada criterio y para cada alternativa respecto de cada criterio. La situación se esquematiza en la Figura 4.1.

A fin de establecer la notación necesaria, se define lo siguiente:

- w_{jn} : ponderación asignada al criterio j por el individuo n . Puede ser considerada como una realización de una variable aleatoria normal W_j , con media μ_{W_j} y varianza $\sigma_{W_j}^2$.

- u_{ijn} : utilidad estandarizada asignada por el individuo n al elemento o alternativa i bajo el criterio j . Es una observación realizada sobre la variable aleatoria U_{ij} , que tiene distribución normal con media $\mu_{U_{ij}}$ y varianza $\sigma_{U_{ij}}^2$.

Corresponde aclarar que el rango de variación de los subíndices es el siguiente:

i : identifica a la alternativa	$1 \leq i \leq I$
j : identifica al criterio	$1 \leq j \leq J$
n : identifica al integrante del grupo	$1 \leq n \leq N$

Luego, la variable aleatoria (W_j, U_{ij}) , tiene distribución Normal Bidimensional. En cuanto a sus propiedades, cabe recordar que los supuestos básicos de la decisión multicriterio llevan a pensar que la asignación de utilidades efectuadas respecto al criterio j , ha sido realizada de manera prescindente de la ponderación efectivamente recibida por dicho criterio. Con este razonamiento, las variables deben ser independientes entre si y el coeficiente de correlación entre W_j y U_{ij} , debe valer cero.

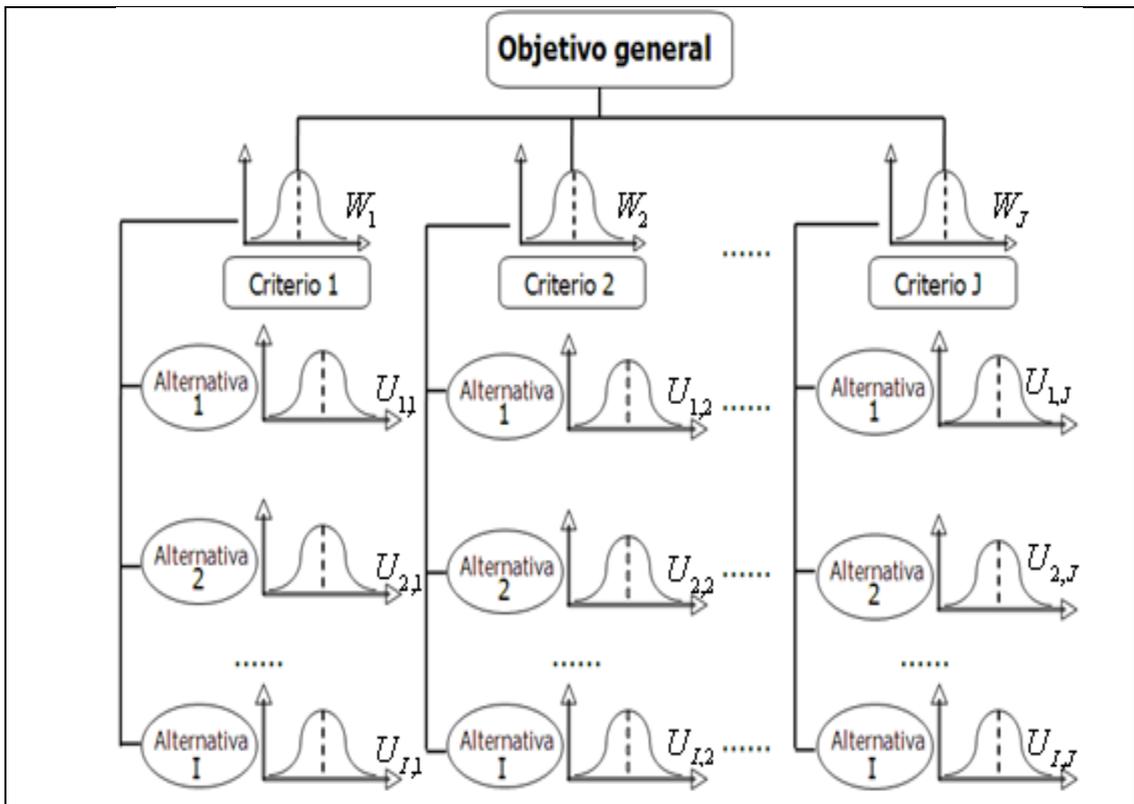


Figura 4.1 Distribuciones normales en el árbol de decisión

Entonces la expresión de la función de densidad conjunta de esta distribución Normal bidimensional es:

$$f_{\mathbf{W}_j, \mathbf{U}_{ij}}(\mathbf{w}_{jn}, \mathbf{u}_{ijn}) = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sigma_{\mathbf{W}_j} \sigma_{\mathbf{U}_{ij}}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\mathbf{w}_{jn} - \mu_{\mathbf{W}_j}}{\sigma_{\mathbf{W}_j}} \right)^2} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\mathbf{u}_{ijn} - \mu_{\mathbf{U}_{ij}}}{\sigma_{\mathbf{U}_{ij}}} \right)^2} \quad (4.7)$$

Ahora bien, el aporte parcial al peso que cada individuo asigna a la alternativa i , con cada criterio, puede obtenerse como el producto de las dos cantidades anteriores. Es posible definir entonces una variable aleatoria unidimensional \mathbf{Z}_{ij} , que represente las asignaciones parciales, con la siguiente expresión:

$$\mathbf{Z}_{ij} = \mathbf{W}_j * \mathbf{U}_{ij} \quad (4.8)$$

La suma de estas contribuciones parciales, permite obtener el valor global de cada alternativa, mediante la sumatoria de la expresión (4.9).

$$\mathbf{V}_i = \sum_{j=1}^J \mathbf{W}_j * \mathbf{U}_{ij} = \sum_{j=1}^J \mathbf{Z}_{ij} \quad (4.9)$$

Ahora bien, la identificación de una distribución de probabilidad para la variable aleatoria unidimensional \mathbf{Z}_{ij} , requiere un análisis más cuidadoso. En principio, la operación que es preciso realizar para obtener su distribución acumulada, se presenta en la expresión (4.10).

$$\mathbf{F}(\mathbf{z}) = \mathbf{P}(\mathbf{W}_j * \mathbf{U}_{ij} < \mathbf{z}) = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sigma_{\mathbf{W}_j} \sigma_{\mathbf{U}_{ij}}} \iint_{(w,u) \in \{\mathbf{W}_j * \mathbf{U}_{ij} < \mathbf{z}\}} e^{-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{u_{ij} - \mu_{\mathbf{U}_{ij}}}{\sigma_{\mathbf{U}_{ij}}} \right)^2 + \left(\frac{w_j - \mu_{\mathbf{W}_j}}{\sigma_{\mathbf{W}_j}} \right)^2 \right]} dw du \quad (4.10)$$

Donde $\mathbf{F}(\mathbf{z})$ es precisamente la Función de Distribución de Probabilidad Acumulada. Por otra parte, la integral debe realizarse sobre la región donde el producto de las dos variables consideradas, resulta ser menor que \mathbf{z} .

Pero, surge un problema debido a que dicha expresión es una función de tipo gaussiano y no tiene primitiva, por lo que resulta imposible efectuar la integración necesaria de manera analítica. Por ese motivo y a los efectos de este trabajo, se

aplicaron diferentes estrategias de análisis a fin de conocer las propiedades de esa distribución.

4.3 Análisis de la Distribución de Probabilidades de Z_{ij}

Para estudiar la Distribución de la variable aleatoria unidimensional Z_{ij} , es conveniente simplificar la notación de la expresión 4.10. En forma genérica, se adoptan dos variables aleatorias a las cuales se denomina como X e Y , independientes entre sí, con funciones de densidad: f_x y f_y .

Luego, la función de densidad conjunta de la variable aleatoria bidimensional resulta ser: $f_{XY} = f_x f_y$. Con lo cual, cuando estas variables son normales, deben responder a la siguiente función de densidad de probabilidad representada en la expresión (4.11), equivalente a la (4.7).

$$f_{XY}(x,y) = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sigma_x \sigma_y} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \right)^2 + \left(\frac{y - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \right\} \quad (4.11)$$

Ahora sea $Z = XY$, una variable aleatoria derivada de las anteriores. Entonces, de acuerdo al planteo de Papoulis, A. y Pillai S. (2002), se tiene que:

$$F(Z) = P[Z \leq z] = P[(X * Y) \leq z] = P[(x,y) \in D_z] \quad (4.12)$$

D_z en el plano (X,Y) , representa la región donde se satisface la desigualdad $X * Y \leq z$. Dicha región tiene una forma como la que se muestra en la Figura 4.2.

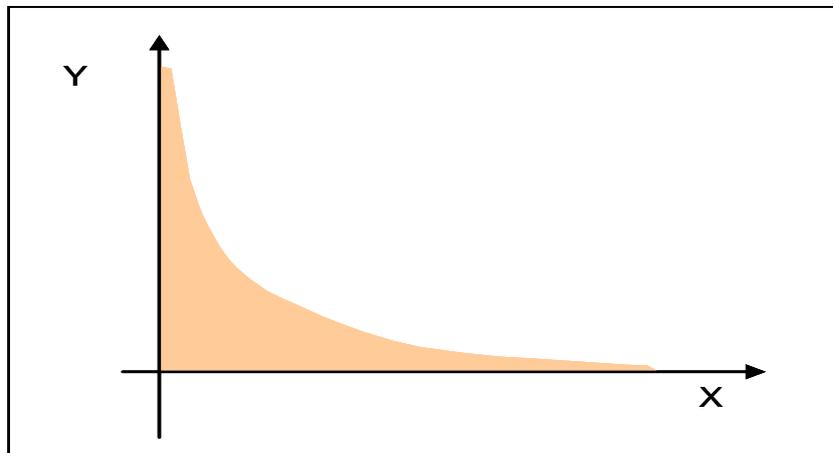


Figura 4.2 Región de integración D_z

Entonces la probabilidad acumulada debe obtenerse integrando sobre dicha región, del siguiente modo:

$$F(Z) = \iint_{(x,y) \in D_z} f_{XY}(x,y) dx dy \quad (4.13)$$

Para resolver la integral, conforme a Papoulis, A. y Pillai S. (2002), puede aplicarse la transformación $T = X$, con lo cual $Y = \frac{Z}{T}$. Luego, la función de densidad conjunta se reproduce en la Expresión (4.14).

$$f_{Z,T}(z,t) = \frac{1}{|t|} f_{X,Y}\left(t, \frac{z}{t}\right) \quad (4.14)$$

En consecuencia, la función de densidad de Z se puede obtener mediante la integral sobre t, de la Expresión (4.14). Esto se refleja en (4.15).

$$f_z(z) = \int \frac{1}{|t|} f_{X,Y}\left(t, \frac{z}{t}\right) dt \quad (4.15)$$

Si ahora se retoma el problema original y se expresa (4.15), en términos de las variables aleatorias originales, los pesos de los criterios W_j , y las utilidades asignadas a las alternativas bajo cada criterio U_{ij} , se tiene una formulación equivalente a la integral anterior.

$$f_z(z_{i,j}) = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sigma_{W_j} \sigma_{U_{i,j}}} \int \frac{1}{W_j} e^{-\frac{1}{2} \left[\left(\frac{z_{i,j} - \mu_{U_{i,j}}}{\sigma_{U_{i,j}}} \right)^2 + \left(\frac{w_j - \mu_{W_j}}{\sigma_{W_j}} \right)^2 \right]} dw_j \quad (4.16)$$

Debe notarse que los pesos de los criterios se encuentran definidos entre cero y uno, o sea que son positivos o nulos, entonces es posible prescindir del valor absoluto de la expresión (4.15).

Es decir, para obtener la función de densidad de probabilidad de la variable Z, es necesario integrar sobre el criterio W_j . Lamentablemente esta integral no tiene solución analítica, porque en su formulación se tiene una forma gaussiana, la cual no tiene primitiva.

Por otro lado, la forma obtenida no corresponde a una Distribución Normal, debido a la inclusión de la inversa de los pesos W_j . Para destacar esta cuestión, en la siguiente tabla se compara la estructura de la expresión resultante, con la forma básica de la Distribución Normal.

Integral obtenida	Forma básica de la Normal
$\int \frac{1}{w} \exp\left(-\frac{1}{2}t^2\right) dw$	$\int \exp\left(-\frac{1}{2}t^2\right) dw$

Corresponde aclarar que en la tabla anterior, se asume que t es función de w .

Frente a este inconveniente, es preciso explorar de manera indirecta cuáles son las propiedades de esta Distribución. Por ese motivo, en los siguientes apartados se analiza la cuestión por dos caminos diferentes; por un lado se estudian los momentos de la Distribución de Z ; por el otro, se realizan experimentos de simulación para aproximar la forma de la misma. Finalmente se realiza una discusión de los resultados obtenidos en este análisis.

4.3.1 Análisis de los momentos de la Distribución de Z_{ij}

Los momentos de una Distribución de Probabilidad son relevantes porque permiten caracterizar a dicha función. Cabe destacar que en la concepción habitual de la Estadística, en general no es imprescindible conocer la verdadera distribución de una variable aleatoria. En cambio, buena parte de las aplicaciones posibles requieren la aproximación de los primeros momentos (Mood & Graybill, 1974).

Habitualmente se trabaja con dos tipos de medidas, momentos al origen y momentos centrados. Los momentos al origen de una variable aleatoria continua X , se definen conforme a la expresión (4.17), donde r es el orden de dicho momento.

$$\mu O_X^{(r)} = E[X^r] = \int x^r f_X(x) dx \quad (4.17)$$

Por su parte, los momentos centrados se definen del siguiente modo.

$$\mu C_X^{(r)} = E[(x - \mu)^r] = \int (x - \mu)^r f_X(x) dx \quad (4.18)$$

Cabe consignar que en aplicaciones de estadística, los dos primeros momentos tienen una gran importancia, en tanto que es menor la utilidad de los de orden superior (Mood & Graybill, 1974) (Navidi, 2006). De todos modos, en este apartado se determinan y analizan los cuatro primeros momentos de la distribución de la variable Z_{ij} , tanto al origen como centrados.

Ahora bien, como se hizo en el apartado anterior, para simplificar la notación se opera con dos variables aleatorias X e Y , independientes entre sí. Dado que la función Z corresponde al producto de estas variables, es posible plantear que la Función de Densidad Conjunta es separable: $f_{XY} = f_X f_Y$. En esas condiciones, los momentos al origen de Z pueden determinarse con la expresión: (4.19).

$$\mu_{O_Z}^{(r)} = E[X^r Y^r] = \iint x^r y^r f_X(x) f_Y(y) dx dy \quad (4.19)$$

El mismo momento, puede reescribirse como producto de integrales.

$$\mu_{O_Z}^{(r)} = E[Z^r] = \int x^r f_X(x) dx \int y^r f_Y(y) dy = \mu_{O_X}^{(r)} \mu_{O_Y}^{(r)} \quad (4.20)$$

Es decir, el momento al origen de orden r de la variable aleatoria unidimensional Z , puede determinarse como producto de los momentos al origen de orden r , de las variables X e Y .

Por esta vía, es posible calcular de manera explícita los primeros momentos de Z . Por ejemplo, la media se encuentra determinada como el producto de las medias de las variables multiplicadas.

$$\mu_Z = \mu_X \mu_Y \quad (4.21)$$

Por otro lado, la varianza de la variable X puede ser obtenida como:

$$\sigma_X^2 = \text{Var}(X) = E[(X - \mu_X)^2] = E[X^2] - \mu_X^2 \quad (4.22)$$

Con lo cual, el momento de segundo orden al origen de la variable X , resulta ser:

$$\mu_{O_X}^{(2)} = \sigma_X^2 + \mu_X^2 \quad (4.23)$$

Utilizando de manera combinada, las expresiones (4.22) y (4.23), es posible determinar el momento al origen de segundo orden de Z, con la expresión (4.24).

$$\mu\mathcal{O}_Z^{(2)} = (\sigma_X^2 + \mu_X^2)(\sigma_Y^2 + \mu_Y^2) \quad (4.24)$$

En cuanto a los momentos de tercer orden, aquellos que determinan el sesgo de la función de densidad de probabilidad, el momento centrado de orden tres de la variable aleatoria X, puede expresarse como: (4.25)

$$\mu\mathcal{C}_X^{(3)} = E[(X - \mu)^3] = E(X^3 - 3X^2\mu_X + 3X\mu_X^2 - \mu_X^3)$$

Por propiedades del valor esperado, se deduce (4.26).

$$\mu\mathcal{C}_X^{(3)} = \mu\mathcal{O}_X^{(3)} - 3\mu\mathcal{O}_X^{(2)}\mu_X + 3\mu_X\mu_X^2 - \mu_X^3 \quad (4.26)$$

Ahora bien, tanto las variables X como la Y, tienen Distribución Normal en el estado estable del proceso de toma de decisiones, por lo que sus momentos centrados de tercer orden son nulos. Esta propiedad permite obtener una expresión de cálculo para el momento al origen de orden tres, para las variables independientes X e Y.

$$\mu\mathcal{O}_X^{(3)} = 3\mu\mathcal{O}_X^{(2)}\mu_X - 2\mu_X^3 \quad (4.27)$$

Con lo cual, el momento al origen de tercer orden de Z, puede obtenerse mediante la siguiente operación:

$$\mu\mathcal{O}_Z^{(3)} = (3\mu\mathcal{O}_X^{(2)}\mu_X - 2\mu_X^3)(3\mu\mathcal{O}_Y^{(2)}\mu_Y - 2\mu_Y^3) \quad (4.28)$$

Ahora, si se introducen los resultados de (4.24) y (4.28), en la expresión general de (4.26), después de varios pasos de tipo algebraico, se tiene:

$$\mu\mathcal{C}_Z^{(3)} = E[(Z - \mu_Z)^3] = 6\mu_X\mu_Y\sigma_X^2\sigma_Y^2 \quad (4.29)$$

El momento centrado de tercer orden, obtenido en la expresión anterior, generalmente se estandariza al dividir por el desvío elevado al cubo. De este modo se obtiene un indicador muy utilizado para caracterizar el sesgo de una Distribución, se trata del denominado Coeficiente de Asimetría.

$$Ca_Z = \frac{\mu\mathcal{C}_Z^{(3)}}{\sigma_Z^3} \quad (4.30)$$

El análisis de la expresión (4.29), permite evidenciar que los momentos centrados de tercer orden de Z, deben ser siempre cercanos a cero. Con esa lógica, también los Coeficientes de Asimetría tienen esa característica.

Un razonamiento similar permite determinar los momentos de cuarto orden, los que determinan el empuntamiento de la distribución de probabilidad. En efecto, el momento centrado de orden cuatro de la variable aleatoria X, puede expresarse como:

$$\mu C_X^{(4)} = E[(X - \mu)^4] = E(X^4 - 4X^3\mu_X + 6X^2\mu_X^2 - 3\mu_X^4) \quad (4.31)$$

Ahora bien, una propiedad de la Distribución Normal es que su momento centrado de cuarto orden, es igual a tres veces el desvío estándar elevado al cubo. Esto es: $\mu C_X^{(4)} = 3\sigma_X^4$. De este modo, aplicando propiedades del valor esperado se encuentra que:

$$\mu O_X^{(4)} - 4\mu O_X^{(3)}\mu_X + 6\mu O_X^{(2)}\mu_X^2 - 3\mu_X^4 = 3\sigma_X^4 \quad (4.32)$$

De este modo, es inmediata la obtención de una expresión que permite obtener el momento al origen de cuarto orden de cada una de las variables independientes. En este caso, para X se tiene:

$$\mu O_X^{(4)} = 4\mu O_X^{(3)}\mu_X - 6\mu O_X^{(2)}\mu_X^2 + 3\mu_X^4 + 3\sigma_X^4 \quad (4.33)$$

Con lo cual, el momento al origen de cuarto orden de Z, puede obtenerse mediante la siguiente operación:

$$\mu O_Z^{(4)} = \mu O_X^{(4)}\mu O_Y^{(4)} \quad (4.34)$$

A partir de allí, el momento centrado de cuarto orden de Z, se puede determinar mediante la expresión (4.35).

$$\mu C_Z^{(4)} = \mu O_Z^{(4)} - 4\mu O_Z^{(3)}\mu_Z + 6\mu O_Z^{(2)}\mu_Z^2 - 3\mu_Z^4 \quad (4.35)$$

El momento centrado de cuarto orden, se estandariza habitualmente elevando a la cuarta el desvío estándar. El indicador así obtenido se denomina Coeficiente de Curtosis de Z, el cual se obtiene haciendo:

$$Cc_z = \frac{\mu C_z^{(4)}}{\sigma_z^4} \quad (4.36)$$

Para facilitar la valoración y discusión de estos resultados, es conveniente analizar los valores de los Coeficientes de Asimetría y de Kurtosis, para distintas combinaciones de media y desvío en las variables X e Y. En efecto, la Tabla 4.1 refleja los valores de estos coeficientes.

Tabla 4.1

Valores de Ca y Cc, para diferentes propiedades en las variables X e Y

X		Y		Z			
Media	Desvío	Media	Desvío	Media	Desvío	Ca	Cc
0,5	0,05	0,5	0,05	0,25	0,035	0,211	3,060
0,5	0,05	0,4	0,05	0,2	0,032	0,226	3,070
0,5	0,05	0,2	0,05	0,1	0,027	0,190	3,102
0,5	0,07	0,2	0,03	0,1	0,021	0,228	3,124
0,3	0,04	0,3	0,04	0,09	0,017	0,300	3,105

Los valores de asimetría y curtosis de la Distribución de la variable aleatoria Z, ayudan a comprender las propiedades de esa función. Lo que se advierte en la Tabla anterior es que:

- La Distribución de Z tiene una asimetría levemente positiva. Es importante precisar que sus magnitudes no resultan muy alejadas de las típicas para una Normal.
- La Distribución de Z tiene una kurtosis apenas superior a tres, que es el valor típico de la Normal. Es decir, es un poco más empuntada que la distribución gaussiana. Sin embargo, la diferencia parece despreciable ante la elevada variación que naturalmente tiene el coeficiente Cc.

4.3.2 Análisis de la Distribución de Probabilidades de Z_{ij} , mediante experimentos de simulación.

Un modo adicional de estudiar la Distribución de Probabilidad es generar aleatoriamente variables normales, hacer el producto de las mismas y estudiar el comportamiento de los resultados. Para experimentar con esta posibilidad, se generaron seis muestras de cien valores, con media 0,5 y desvío 0,08. Se utilizó la

planilla de cálculo Excel (los datos se consignan en el Anexo 3). Las series generadas por este procedimiento, se procesaron con la herramienta Infostat, programa estadístico desarrollado en la Universidad Nacional de Córdoba.

Medidas resumen						
Variable	n	Media	D.E.	Mediana	Asimetría	Kurtosis
Producto 1	100	0,25	0,06	0,25	0,39	3,68
Producto 2	100	0,25	0,05	0,25	0,18	2,70
Producto 3	100	0,24	0,05	0,24	0,36	3,34
Producto 4	100	0,25	0,06	0,25	0,35	3,20
Producto 5	100	0,25	0,06	0,25	-0,01	2,48
Producto 6	100	0,25	0,06	0,25	0,34	3,17

Tabla 4.2 Estadísticos muestrales de los datos generados

Los resultados de la Tabla de estadísticos confirman, por supuesto, las deducciones del apartado 3.3.1; o sea, tendencia a una asimetría levemente positiva y a una kurtosis cercana a tres. Por otro lado, promedio y mediana son similares, en tanto que el desvío es muy inferior a los valores centrales. Esto es, desde el punto de vista de los momentos muestrales, los resultados son semejantes a los que se obtienen cuando las distribuciones analizadas son normales.

Otra posibilidad interesante es el uso de representaciones gráficas para analizar las distribuciones de frecuencia. Con esa finalidad, se reproducen a continuación como ejemplo, los diagramas obtenidos con la cuarta muestra, la que se denomina Producto 4.

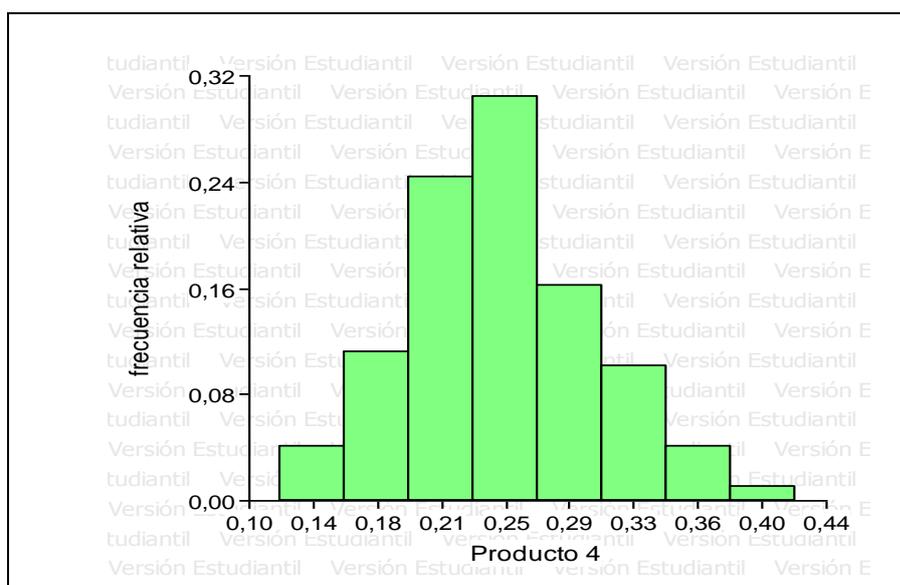


Figura 4.3 Histograma de Producto 4

Por otro lado, una posibilidad interesante es construir el Polígono de Frecuencias acumuladas de esa muestra. Dicho polígono se reproduce en la Figura 4.4.

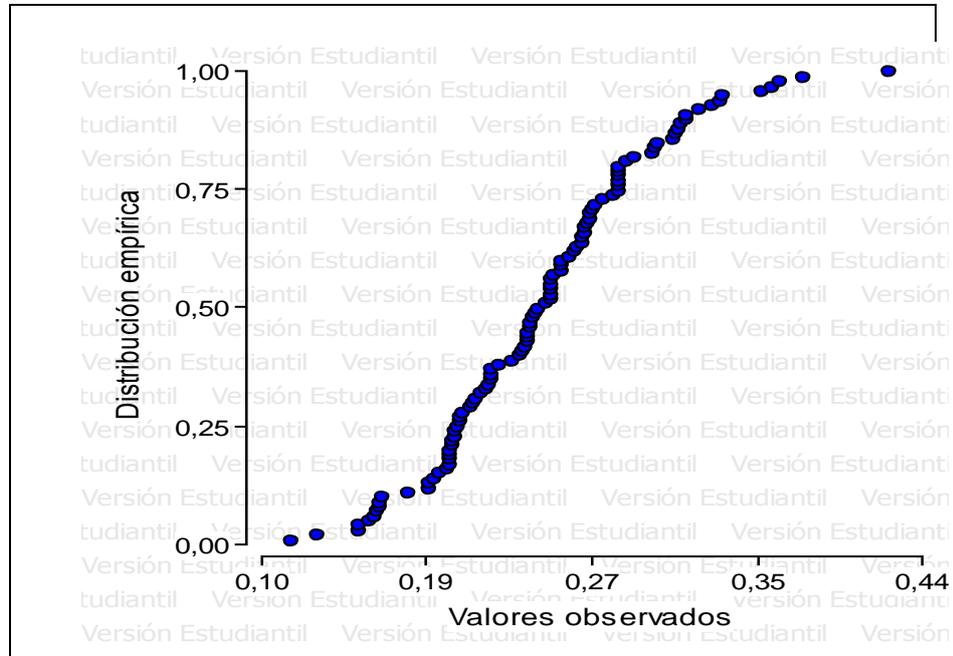


Figura 4.4 Polígono de Frecuencias Acumuladas de Producto 4

También resulta apropiado estudiar alguna representación del Gráfico de Probabilidades Normales. En ese particular, el Software Infostat permite construir el diagrama denominado Q-Q Plot, el cual se reproduce a continuación.

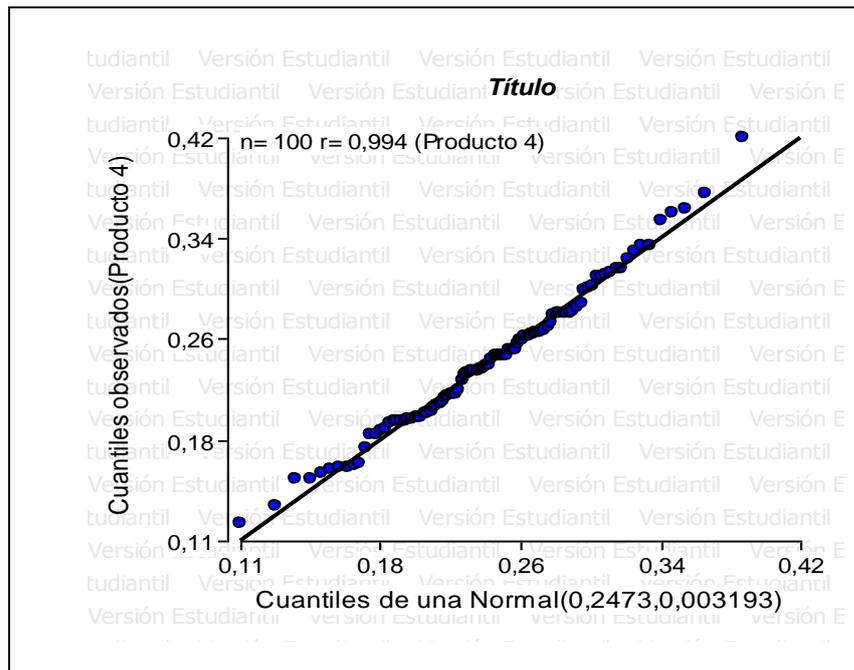


Figura 4.5 Gráfico de Probabilidades Normales de Producto 4

Las Figuras anteriores confirman que la Distribución de los productos Z_{ij} , desde el punto de vista de los estadísticos muestrales, tiene un comportamiento similar al típico de la Distribución Normal. Al respecto, el gráfico que mejor evidencia las discrepancias con el comportamiento gaussiano es el Q-Q Plot de la Figura 4.5. Sin embargo, los puntos de ese diagrama muestran una coincidencia general con la recta; de hecho, los alejamientos se hacen notorios solo en las colas de la distribución.

Las Figuras anteriores confirman que la Distribución de los productos Z_{ij} , desde el punto de vista de los estadísticos muestrales, tiene un comportamiento similar al típico de la Normal. Otra posibilidad interesante es analizar esta similitud, mediante la aplicación de pruebas de hipótesis adecuadas.

Al respecto, en Romão X, Delgado R & Costa A (2010), se contrastan empíricamente treinta y tres pruebas diseñadas para verificar normalidad y se considera como elemento de contraste, a las potencias de estas herramientas. Cabe recordar que se denomina potencia, a la capacidad de las pruebas estadísticas, para detectar hipótesis que son falsas.

El artículo de referencia clasifica las pruebas analizadas según la estrategia utilizada para el contraste y de ese modo reconoce las siguientes categorías: Pruebas basadas en la Distribución Empírica; Pruebas basadas en los momentos; Pruebas basadas en regresión y correlación y finalmente, otras pruebas. La conclusión es que las pruebas del tercer grupo parecen en general, más potentes que las otras. Dentro de este conjunto, se destaca por sus buenos resultados, la prueba de Shapiro-Wilks y sus diferentes correcciones.

Por ese motivo, se aplicó a las muestras generadas aleatoriamente, la corrección de la prueba mencionada que ofrece el software Infostat. En este caso, se prueba la hipótesis de que los datos muestrales han sido extraídos de una población Normal, con media y desvío estimados a partir de la muestra. Los resultados se resumen en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3

Resultados obtenidos en las pruebas de normalidad

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(unilateral D)
Producto 1	100	0,25	0,06	0,98	0,4479
Producto 2	100	0,25	0,05	0,98	0,38
Producto 3	100	0,24	0,05	0,98	0,6614

Producto 4	100	0,25	0,06	0,98	0,722
Producto 5	100	0,25	0,06	0,98	0,4121
Producto 6	100	0,25	0,06	0,98	0,774

El valor p o probabilidad unilateral de estadístico, que se consigna en la última columna de la Tabla anterior, puede entenderse como la probabilidad de que la hipótesis analizada sea correcta. Cabe destacar que en ninguno de los intentos realizados se rechaza el supuesto de normalidad, es decir, la prueba no puede detectar la diferencia de la Distribución de Z_{ij} con la distribución de Gauss.

Es decir, la distribución del producto de dos normales no es normal, pero su comportamiento es similar al típico en las distribuciones gaussianas. Incluso los Tests de normalidad más exigentes, no detectan las diferencias empíricas, por lo menos cuando la media de los productos se encuentra lejos de cero.

Un resultado con ciertas diferencias se obtiene cuando el producto tiene media cercana a cero. Esto es inevitable, dado que las variables con las que se opera se encuentran definidas en el intervalo que va desde cero hasta uno, en tanto que la Normal toma valores en todo el rango de los números reales.

Para experimentar con esta posibilidad, nuevamente se generaron seis muestras de cien valores con el software Excel. La primera variable generada tiene media 0,5 y desvío 0,08, en tanto que la segunda tiene media 0,2 y desvío 0,06. También en este caso, con la finalidad de permitir cualquier verificación posterior, los datos se consignan en el Anexo 3.

Para esta simulación, la siguiente Tabla reproduce los principales estadísticos.

Tabla 4.4

Estadísticos muestrales del segundo conjunto de muestras generadas

Variable	n	Media	D.E.	Mediana	Asimetría	Kurtosis
Producto 7	100	0,1	0,03	0,1	0,32	2,82
Producto 8	100	0,1	0,04	0,1	0,39	2,94
Producto 9	100	0,1	0,03	0,09	0,16	2,5
Producto 10	100	0,1	0,03	0,1	0,17	2,79
Producto 11	100	0,1	0,04	0,1	0,7	3,3
Producto 12	100	0,1	0,04	0,09	0,42	2,94

Como se ve, desde el punto de vista de los momentos muestrales, los resultados son similares a los que se obtienen cuando la población analizada es normal. Por otro

lado, en la siguiente Tabla se reproducen los resultados de la prueba modificada de Shapiro – Wilks.

Tabla 4.5

Resultados obtenidos en pruebas de normalidad, para el segundo grupo de datos

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(unilateral D)
Producto 7	100	0,1	0,03	0,97	0,3594
Producto 8	100	0,1	0,04	0,98	0,3665
Producto 9	100	0,1	0,03	0,98	0,4581
Producto 10	100	0,1	0,03	0,97	0,2272
Producto 11	100	0,1	0,04	0,95	0,005
Producto 12	100	0,1	0,04	0,97	0,1253

En este caso se detecta alguna diferencia, dado que para la muestra número once el supuesto de normalidad es rechazado. Sin embargo, en las muestras restantes el test de normalidad concluye que no se rechaza la hipótesis.

4.3.3 Discusión sobre la Distribución de Z_{ij}

El cálculo de las preferencias globales de cada alternativa, mediante el método denominado Ponderación Lineal, requiere la realización de productos entre parejas de variables aleatorias normales. Por ese motivo, el presente apartado se orienta al análisis de la Distribución de Probabilidad de estos productos.

Lamentablemente, no es posible arribar a una expresión analítica para dicha distribución, debido a la presencia de la formulación gaussiana en la integral (4.16). Ante esa dificultad, se analizaron las propiedades de la distribución de los Z_{ij} , mediante la determinación de los momentos y mediante experimentos de simulación.

El estudio de los cuatro primeros momentos permite determinar que la distribución de los productos es levemente asimétrica y que tiene una kurtosis cercana a tres. Esto es, la variable producto tiene desde este punto de vista, un comportamiento similar al de la Distribución Normal.

Un resultado similar se obtiene con los experimentos de simulación. En efecto, cuando la media del producto se aleja de cero, no parece factible distinguir diferencias entre la Distribución de los Z_{ij} y la gaussiana. De hecho, en múltiples experiencias de

verificación de normalidad con una prueba de hipótesis potente, no se obtuvieron rechazos a ese supuesto.

En cambio, las diferencias se tornan más evidentes cuando la media del producto se acerca a cero. En este caso, de los seis experimentos realizados, en uno se rechaza el supuesto de normalidad para el producto. Sin embargo, es razonable esperar que la Normal no obtenga excelentes resultados en las cercanías del cero, porque las variables producto no pueden tomar valores negativos.

Ahora bien, es importante destacar que la imposibilidad de conocer exactamente la Distribución de los Z_{ij} , no parece constituir un problema grave para la formulación de los Procesos DRV, debido a que no genera impedimentos significativos para los mismos. Esta afirmación se justifica en la siguiente sección.

4.4 Distribuciones de Probabilidad para las Valoraciones Globales

Para procesos estables donde se alcanzó un buen nivel de cohesión, la ponderación global de una genérica alternativa i , puede expresarse como se planteó en la expresión

$$(4.9), \text{ haciendo: } \mathbf{V}_i = \sum_{j=1}^J \mathbf{W}_j * \mathbf{U}_{ij} = \sum_{j=1}^J \mathbf{Z}_{ij}$$

En la expresión anterior, \mathbf{V}_i es la variable aleatoria que refleja las valoraciones individuales efectuadas sobre la alternativa i , por los integrantes del equipo de trabajo. Respecto a la distribución de esta variable, en el apartado anterior se analizó la Distribución de los productos Z_{ij} y se encontró que no puede determinarse de modo exacto. De todos modos, sus primeros momentos la hacen similar a la Normal, a tal punto que para valores de media (μ_z) alejados de cero, los test de normalidad no pueden distinguir la diferencia.

Por otro lado, los valores globales de las alternativas V_i , se obtienen como suma de varios productos anteriores. Esta forma de cálculo hace que dichas variables tiendan a comportarse como normales.

Ante ese tipo de evidencias, en la continuidad de este trabajo se adopta el supuesto de que las variables aleatorias que representan a las valoraciones globales de las alternativas analizadas (V_i), tienen Distribución de Probabilidad Normal. La factibilidad

de adoptar esta suposición, se apoya en los razonamientos que se exponen a continuación.

- a) El método Procesos DRV, procura valorar globalmente las alternativas del proceso de toma de decisiones, es decir, obtener muestras para las variables denominadas V_i en la expresión (4.37).

$$V_i = Z_{i1} + Z_{i2} + \dots + Z_{ij} \quad (4.37)$$

O sea que estas valoraciones se obtienen como suma de varios productos $Z_{i,j}$. Por otro lado, en un problema de decisión multicriterio discreta, generalmente se identifican al menos cinco o seis criterios diferentes.

Entonces las valoraciones globales se obtienen como suma de varias variables que son aproximadamente simétricas y con un comportamiento similar al gaussiano. En esas condiciones, una propiedad fundamental del cálculo de probabilidades, el Teorema del Límite Central, explica que cuando las variables son aproximadamente simétricas, este tipo de sumas tiende con unos pocos términos a ser Normal (Navidi, 2006).

Como evidencia empírica de esta propiedad, puede analizarse el resultado de la suma de las variables denominadas Producto 7 a Producto 12. Se recuerda que el Producto 11 mostró una asimetría elevada y que la prueba de Shapiro – Wilks, rechazó el supuesto de normalidad. En este caso, la Suma tiene propiedades diferentes, según se evidencia en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6
Propiedades estadísticas de la suma de Productos 7 a 12

Variable	n	Media	D.E.	CV	Mediana	Asimetría	Kurtosis
Suma P7 a P12	100	0,6	0,08	13,51	0,6	-0,23	0,55

Con la misma idea, se realiza la prueba de hipótesis de normalidad para la variable suma. En este caso se obtiene un valor p de 0,84, el que sin dudas es particularmente elevado.

Tabla 4.7*Pruebas de normalidad para la suma de Productos 7 a 12*

Variable	n	Media	D.E.	W*	P(unilateral D)
Suma P7 a P12	100	0,6	0,08	0,99	0,8433

Es decir, aún cuando las variables producto no sean normales, son aproximadamente simétricas, por lo que la suma de estos productos tiende a comportarse como una Normal. Precisamente, es la suma la que determina el valor global de cada una de las alternativas consideradas.

- b) En un problema multicriterio discreto de toma de decisiones, generalmente es importante distinguir entre las alternativas que tienen mayor nivel de preferencia, esto es, aquellas para las cuales las medias de las utilidades globales toman valores alejados de cero. En esas condiciones, como se planteó en el apartado anterior, la normalidad se verifica.
- c) La adopción de una Distribución de Probabilidad que permita representar el comportamiento de las variables aleatorias V_i , no es imprescindible para el funcionamiento del método propuesto: Procesos DRV. En efecto, sucede que para ordenar las alternativas, de la mayor a la menor preferencia, el método no requiere una utilización directa de la función de probabilidad.

En realidad, el procedimiento utilizado por los DRV, trabaja con los dos primeros momentos. Por lo cual, la adopción de la distribución de Gauss responde a la conveniencia de representar de alguna manera, el comportamiento del equipo de tomadores de decisión.

Dicho de otro modo, la fase de ordenamiento posterior que se desarrolla en el Capítulo 5 de esta Tesis, realiza comparaciones por pareja entre las alternativas mediante pruebas repetidas de comparación de medias, de variables dependientes entre sí. Estas pruebas, originalmente diseñadas para ser aplicadas con variables aleatorias normales, son poco sensibles a la falta de normalidad, debido a que utilizan promedios de observaciones (Navidi, 2006). En todo caso, el hecho de que la asimetría sea leve, asegura la aplicabilidad de estas herramientas.

Conforme a los argumentos anteriores, más importante que determinar una Distribución para las preferencias globales V_i , es obtener los dos primeros momentos de esta Distribución. Ello puede hacerse gracias a las propiedades del valor esperado, dado que las variables U_{ij} y W_j pueden considerarse independientes.

En efecto, de acuerdo a la deducción realizada en (4.21), la media del producto de W_j con U_{ij} , puede obtenerse haciendo:

$$E(\mathbf{Z}_{ij}) = \mu_{z_{ij}} = E(\mathbf{W}_j) * E(\mathbf{U}_{ij}) \quad (4.38)$$

Del mismo modo, a partir de (4.24) se tiene que:

$$\text{Var}(\mathbf{Z}_{ij}) = \sigma_{z_{ij}}^2 = (E^2(\mathbf{W}_j) + \text{Var}(\mathbf{W}_j)) * (E^2(\mathbf{U}_{ij}) + \text{Var}(\mathbf{U}_{ij})) - E^2(\mathbf{W}_j) * E^2(\mathbf{U}_{ij}) \quad (4.39)$$

En este punto cabe recordar que en todo el ámbito de la decisión multicriterio, los criterios deben ser escogidos de modo tal que midan cualidades diferentes. Si esto es así, entonces corresponde pensar que las valoraciones que recibe la alternativa i , para los criterios j y $(j+1)$, pueden nuevamente ser consideradas como independientes entre sí. Con lo cual es posible hacer la suma directa de las medias de los diferentes productos, como se ve en la expresión identificada como (4.40), para calcular la media de V_i .

$$E(\mathbf{V}_i) = \sum_{j=1}^J E(\mathbf{Z}_{ij}) = \sum_{j=1}^J \mu_{z_{ij}} \quad (4.40)$$

Del mismo modo, se pueden sumar directamente las varianzas en la expresión (4.41).

$$\text{Var}(\mathbf{V}_i) = \sum_{j=1}^J \text{Var}(\mathbf{Z}_{ij}) = \sum_{j=1}^J \sigma_{z_{ij}}^2 \quad (4.41)$$

4.5 Incertidumbre e imprecisión en los Procesos DRV

El resultado anterior, según el cual las valoraciones globales de utilidades pueden ser representadas con distribuciones marginales normales, cuando se trabaja con Ponderación Lineal, ofrece un tratamiento que parece apropiado para las cuestiones de incertidumbre e imprecisión. Cabe destacar que dichas cuestiones son consideradas dificultades importantes a superar, para el paradigma dominante en las aplicaciones DMD, a los problemas de toma de decisiones grupales.

Como evidencia de la relevancia que la literatura especializada concede a estos problemas, corresponde recordar a Lahdelma, Hokkanen y Salminen (1998), Lahdelma y Salminen (2001, 2009), cuando destacan que los modelos SMAA pueden conducir a un ordenamiento pese a que existen estas carencias. También Dias y Climaco (2005) resaltan ese potencial para el método VIP.

Una idea similar se advierte en los métodos que modelan las preferencias de los decisores con conjuntos borrosos. Por ejemplo, Yeh y Chang (2009); Chou, Chang, y Shen (2008); Wang y Parkan (2008); Yu, Wang, y Lai K (2009); plantean diferentes aproximaciones que se preocupan por ofrecer posibilidades similares.

En ese contexto, un ejemplo típico de incertidumbre se presenta cuando uno o varios integrantes del grupo prefieren el elemento A al elemento B, en tanto que otros miembros realizan la elección contraria. Por su parte, la imprecisión se evidencia cuando las utilidades o valoraciones aportadas por los diferentes integrantes no coinciden exactamente; esto es, si un miembro del grupo dice que A es tres veces preferible a B, en tanto que otro miembro plantea que A es cuatro veces preferible.

Respecto a la primera de estas cuestiones, la lógica de los Procesos DRV se preocupa por determinar si las opiniones aparentemente divergentes pueden ser agregadas o no. Esto es, no siempre la agregación es factible, dado que si después de la etapa de estabilización subsisten en el equipo de trabajo diferencias importantes, la agregación forzada en una opinión común puede ser inadecuada.

Como ejemplo, cuando un grupo compara dos alternativas: A y B; es posible arribar a una situación como la de la Figura 4.3. En este caso, es razonable que dos miembros del equipo de trabajo asignen utilidades aparentemente contradictorias.

Como ejemplo, sea el caso de un miembro que asigna a la alternativa A utilidad 0,35, en tanto que la alternativa B recibe 0,25, con lo cual A es preferible a B. En el otro extremo, un segundo integrante puede asignar a la primera alternativa la utilidad 0,3, en tanto que asigna utilidad 0,35 a la segunda; con lo que esta persona considera preferible B sobre A.

Sin embargo, la agregación es posible porque ambos participantes responden al mismo patrón de preferencia general, representado por las distribuciones normales. Distribuciones estas que por otra parte, han sido construidas en conjunto y ofrecen una base razonable para el establecimiento de acuerdos.

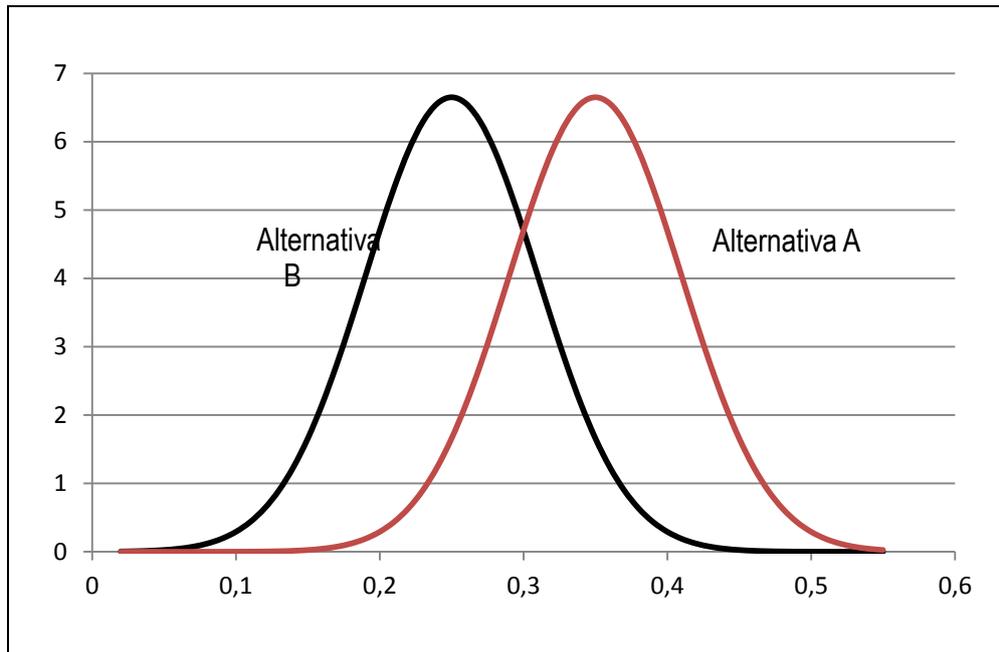


Figura 4.3 Representación de la incertidumbre cuando es factible la agregación

Un caso diferente es el representado en la Figura 4.4, donde al determinar las preferencias globales de una cierta Alternativa A, es posible identificar funciones de densidad de probabilidad completamente diferentes. En este caso los grupos tienen posturas encontradas. Forzar una agregación puede conducir a una decisión que sea escasamente representativa del conjunto.

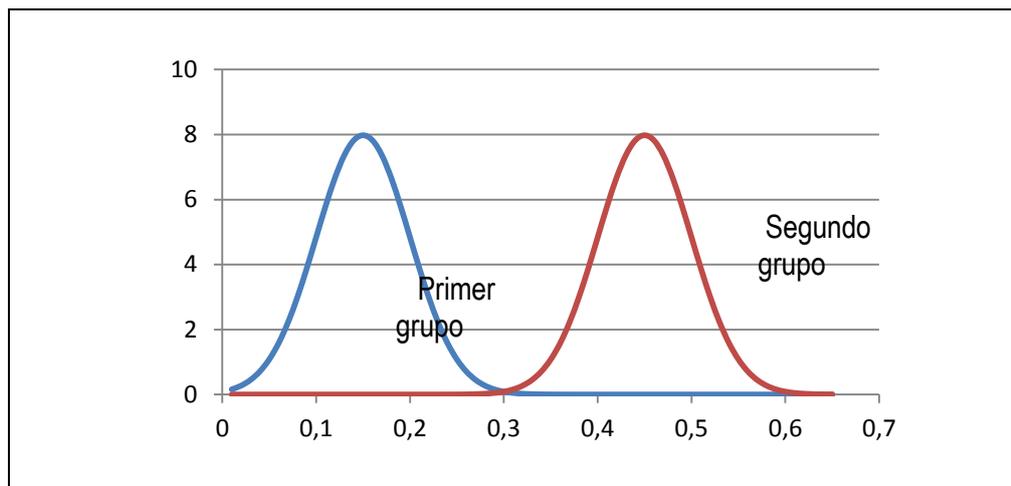


Figura 4.4 Funciones de densidad de dos grupos respecto a una misma alternativa

En cuanto a la cuestión de la imprecisión, si bien los distintos métodos adoptan diferentes posturas, en general se busca un camino para agregar las preferencias y

obtener un ordenamiento. Dicho de otro modo, las diferencias encontradas en la asignación de utilidades se conceptualizan como una dificultad que debe ser superada, cueste lo que costare.

En cambio, la lógica de los Procesos DRV asume esas diferencias como una variabilidad natural. En efecto, un supuesto básico considera que es imposible que dos integrantes del grupo de trabajo asignen estrictamente las mismas utilidades. Muy por el contrario, encontrar un resultado coincidente puede considerarse evidencia de que el grupo se comporta como una dictadura o que al menos, algunos de sus integrantes se encuentran influidos por los otros.

Respecto al modo de agregar utilidades en los problemas de toma de decisiones grupales, en un artículo muy citado por los especialistas: Forman y Peniwati (1998), referido al modelo AHP de Saaty, se propone la media geométrica como el camino adecuado para obtener una valoración global. Más aún, los autores distinguen dos situaciones, una es que los participantes no se hayan cohesionado, en cuyo caso sugieren agregar con la media de las utilidades; la otra es que hayan logrado cohesión, para lo cual proponen agregar con la media de los juicios.

La razonabilidad de esta propuesta parece dudosa para un ejemplo como el siguiente. Suponga que las utilidades estandarizadas son: 0,20; 0,22; 0,25; 0,31; 0,38. Hay una elevada variabilidad que se manifiesta en la asimetría positiva, de hecho, el último integrante asigna una utilidad muy superior a la del resto. Ahora bien, en ese caso la media geométrica es de 0,265, valor totalmente alejado del máximo encontrado en el grupo.

En la lógica de los DRV, el ejemplo anterior evidencia que el grupo de personas no ha logrado estabilizar su proceso de análisis y por lo tanto debe continuar el trabajo conjunto. Es decir, no parece recomendable agregar en esas condiciones.

En la misma línea, puede plantearse un ejemplo de proceso donde las utilidades asignadas por cinco de los integrantes son las siguientes: 0,15; 0,18; 0,20; 0,22; 0,25; en tanto que otras cuatro personas asignaron 0,35; 0,39; 0,41 y 0,45. Para este caso, cuando la premisa es asignar de cualquier modo, la media geométrica es de 0,315, número que tiene como principal defecto el no ser representativo de ninguno de los subgrupos.

Nuevamente, ante un resultado como el anterior los DRV determinan que avanzado el análisis subsisten dos grupos bien diferenciados y que por lo tanto, no es

conveniente intentar la agregación en un solo conjunto. Antes bien, con esta lógica parece razonable concluir que conviene elaborar dos ordenamientos distintos, uno por cada conjunto de opinión.

4.6 Consideraciones sobre los contenidos de este Capítulo

El presente capítulo se orienta a desarrollar un modelo que permita sustentar la agregación de preferencias cuando se utiliza ponderación lineal. Dicho desarrollo se realiza bajo el supuesto de que el grupo de trabajo puede estabilizar todos los subproblemas que integran el árbol de decisión y alcanzar un buen nivel de cohesión en los mismos.

El modelo propuesto permite representar a las valoraciones globales de las alternativas, como una variable aleatoria multidimensional. Si bien no se puede determinar la forma exacta de las distribuciones marginales de esta variable, se considera aceptable suponer que se aproximan a la Distribución Normal.

Este es un resultado muy interesante, porque a juicio del autor, coincide con preceptos adoptados en otras áreas de conocimiento. Esto es, si el proceso de análisis del problema es estable y se trata de un verdadero equipo de trabajo, los integrantes no pueden mantener posturas muy diferentes entre sí. Dicho de otra forma, no pueden elegir de cualquier modo, sino que lo hacen bajo la referencia y el condicionamiento de la dinámica grupal.

Por otra parte, el modelo obtenido brinda una solución apropiada a los problemas de imprecisión e incertidumbre, que habitualmente preocupan en las decisiones grupales. De hecho, las dos cuestiones encuentran en los Procesos DRV una modalidad razonable y natural en su tratamiento.

5. Agregación de Utilidades con el método TODIM

El objeto central de este capítulo es proponer un modo de agregación basado en la Teoría de las Perspectivas (Prospect Theory, PT). Esto es conveniente por dos motivos, por una parte el esquema de Ponderación Lineal utilizado en el capítulo anterior está sujeto a diversos inconvenientes, como por ejemplo la posibilidad de reversión de rangos; por la otra, la PT agrega una fundamentación psicológica interesante al modelo propuesto.

En esta introducción cabe recordar que a mediados del siglo XX, el artículo de Von Neumann y Morgenstern (1944) presentó los fundamentos de la Teoría de Utilidades en problemas de toma de decisiones bajo riesgo. Como es sabido, esta formulación ha sido objeto de atención en el campo de la Economía, al punto de que fueron varios los investigadores que recibieron el Premio Nobel por expandirla o modificarla.

Uno de los aportes más reconocidos es precisamente el de la PT, planteado en Kahnemann y Tversky (1979). Según este enfoque, la Teoría de Utilidades no es totalmente aplicable porque en realidad las personas valoran de manera diferente las pérdidas que las ganancias. Además, se sostiene que los decisores no perciben de modo correcto las probabilidades de los estados de la naturaleza, antes bien, sobrevaloran las probabilidades pequeñas en tanto que subvaloran las elevadas.

En cuanto al modo de incorporar la PT, se decidió utilizar los fundamentos de un método conocido y probado: TODIM, el cual se describe en Gomes, Araya y Carignano (2004). Se trata de una herramienta de apoyo multicriterio a la decisión desarrollada para resolver problemas donde participa un decisor único. La ventaja de esta opción es que el método elegido ha evidenciado su solvencia en múltiples aplicaciones y ha sido objeto de numerosas publicaciones en revistas especializadas.

En este capítulo se realiza una revisión de conceptos asociados con la PT, se presenta de manera formal el TODIM, se describe la formulación a utilizar en el cálculo y finalmente, se propone un algoritmo que permite salvar algunos casos de falta de normalidad en las distribuciones.

5.1 Sobre la Prospect Theory (PT)

En Kahneman y Tversky (1979) se plantea este concepto, como una superación del modelo de la utilidad esperada formulado por Von Neumann y Morgenstern (1944). La idea clave en la misma, es que las personas no reaccionan de modo de maximizar su utilidad esperada y que los modelos para representar estas respuestas requieren mayor complejidad que las consideradas en la versión original.

La Figura 5.1 refleja el planteo clásico de Kahneman & Tversky (1979), en cuanto al modo en que las personas se posicionan frente a la utilidad. En abcisas se representan los resultados reales de la decisión, los cuales pueden ser ganancias o pérdidas. En ordenadas, se representa el valor que el decisor asigna a cada resultado.

De acuerdo a la PT, las personas asignan valoraciones diferentes según que el resultado de una decisión pueda interpretarse como una ganancia o una pérdida. En efecto, el planteo es que en situaciones de riesgo, las personas adoptan un comportamiento más conservador cuando se enfrentan a ganancias. En cambio, tienen una mayor predisposición al riesgo cuando los resultados de la decisión se valoran como pérdidas.

En la figura, la función tiene forma de “S”. Para valores positivos, asociados a las ganancias, la curva tiene forma cóncava. En cambio para valores negativos, asociados a pérdidas, la curva es convexa. Además, en general las pendientes son más pronunciadas para pérdidas que para ganancias.

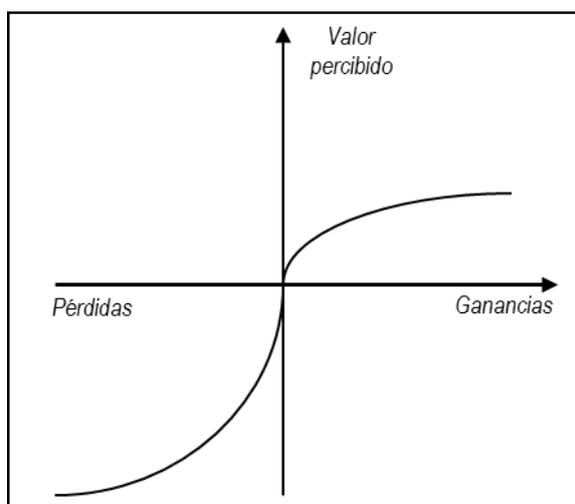


Figura 5.1 Valores reales y percibidos en la PT

Otro supuesto clave de la PT es que las personas tienen desviaciones diferentes en el ejercicio de percepción de las probabilidades de éxito. En general, las probabilidades altas son subvaloradas en tanto que las pequeñas son sobrevaloradas. En la Figura 5.2 se refleja este supuesto, la recta representa las probabilidades verdaderas, en tanto que la curva representa las percepciones de esas mismas probabilidades.

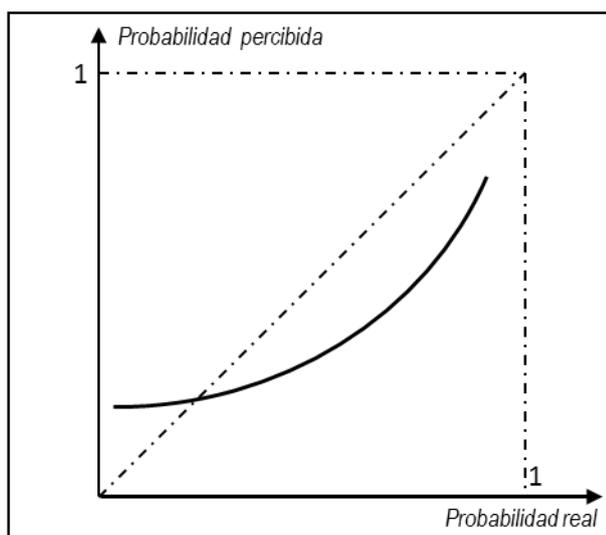


Figura 5.2 Probabilidad real y probabilidad percibida

Esta teoría ha tenido una muy buena aceptación hasta el momento, al punto de que uno de sus autores, que sigue vivo, fue distinguido con el Premio Nobel de Economía en 2002. Pero además mantiene su vigencia, dado que en la actualidad diversos artículos evidencian el interés por el tema en áreas de aplicación muy diversas.

Por ejemplo, en Schwartz, Goldberg y Hazen (2008), se transfiere la teoría a la realización de pruebas en medicina preventiva. La situación problema analizada es que muchas pruebas son consideradas inútiles por los pacientes y en consecuencia evitadas. Los autores difunden una experiencia realizada en oncología, donde utilizaron el enfoque PT para que los interesados comprendieran mejor la situación.

Otro ejemplo, Schmidt, Starmer y Sugden (2008) proponen diversas variaciones al planteo de la teoría, al punto que denominan a su propuesta como “Tercera Generación”. Los cambios sugeridos son de tipo operacional y están dirigidos a facilitar la valoración de los parámetros, predecir los alejamientos en la percepción de valores y probabilidades y anticipar posibles reversiones de rangos.

También la PT ha sido adaptada al tratamiento de problemas de toma de decisiones con múltiples actores. En efecto, Lahdelma y Salminen (2009) propone una nueva versión de los modelos SMAA (Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis), con la incorporación de la PT a la representación de las preferencias.

5.2 Sobre el método TODIM

TODIM es uno de los primeros métodos en el campo del Apoyo Multicriterio a la Decisión Multicriterio, que incorporan el enfoque de la PT. Una descripción completa de la propuesta se encuentra en Gomes, Araya y Carignano (2004).

Desde su publicación inicial, registra diversas y exitosas aplicaciones, en problemas de características muy diversas. Como ejemplo reciente puede recordarse su empleo para la determinación de precios de alquileres, en el mercado inmobiliario de Volta Redonda, explicado en Gomes y Rangel (2009). Otras aplicaciones pueden encontrarse por ejemplo en Gomes, Rangel y Maranhão (2009); Nobre, Trotta & Gomes (1999); y en Rangel y Gomes (2007).

A fin de presentar la metodología, se puede considerar un problema con un conjunto de I alternativas, que deben ser ordenadas bajo la consideración de J criterios, que pueden ser cuantitativos o cualitativos. Para determinar los pesos de los criterios, se emplea una matriz de comparaciones por pares con la escala de Saaty (1996).

A fin de salvar el típico problema de inconsistencia en las matrices de tipo AHP, el método incorpora un recurso que corrige de manera sistemática las posibles inconsistencias, sin provocar un cambio significativo en los juicios de valor aportados por el decisor. La determinación de los pesos de los criterios se realiza sumando los valores a lo largo de cada columna, calculando los recíprocos de cada suma y dividiendo cada recíproco por la suma de estos recíprocos. Se evita de este modo utilizar el vector propio, recurso que en Saaty puede conducir a reversiones de rangos.

A continuación, el decisor debe estimar la contribución de cada alternativa i al cumplimiento de los objetivos asociados con cada criterio j . Las valoraciones pueden hacerse en escalas numéricas, cuando los criterios son cuantitativos, o en una escala verbal (propuesta por TODIM), cuando son cualitativos.

Para el caso de utilizar escalas verbales, el método contempla una transformación que permite convertirla en cardinal. Cuando la matriz de valoraciones se encuentra expresada en forma numérica, se determina la matriz de deseabilidad parcial. Para ello se estandarizan las valoraciones a fin de encuadrarlas dentro de la escala cero uno. En general dicha estandarización se logra dividiendo cada valor por la suma de los valores de todas las alternativas.

A fin de obtener una ordenación global de las alternativas, el método construye una función de valor multiatributo, utilizando la tasa de sustitución arc de cualquier criterio genérico c , con el criterio de referencia r . Dicha tasa se aplica sobre una proyección de las diferencias entre los valores de dos alternativas cualesquiera, percibida en relación a cada criterio. Por supuesto, esta función de valor debe verificar la condición de independencia preferencial mutua (Keeney y Raiffa, 1993).

La sumatoria de las proyecciones anteriores, expresadas como ganancias o pérdidas según que el sentido de la diferencia conduzca a valores positivos o negativos, constituye una medida global del nivel de dominancia de una alternativa sobre la otra. Finalmente estas sumatorias se pueden estandarizar nuevamente en la escala cero uno, utilizando el máximo y el mínimo de las sumas.

Entre otras posibilidades del método TODIM se encuentran sus recursos simples para eliminar eventuales inconsistencias en las matrices tipo Saaty; el hecho de poder trabajar con juicios de valor en una escala verbal y utilizar una jerarquía de criterios. Además es posible expresar juicios de valor mediante conjuntos borrosos y hacer uso de relaciones de interdependencia entre alternativas (Gomes, Araya y Carignano, 2004).

5.3 Aplicación combinada de DRV y TODIM

De las características propias de TODIM, en este apartado se aprovecha la lógica de la agregación que permite obtener valoraciones globales para cada alternativa. Por ese motivo, la aplicación combinada inicia una vez alcanzadas las condiciones de estabilidad y cohesión en todos los subproblemas.

Entonces se tienen los pesos de los criterios y las utilidades asignadas a las alternativas por cada uno de los N integrantes del equipo de trabajo. En la Tabla

5.1, se reproducen las valoraciones realizadas por un integrante genérico al que se identifica con el subíndice n.

En dicha Tabla A_1, \dots, A_l son las alternativas; w_{jn} son los pesos asignados a los criterios por el integrante número n y u_{ijn} son las utilidades estandarizadas aportadas por el mismo. Por otra parte, se dispone de N tablas como estas, una por cada integrante.

Tabla 5.1
Matriz de Deseabilidad Parcial para el integrante número n

Alternativas	Criterios			
	w_{1n}	w_{2n}	w_{Jn}
A_1	u_{11n}	u_{12n}	u_{1Jn}
A_2	u_{21n}	u_{22n}	u_{2Jn}
.....
A_l	u_{l1n}	u_{l2n}	u_{lJn}

Desde el punto de vista estadístico y con el enfoque DRV, tanto los w_{jn} , como los u_{ijn} , son muestras observadas de las variables aleatorias W_j y U_{ij} , las cuales deben tener distribuciones normales después del proceso de estabilización realizado. Asumiendo que se cumple esa condición, un estimador conveniente para la media de las mismas es el promedio. Con este enfoque, se calculan:

$$\bar{w}_j = \sum_{n=1}^N w_{jn} / N \quad (5.1)$$

$$\bar{u}_{ij} = \sum_{n=1}^N u_{ijn} / N \quad (5.2)$$

Donde el subíndice $n = 1, 2, \dots, N$, representa a los integrantes del grupo; en tanto que $j=1,2,\dots,J$, permite identificar a los criterios considerados.

Ahora bien, es preciso adoptar uno de los J criterios como criterio de referencia r; generalmente se adopta como referencial el criterio de mayor peso. Cabe aclarar que desde el punto de vista de los cálculos del método, cualquier criterio puede ser elegido en este carácter. Una vez hecha alguna adopción, se calculan las tasas de substitución a_{rj} del siguiente modo:

$$a_{rj} = \bar{w}_j / \bar{w}_r \quad (5.3)$$

En este caso, la cantidad a_{rj} (que se obtiene como cociente de promedios aritméticos), representa el impacto de cambiar el criterio bajo análisis: j , por el criterio de referencia r . A continuación es necesario calcular las matrices de dominancia parciales y la matriz de dominancia final. La medida de dominancia parcial de cada alternativa i sobre cada alternativa m , bajo el criterio j , incorporando la PT, es dada por la siguiente expresión:

$$\delta_{im} = \sum_{j=1}^J \Phi(i, m) \quad \forall 1 \leq i \leq I, 1 \leq m \leq I \quad (5.4)$$

Donde cada valor de la función $\Phi(i, m)$, representa la porción de contribución del criterio j a la función $\delta(i, m)$. Visto de modo amplio, representa el cambio en el valor global, al reemplazar bajo el criterio j , la alternativa m por la número i .

Por ello, esta función se determina de distintos modos conforme a la existencia de ganancias o pérdidas. Así entonces, si la utilidad promedio de la alternativa i es mayor que la de la alternativa m , se asume que el cambio genera una ganancia.

Por el contrario, si la utilidad promedio de i es menor que la de m , al renunciar a una alternativa en favor de la otra se genera una pérdida. Con mayor formalidad, esto se formula en las expresiones (5.5), (5.6) y (5.7).

$$\Phi(i, m) = 0 \quad \forall i = m \quad (5.5)$$

$$\Phi(i, m) = \frac{a_{rj}(u_{ij} - u_{mj})}{\sum_{j=1}^J a_{rj}} \quad \text{cuando } \bar{u}_{ij} > \bar{u}_{mj} \quad (\text{ganancias}) \quad (5.6)$$

$$\Phi(i, m) = -\frac{1}{\theta} \sqrt{\frac{(\sum_{j=1}^J a_{rj})(u_{ij} - u_{mj})}{a_{rj}}} \quad \text{cuando } \bar{u}_{ij} < \bar{u}_{mj} \quad (\text{pérdidas}) \quad (5.7)$$

A continuación, se determina la matriz de dominancia final, a través de la suma de los elementos de las matrices parciales. La dominancia global de la alternativa i , se calcula como:

$$v_i = \sum_{m=1}^I \delta_{im} \quad (5.8)$$

Es decir que la función $v_{i,m}$ representa el resultado total si se elige la alternativa i y se prescinde de todas las restantes. Por ese carácter, esta función es una base adecuada para generar un ordenamiento final de los elementos comparados.

Corresponde mencionar que en la versión usual de TODIM, se recomienda transformar estos valores, es decir, se considera importante estandarizar el resultado a la escala (0,1), para facilitar su comprensión. La transformación recomendada es la siguiente:

$$\xi_i = \frac{v_i - \min(v_i)}{\max(v_i) - \min(v_i)} \quad \forall 1 \leq i \leq I \quad (5.9)$$

Sin embargo, con la rutina de ordenación propuesta para los Procesos DRV, orientada a controlar posibles errores de muestreo, es conveniente mantener los valores globales con el formato emergente de la expresión (5.8). De todos modos, una vez efectuada la ordenación, no existen inconvenientes para devolver los resultados en su formato estandarizado.

5.4 Problemas con la normalidad en DRV TODIM

En el Capítulo 4 de este trabajo, se encuentra que al agregar las preferencias individuales mediante Ponderación Lineal, siempre que el proceso de análisis evidencie estabilidad y cohesión, las distribuciones de probabilidad de los valores globales de las alternativas son normales. Esto se considera como un resultado muy conveniente, por lo que se propone como deseable esta condición para cualquier aplicación de los Procesos DRV.

La utilización de la función de agregación típica de TODIM, efectuada mediante las expresiones (5.5), (5.6) y (5.7), introduce la posibilidad de que dicho requisito no siempre se cumpla. En efecto, por una parte el coeficiente α_j puede deformar las

diferencias. Por el otro, la aplicación de una raíz cuadrada hace que la transformación sea no lineal, lo que introduce distorsiones en la variabilidad de los valores.

En particular, tanto para criterios como para alternativas, la normalidad no se cumple cuando para algunos individuos no se verifica la tendencia general en el ordenamiento. Esto es así, porque en tales situaciones se produce una variación muy importante en los coeficientes utilizados para representar las expectativas de KV.

La búsqueda de soluciones a esta problemática se apoyó en diversos experimentos de simulación, los cuales se plantearon a partir del caso estudiado en Gomes y. Concretamente se formuló un problema de valoración de alquileres de inmuebles, donde se consideran los criterios Localización; Superficie Cubierta; Calidad y Seguridad; por el lado de las alternativas, se consideraron sólo las identificadas en la publicación original como $A_3, A_{11}, A_{12}, A_{13}$.

5.4.1 Problemas con los coeficientes a_{rc}

Un momento clave del proceso de decisión grupal, es la compatibilización de los pesos asignados a los criterios. En términos de probabilidades, la fase se considera cumplida cuando las distribuciones marginales de dichos pesos (variable aleatoria W_j), son compatibles con la distribución normal.

Una vez lograda esta condición, puede suceder que el ordenamiento de los criterios conforme a los pesos, no sea idéntico para todos los miembros del grupo. Esto puede representarse en la siguiente figura:

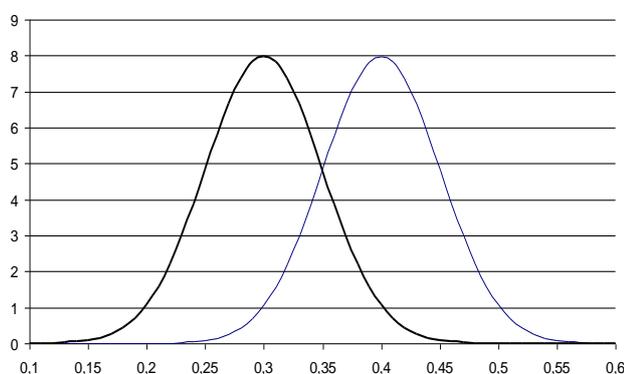


Figura 5.1 Ejemplo de distribuciones de pesos para dos criterios diferentes

Dicho de otro modo, aún cuando la distribución de pesos del criterio uno tiene una media mayor a la del criterio dos, es posible que algunos individuos asignen mayor importancia al dos que al uno. Si esto ocurre, la modalidad de cálculo de los coeficientes a_{rc} mediante cocientes, aplicada por TODIM, conduce a bruscas variaciones en dichos coeficientes.

Para ejemplificar esta cuestión, se reflejan en la siguiente tabla las ponderaciones asignadas por dos participantes. El ejemplo se extrajo de una simulación de longitud cien y corresponde a los casos identificados como dos y tres.

Tabla 5.2

Ejemplos de ponderaciones cercanas a las medias de los criterios

	Localiza	M2 cubiertos	Calidad	Seguridad
Valor de referencia	0,4	0,3	0,15	0,15
Caso 2	0,436	0,277	0,113	0,174
Caso 3	0,372	0,261	0,169	0,198

En esta condición los valores asignados son cercanos a las medias. Si se adopta a Localización como criterio de referencia común para todos los decisores, debido a que es el de mayor media y se determinan los coeficientes a_{rc} , los resultados son los siguientes:

Tabla 5.3

Coefficientes a_{rc} para casos cercanos a las medias

	Localiza	M2 cubiertos	Calidad	Seguridad
Caso 2	1	0,636	0,259	0,399
Caso 3	1	0,701	0,455	0,533

De este modo, la tabla contiene resultados razonables. En cambio, en los casos 11 y 67, el ordenamiento de los pesos no coincide con el orden de las medias y por otra parte, las diferencias encontradas tienen magnitudes importantes.

Tabla 5.4

Ejemplos de ponderaciones alejadas de las medias de los criterios

	Localiza	M2 cubiertos	Calidad	Seguridad
Genérico	0,4	0,3	0,15	0,15
Caso 11	0,27180428	0,35922442	0,21850981	0,15046148
Caso 67	0,31306065	0,40163387	0,15886277	0,1264427

Si se mantiene la estrategia de utilizar Localización como criterio de referencia, los valores a_{rc} alcanzan valores exagerados, incluso mayores que uno, como se muestra a continuación:

Tabla 5.5
Coefficientes a_{rc} para casos alejados de las medias

	Localiza	M2 cubiertos	Calidad	Seguridad
Caso 11	0,75664	1,322	0,804	0,554
Caso 67	0,31306065	1,283	0,507	0,404

En la simulación realizada, este inconveniente se verifica en los casos 8,11, 18, 26, 67. Por supuesto, la consecuencia inmediata de esta distorsión es la falta de normalidad de las variables aleatorias que representan los pesos.

Conforme a este razonamiento, la estrategia de mantener un mismo criterio de referencia para todo el grupo no funciona de manera aceptable, cuando se desea representar los pesos individuales. Surgen entonces dos opciones alternativas:

- Permitir que el criterio de referencia cambie entre los individuos, de modo que sea siempre el de mayor peso.
- Calcular los a_{rc} como valores promedio, para todo el grupo de trabajo.

Las evidencias hacen pensar que adoptar la primera opción, esto es flexibilizar la adopción del criterio de referencia, permite mejorar sensiblemente los resultados. La figura siguiente presenta los diagramas de caja que se obtienen en la simulación, para los criterios C3 y C4, al operar de este modo.

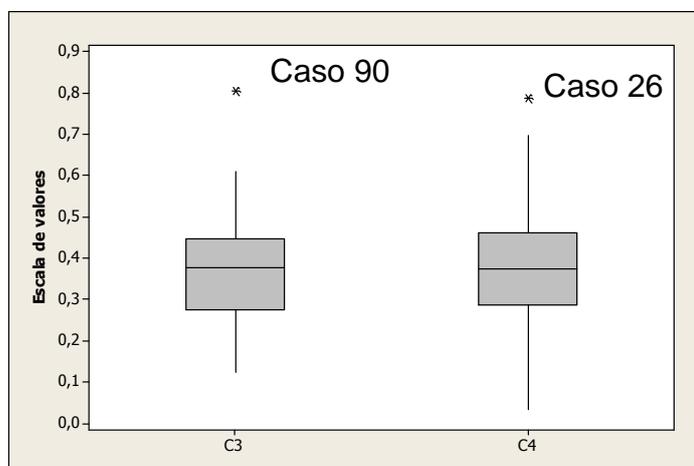


Figura 5.2 Diagramas de caja para ponderaciones simuladas en los criterios C3 y C4

Las figuras obtenidas se asocian con la distribución Normal. Pero aparecen dos valores extraños, nuevamente el veintiséis y ahora el noventa. Como ejemplo del impacto que esto genera sobre la distribución, la prueba de normalidad del criterio C3, arroja el resultado que se muestra en la Figura 5.3. Se advierte en el mismo que, pese a la existencia de un valor extraño, el supuesto de normalidad se verifica de modo aceptable.

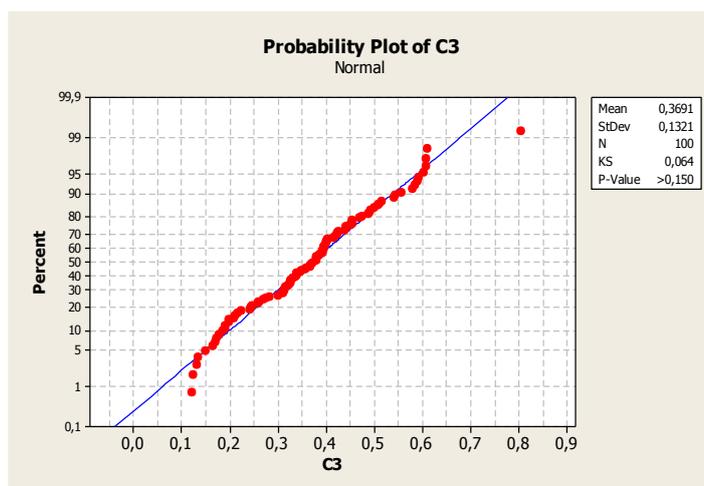


Figura 5.3 Prueba de normalidad para el criterio simulado C₃

Para analizar mejor el tema, la Tabla 5.6 refleja los principales resultados para estos casos y para el caso promedio. Como se verifica en esa tabla, el caso noventa se torna extraordinario debido a que el criterio tres tiene mayor peso que el criterio dos. En cambio en el caso veintiséis, coinciden dos condiciones:

- El criterio de referencia es C2, debido a un peso extremadamente bajo para C1.
- El peso de C4 es muy superior al de C3.

Tabla 5.6

Comparación de los casos extremos con el promedio

	Pesos de los criterios				Valores de arc				Suma a _{rc}
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	
Caso promedio	0,399	0,305	0,146	0,150	1	0,765	0,366	0,376	2,506
Caso 90	0,356	0,243	0,287	0,115	1,000	0,683	0,805	0,323	2,811
Caso 26	0,298	0,321	0,129	0,252	0,928	1,000	0,403	0,787	3,118

La acción simultánea de estas condiciones conduce a que el coeficiente a_{rc} del criterio C3, adopte un valor extraordinario. Por supuesto, estas distorsiones parecen ser poco comunes, dado que su frecuencia de aparición en la simulación es baja.

Es decir que al flexibilizar la elección del criterio de referencia, se mantiene como aceptable la idea de que los coeficientes a_{rc} pueden ser normales, pero como contrapartida, no se controla el riesgo de que aparezcan valores extraños. El problema es que estos resultados extraordinarios, si bien poco comunes, pueden afectar las valoraciones globales que se realizan posteriormente.

La segunda posibilidad en cambio, esto es calcular los a_{rc} como valores promedio para todo el grupo de trabajo, ofrece una solución más robusta dado que al operar exclusivamente con escalares, no afecta los resultados finales. Si bien tiene un aspecto negativo relevante debido a que resta potencial para representar la variabilidad en los juicios de los participantes, su robustez la hace preferible.

En este aspecto, se considera que a fin de que el método sea operativo, es necesario proponer una dinámica que no genere resultados confusos y que no obligue a efectuar grandes operaciones adicionales. Desde ese punto de vista, la opción de mantener constantes los coeficientes resulta la más conveniente. La Tabla 5.7 presenta los valores que se obtienen con dicha estrategia.

Tabla 5.7
Criterios, pesos y cocientes a_{rc}

Criterio	C₁	C₂	C₃	C₄	Suma a_{rc}
Ponderador	W1	W2	W3	W4	
Promedio coeficiente	0,225	0,528	0,155	0,092	
a_{rc}	0,427	1,000	0,295	0,173	1,895

5.4.2 Problemas con la normalidad de las funciones $\Phi(i,m)$.

En este particular, las desviaciones a la normalidad son introducidas por la aplicación de la raíz cuadrada en el cálculo de las funciones. La observación de las expresiones (5.6) y (5.7) evidencia que cuando las $u_{i,m}$ son normales, la diferencia también lo es. Asimismo, esa diferencia es afectada por dos escalares (a_{ij} y la sumatoria de los mismos), lo que no modifica la normalidad. Por lo tanto, sólo la raíz cuadrada puede distorsionar este comportamiento.

Ahora bien, el impacto de la raíz sólo se hace sentir cuando se comparan dos alternativas que tienen valoraciones cercanas, lo que hace que la diferencia se acerque a cero. Cuando una alternativa es claramente preferible a otra, la función $\Phi(i,m)$ se mantiene razonablemente normal.

Es conveniente ejemplificar esta cuestión. Para ello se usarán datos obtenidos en una aplicación realizada en la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos de Río Ceballos, que se describe en detalle más adelante.

En dicha experiencia se adoptaron cuatro criterios y participaron doce personas, miembros de la entidad. El promedio de los pesos asignados a los criterios, así como los cocientes arc resultantes, se reproducen en la tabla siguiente.

Para este ejemplo, se trabaja con tres de las alternativas consideradas en dicha aplicación, se trata de las identificadas como A₃, A₄ y A₅. Es interesante analizar la siguiente tabla, donde se reproduce el resultado de un posible reemplazo de la A₄ por la primera o la última alternativa, cuando se trabaja con el criterio C₂.

Tabla 5.8
Determinación de pérdidas cuando se reemplaza la alternativa A₄ bajo C₂

Participante	Utilidades asignadas			Diferencias		Pérdidas	
	A3	A4	A5	A3-A4	A5-A4	A3-A4	A5-A4
1	0,1846	0,4154	0,2769	-0,2308	-0,1385	-0,6613	-0,5123
2	0,1200	0,5600	0,2400	-0,4400	-0,3200	-0,9132	-0,7788
3	0,1667	0,5000	0,1667	-0,3333	-0,3333	-0,7948	-0,7948
4	0,2500	0,5000	0,1250	-0,2500	-0,3750	-0,6883	-0,8430
5	0,1333	0,5333	0,2667	-0,4000	-0,2667	-0,8707	-0,7109
6	0,1304	0,5217	0,2609	-0,3913	-0,2609	-0,8612	-0,7032
7	0,1538	0,4615	0,3077	-0,3077	-0,1538	-0,7637	-0,5400
8	0,0667	0,4000	0,4000	-0,3333	0,0000	-0,7948	0,0000
9	0,0588	0,4706	0,3529	-0,4118	-0,1176	-0,8834	-0,4722
10	0,0714	0,4286	0,3571	-0,3571	-0,0714	-0,8227	-0,3679
11	0,1612	0,5113	0,2267	-0,3501	-0,2846	-0,8146	-0,7345
12	0,1053	0,4632	0,3263	-0,3579	-0,1368	-0,8236	-0,5093

Las tres primeras columnas representan las utilidades asignadas por los participantes en la experiencia. Las dos siguientes representan el incremento de utilidad generado si se decide prescindir de la A₄ en favor de las otras dos. El signo negativo en este caso, indica que se producen pérdidas. Finalmente las dos últimas columnas valoran dichas pérdidas utilizando la fórmula (5.7).

En la tabla se observa que al comparar A_4 con A_3 , todos los participantes coinciden en apreciar una pérdida importante. En un caso como este, la aplicación posterior de la raíz cuadrada genera una mayor condensación de los datos, con lo que se refuerza el comportamiento normal.

En cambio en la otra comparación, el participante número ocho no logra distinguir, como sí lo hacen el resto de sus compañeros, entre las dos alternativas, por lo que la diferencia es cero. Esta desviación, que no afecta necesariamente la condición de normalidad de las diferencias, tiene en cambio un efecto muy significativo al aplicar la raíz, dado que las diferencias iniciales se amplifican.

Con esta base es necesario aceptar que no se trata de un problema con solución inmediata. Por ese motivo, en el marco de la presente Tesis se desarrollaron dos algoritmos numéricos, que permiten realizar la agregación con las fórmulas de TODIM. Dichas propuestas se explican en el capítulo siguiente.

5.5 Consideraciones sobre los contenidos de este Capítulo

En el presente capítulo se incorpora a la formulación general de los Procesos DRV, la posibilidad de agregar con las fórmulas típicas del método TODIM. Esto se hace en busca de los siguientes beneficios: representar los resultados en términos de ganancias y de pérdidas, con el enfoque de la Prospect Theory y buscar un modo de agregación alternativo al de Ponderación Lineal.

El intento debe considerarse exitoso, dado que las fases de estabilización y ordenamiento de los Procesos DRV, parecen compatibles con la modalidad del TODIM. De hecho, se pueden adaptar los conceptos y fórmulas de modo muy conveniente.

Se detecta de todos modos un potencial inconveniente, dado que si las expresiones TODIM se aplican de manera directa, no es posible garantizar que las valoraciones finales tengan distribución Normal. Por ello, se diseñaron de manera complementaria dos algoritmos que permiten completar con éxito esta etapa, los mismos se presentan en el Capítulo 6.

6. Ordenamiento de las alternativas

El presente capítulo se orienta al desarrollo de la tercera y última fase de los Procesos DRV, el ordenamiento. Dicho de otro modo, se trata de formular relaciones de preferencia o equivalencia entre las alternativas.

La primera cuestión a resolver es la de obtener muestras de las utilidades globales asignadas por los integrantes del equipo de trabajo y adoptar los estimadores que conviene aplicar. Al respecto, debe recordarse que se consideran dos modalidades diferentes de agregación (Ponderación Lineal y agregación TODIM), por lo que cada una requiere una solución particular.

Dado que la concepción del método asume que el proceso desarrollado es en realidad una muestra de los procesos posibles, corresponde plantear una forma de identificar cuándo las aparentes diferentes entre los elementos comparados, deben considerarse significativas. Con esa finalidad, el método utiliza pruebas de hipótesis repetidas, con un algoritmo que permite controlar la probabilidad de cometer errores de Tipo I.

Por ese motivo, el capítulo inicia con una presentación de los cálculos necesarios para obtener los valores globales con PL. Continúa luego con las posibles modalidades de cálculo cuando se agrega con TODIM. El capítulo se cierra con la presentación de las pruebas de hipótesis que permiten establecer el ordenamiento final.

6.1 Cálculo de valores globales con Ponderación Lineal

En el actual estado de análisis, cada miembro del grupo asignó un peso w_{jn} al criterio j y una ponderación u_{ijn} , a la alternativa i , cuando es medida con la escala propia del criterio j . En esas condiciones, la utilidad que cada individuo asigna a cada alternativa con cada criterio, puede obtenerse como el producto de las dos cantidades anteriores.

Entonces la utilidad global asignada por el individuo n a la alternativa i , puede obtenerse del siguiente modo:

$$v_{in} = \sum_{j=1}^J w_{jn} * u_{ijn} \quad (6.1)$$

En forma matricial, para cada participante n del grupo de toma de decisiones, son válidas las siguientes definiciones:

$$\mathbf{W} = [\mathbf{w}_{1,n}, \mathbf{w}_{2,n}, \dots, \mathbf{w}_{J,n}]^T$$

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_{1,1,n} \mathbf{u}_{1,2,n} \dots \mathbf{u}_{1,J,n} \\ \mathbf{u}_{2,1,n} \mathbf{u}_{2,2,n} \dots \mathbf{u}_{2,J,n} \\ \dots \\ \mathbf{u}_{I,1,n} \mathbf{u}_{I,2,n} \dots \mathbf{u}_{I,J,n} \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

Con lo cual, el vector de valores globales puede obtenerse con la siguiente operación:

$$\underline{V} = \underline{U} * \underline{W} \quad (6.3)$$

Con las determinaciones anteriores se obtienen muestras de tamaño N , tantas como decisores integren el grupo, de las valoraciones globales asignadas a las alternativas. Puede ser conveniente entonces resumir estos valores en una medida representativa del conjunto.

Para estimar un valor representativo del grupo, la literatura especializada sugiere como conveniente la utilización de la media geométrica o del promedio aritmético. En el enfoque DRV, se asume que los procesos de análisis del problema evidencian estabilidad y cohesión, por lo que estos valores deben responder a distribuciones normales. Con esta lógica, lo recomendable es utilizar el promedio, dado que es un excelente estimador en condiciones de normalidad.

Entonces corresponde calcular las medias aritméticas del siguiente modo:

$$\bar{v}_i = \sum_{n=1}^N v_{in} / N \quad (6.4)$$

Ahora bien, el promedio de las valoraciones asignadas para cada alternativa puede considerarse como medida de la utilidad que el grupo reconoce en su conjunto. Esto es, puede suponerse que cuando el promedio de las utilidades globales de $A^{(1)}$ es mayor que el de $A^{(2)}$, entonces $A^{(1)}$ es preferible a $A^{(2)}$.

Con esta lógica, el ordenamiento de los resultados muestrales, de los mayores a los menores promedios, permite proponer un primer ordenamiento para las alternativas:

$$A^{(1)} \succ A^{(2)} \succ \dots \succ A^{(I)} \quad (6.5)$$

Donde $A^{(1)}$ es la más preferible y $A^{(I)}$ es la de menor preferencia.

De todos modos, con la lógica del muestreo, los promedios muestrales siempre van a ser diferentes, no se considera factible que repitan sus valores. Con esa idea, es posible que algunas diferencias en los valores promedios sean sólo aparentes, fruto del error de muestreo. Corresponde entonces utilizar pruebas de hipótesis para verificar estas aparentes diferencias.

6.2 Estimación de Valores Globales con agregación TODIM

Como se puntualizó en el capítulo anterior, esta forma de agregación tiene como inconveniente que la presencia de la raíz cuadrada en las expresiones de cálculo de pérdidas y ganancias, puede atentar contra el supuesto de normalidad de las variables aleatorias que se estiman. Por ese motivo, ha sido necesario desarrollar algoritmos que permitan efectuar la estimación sin incurrir en dicho inconveniente.

Cualquiera sea la modalidad de cálculo, se emplean las tasas de sustitución definidas en la expresión (5.3). Vale recordar que, como se especifica en el apartado 5.4.1 del capítulo anterior, las mismas deben conservarse constantes a través de todo el cálculo y deben obtenerse como cociente entre los promedios de los pesos asignados a los criterios.

Un paso relevante es determinar si se obtienen ganancias o pérdidas al reemplazar la alternativa A_m por la A_i . Esto es importante porque en el apartado 5.4.2 del capítulo anterior, se evidenció que pequeñas variaciones en las utilidades asignadas por el grupo, pueden distorsionar la normalidad cuando las utilidades asignadas a las alternativas son cercanas. Por ese motivo, se define si hay ganancias o pérdidas, conforme al resultado de las diferencias entre los promedios.

A continuación se presenta un algoritmo desarrollado en el marco de este trabajo, que permite estimar las funciones de agregación del TODIM.

a - Para todo j , con $1 \leq j \leq J$; repetir los pasos desde (b) hasta (h).

b - Para todo i , con $1 \leq i \leq I$; repetir los pasos desde (c) hasta (h).

c - Calcular los promedios de las utilidades estandarizadas asignadas a las alternativas por los miembros del grupo de trabajo:

$$\bar{u}_{ij} = \sum_{n=1}^N u_{ijn} / N \quad (6.6)$$

d - Para todo m, con $1 \leq m \leq I$; repetir los pasos (d) y (e).

e - Para cada uno de los n decisores, calcular las diferencias entre las utilidades asignadas a las alternativas, cuando se reemplaza la alternativa m por la alternativa i, haciendo:

$$d_{imjn} = u_{ijn} - u_{mjn} \quad (6.7)$$

f - Determinar la ganancia o pérdida que se obtiene (g_{imjn}), cuando se reemplaza la alternativa m por la alternativa i, del modo siguiente:

$$g_{imjn} = 0 \quad \text{cuando } \bar{u}_{ij} - \bar{u}_{mj} = 0 \quad (6.8)$$

$$g_{imjn} = \frac{a_{rj} d_{imjn}}{\sum_{j=1}^J a_{rj}} \quad \text{cuando } \bar{u}_{ij} > \bar{u}_{mj} \text{ (ganancias)} \quad (6.9)$$

$$g_{imjn} = -\frac{(\sum_{j=1}^J a_{rj}) d_{imjn}}{a_{rj}} \quad \text{cuando } \bar{u}_{ij} < \bar{u}_{mj} \text{ (pérdidas)} \quad (6.10)$$

Es decir que el hecho de que se trabaje como ganancia o pérdida queda determinado por el signo de la diferencia entre los promedios. Por otra parte, el signo negativo en la expresión (6.10), permite trabajar por regla general con signos positivos, apareciendo negativos sólo cuando las diferencias entre las utilidades asignadas por un miembro del grupo, contradicen la tendencia del conjunto.

g – Calcular las raíces cuadradas de los valores anteriores:

$$R_{imjn} = \sqrt{g_{imjn}} \quad \text{cuando } g_{imjn} > 0 \quad (6.11)$$

$$R_{imjn} = -\sqrt{-g_{imjn}} \quad \text{cuando } g_{imjn} < 0 \quad (6.12)$$

h – Obtener el valor de la función F_{imjn} , adaptando el signo de la raíz, de acuerdo a los promedios de las utilidades asignadas.

$$F_{imjn} = R_{imjn} \quad \text{cuando } \bar{u}_{ij} > \bar{u}_{mj} \quad (\text{ganancias}) \quad (6.13)$$

$$F_{imjn} = -R_{imjn} \quad \text{cuando } \bar{u}_{ij} < \bar{u}_{mj} \quad (\text{pérdidas}) \quad (6.14)$$

i – Una vez calculados los N valores de F_{imn} , para una determinada comparación, verificar la compatibilidad de la muestra obtenida, con la distribución Normal. Si no rechaza la condición de normalidad, continuar con el paso (j). Si en cambio parece no ser Normal, aplicar algún algoritmo de corrección.

j – Continuar hasta agotar todos los valores posibles de los indicadores i, j .

k – Obtener la muestra de las medidas de dominancia parcial de cada alternativa i sobre cada alternativa m (variando el indicador n , desde 1 hasta N), del siguiente modo:

$$\delta_{imn} = \sum_{j=1}^J F_{imjn} \quad \forall 1 \leq i \leq I, 1 \leq m \leq I \quad (6.15)$$

l – Obtener el valor de la dominancia global de la alternativa i , para cada miembro del grupo de trabajo, con la siguiente suma:

$$v_{in} = \sum_{m=1}^I \delta_{imn} \quad (6.16)$$

De este modo se completa el algoritmo, con lo que se obtiene una muestra de N preferencias globales para cada alternativa. Vale entonces el razonamiento del apartado anterior, donde se plantea la posibilidad de ordenar las alternativas conforme a sus promedios, obtenidos mediante la expresión (6.4), que se reproduce nuevamente para facilitar la comprensión.

$$\bar{v}_i = \sum_{n=1}^N v_{in} / N \quad (6.4)$$

Claro que de nuevo, es más razonable asumir que estos datos se encuentran afectados por el error muestral y aplicar entonces las pruebas que se proponen en el siguiente apartado.

Como ejemplo de este algoritmo, puede usarse el caso de un problema de toma de decisiones donde el grupo se integra con doce participantes y se consideran cuatro

critérios. Los ponderadores asignados a los criterios, así como las tasas de sustitución, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6.1

Indicadores, pesos y tasas de sustitución para el ejemplo

Criterio	C1	C2	C3	C4	Máximo	
Peso	0,2254	0,5276	0,1555	0,0915	a_{rj}	0,5276
Tasa	0,4271	1,0000	0,2947	0,1735	Suma a_{rj}	1,8953

Por otra parte, se asume que las utilidades asignadas a tres de las alternativas, bajo el criterio C1, son las siguientes:

Tabla 6.2

Utilidades asignadas con el criterio C₁, para A₁, A₂, A₃

Participante	A₁	A₂	A₃
1	0,0365	0,0481	0,1731
2	0,0013	0,0256	0,1538
3	0,0889	0,0694	0,2083
4	0,0357	0,0571	0,1714
5	0,1040	0,0770	0,2309
6	0,0438	0,0625	0,1875
7	0,0013	0,0256	0,1538
8	0,0345	0,0704	0,1690
9	0,0611	0,0556	0,1667
10	0,0447	0,0526	0,1895
11	0,0688	0,0792	0,1782
12	0,0357	0,0571	0,1714
Promedios	0,0464	0,0567	0,1795

Con estos parámetros, la determinación del resultado de abandonar la alternativa A₂ y reemplazarla por la A₃, conduce a los cálculos que se resumen en Tabla 6.3.

Tabla 6.3

Estimación de la función F_{321n}

Miembro	$u_{31n} - u_{21n}$	G_{321n}	R_{321n}	F_{321n}
1	0,125	0,0282	0,1678	0,1678
2	0,1282	0,0289	0,17	0,17
3	0,1389	0,0313	0,1769	0,1769
4	0,1143	0,0258	0,1605	0,1605
5	0,154	0,0347	0,1863	0,1863
6	0,125	0,0282	0,1678	0,1678

Miembro	$u_{31n} - u_{21n}$	G_{321n}	R_{321n}	F_{321n}
7	0,1282	0,0289	0,17	0,17
8	0,0986	0,0222	0,1491	0,1491
9	0,1111	0,025	0,1582	0,1582
10	0,1368	0,0308	0,1756	0,1756
11	0,099	0,0223	0,1494	0,1494
12	0,1143	0,0258	0,1605	0,1605
Promedio general			0,1228	

Una vez obtenidos estos valores, es preciso verificar si pueden considerarse como extraídos de una población con distribución Normal. En este caso, la prueba de Shapiro-Wilks de la hipótesis de que los F_{imjn} responden a dicha distribución, con parámetros media y varianza obtenidos a partir de la muestra, no se rechaza, como se evidencia en la siguiente figura.

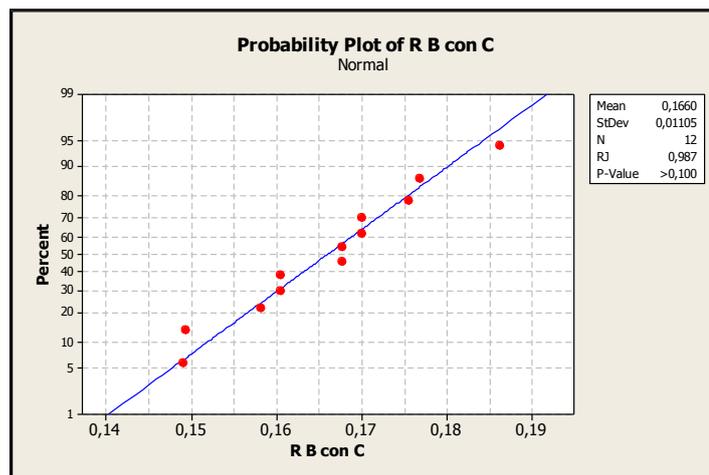


Figura 6.1 Prueba de normalidad para F_{321n}

Una situación diferente se presenta cuando se intenta reemplazar la alternativa a_1 por la a_2 , dado que en este caso las utilidades asignadas son similares, con lo que las diferencias resultan cercanas a cero. En efecto, los cálculos para este caso son los siguientes.

Tabla 6.3
Estimación de la función F_{211n}

Participante	D_{211n} $u_{21n} - u_{11n}$	g_{211n}	R_{211n}	F_{211n}
1	0,0115	0,0026	0,0510	0,0510
2	0,0244	0,0055	0,0741	0,0741
3	-0,0194	-0,0044	-0,0662	-0,0662
4	0,0214	0,0048	0,0695	0,0695
5	-0,0270	-0,0061	-0,0780	-0,0780
6	0,0188	0,0042	0,0650	0,0650

Participante	D_{211n}			
	$u_{21n} - u_{11n}$	g_{211n}	R_{211n}	F_{211n}
7	0,0244	0,0055	0,0741	0,0741
8	0,0359	0,0081	0,0900	0,0900
9	-0,0056	-0,0013	-0,0354	-0,0354
10	0,0079	0,0018	0,0422	0,0422
11	0,0104	0,0023	0,0484	0,0484
12	0,0214	0,0048	0,0695	0,0695

El inconveniente es que al verificar normalidad, se encuentra un rechazo de la hipótesis. En las dos figuras siguientes se presentan las verificaciones de normalidad para las diferencias en primer término y para las funciones F_{211n} , en segundo. En las mismas, es interesante observar que la forma general en que se distribuyen los puntos es similar. El problema surge evidentemente, con los valores negativos de F_{211n} , que se divorcian de la organización inicial por la deformación que provoca la raíz cuadrada.

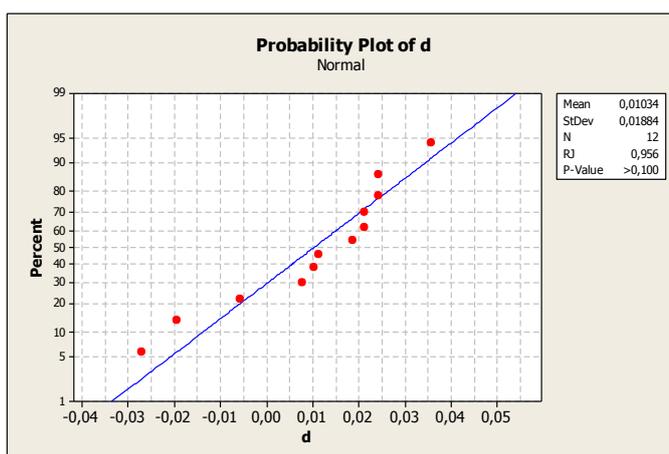


Figura 6.2 Prueba de normalidad para d_{211n}

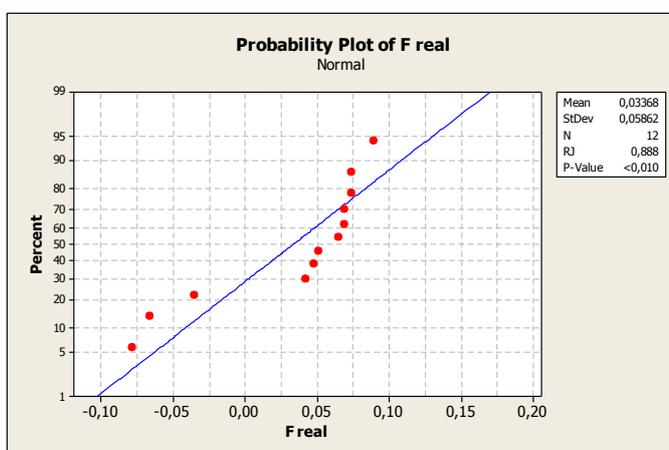


Figura 6.3 Prueba de normalidad para F_{211n}

6.3 Corrección de las estimaciones para obtener normalidad en la funciones F_{imjn}

Una de las potenciales dificultades de la propuesta anterior reside, como se contempla en el paso (g) del algoritmo planteado, en la necesidad no siempre satisfecha de que los valores de las funciones F_{imjn} , puedan considerarse extraídos de una distribución Normal. Cabe precisar que si dichas funciones no cumplen con este requisito, las variables aleatorias que representan los valores globales tampoco verifican el comportamiento gaussiano.

Respecto a este problema, si bien no parece haber soluciones perfectas, en el marco de la presente Tesis se han planteado estrategias de corrección satisfactorias, denominadas: Ajuste de una recta por mínimos cuadrados; Corrección por incremento finito. A continuación se describen estas estrategias.

Ajuste de una recta por mínimos cuadrados.

La idea es utilizar una recta que pase por el origen de coordenadas, en reemplazo de la relación originalmente planteada en el método TODIM. La recta debe estimarse entre las observaciones d_{imjn} como variable explicativa y los valores de F_{imjn} , como variable dependiente.

Por supuesto, para que el ajuste sea satisfactorio es necesario que la muestra pueda considerarse homogénea. Con esa idea, se plantea la siguiente estrategia.

Paso 1: realizar un análisis exploratorio de los pares de valores (d_{imjn}, F_{imjn}) , a fin de obtener una muestra homogénea.

Paso 2: estimar la pendiente de la recta del siguiente modo:

$$\hat{\beta} = \sum_{m=1}^I d_{imjn} F_{imjn} / d_{imjn}^2 \quad (6.17)$$

Paso 3: para todo n entre uno y N, determinar:

$$F_{imjn} = \hat{\beta} * d_{imjn} \quad (6.18)$$

Como ejemplo de esta posibilidad, se puede aplicar la estrategia a la corrección de los valores obtenidos en la tabla (6.3) para F_{211n} . El primer paso es identificar y descartar los valores extraños que se encuentran incluidos en el conjunto de datos.

En este caso, corresponde descartar todos los valores negativos de F_{211n} , que en este caso son los datos numerados como tres, cinco y nueve. A continuación, la

aplicación de la expresión (6.13) permite el estimador del coeficiente, el cual resulta

$$\hat{\beta} = 3,077$$

Luego la corrección conduce a los resultados de la Tabla 6.4.

Tabla 6.4

Corrección por mínimos cuadrados de la función F_{211n}

Participante	d	F real	F estimada
1	0,0115	0,0510	0,0355
2	0,0244	0,0741	0,0750
3	-0,0194	-0,0662	-0,0598
4	0,0214	0,0695	0,0659
5	-0,0270	-0,0780	-0,0830
6	0,0188	0,0650	0,0577
7	0,0244	0,0741	0,0750
8	0,0359	0,0900	0,1105
9	-0,0056	-0,0354	-0,0171
10	0,0079	0,0422	0,0243
11	0,0104	0,0484	0,0320
12	0,0214	0,0695	0,0659

En la figura siguiente se representan las pruebas de normalidad para los valores de la función F_{211n} , una junto a la otra para facilitar su comparación. El propósito de la figura es evidenciar que la organización general de los puntos es similar, sólo que la transformación permite que la muestra sea compatible con la distribución Normal.

Por otro lado, las dos pruebas ponen en evidencia un efecto no deseable, dado que la dispersión tiende a conservarse cuando en general, la transformación raíz cuadrada tiende a reducir la variación general. Sin embargo el propósito original se logra, esto es, que las funciones tengan comportamiento gaussiano.

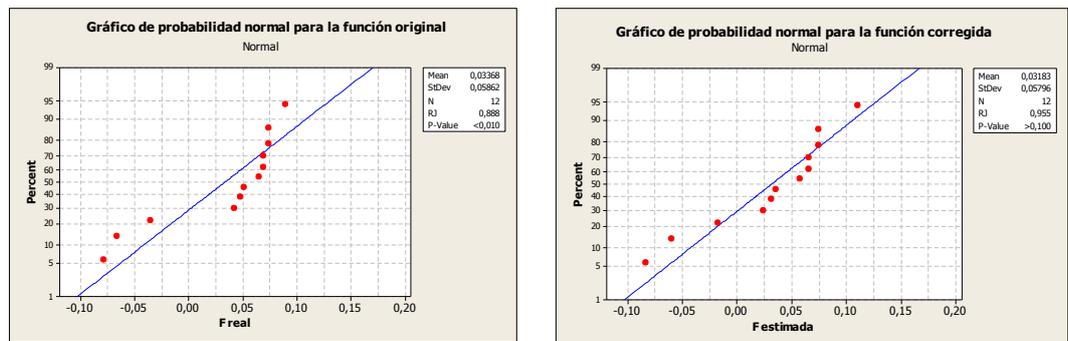


Figura 6.4 Pruebas de normalidad para original y corregida.

Corrección por incremento finito.

La propuesta es modificar los valores de g_{imjn} con un incremento que los aleje del cero y a continuación sí, operar con la raíz cuadrada. Los pasos son los sigui

a – Calcular el promedio de los g_{imjn} y la raíz cuadrada de los mismos, con las expresiones:

$$\bar{g} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N g_{imjn} \quad (6.19)$$

$$R_{\bar{g}} = \sqrt{\bar{g}} \quad (6.20)$$

b – Incrementar los valores verdaderos de g_{imjn} en una cantidad Δ que permita alejar de cero estos valores y obtener la raíz cuadrada de los mismos. En las experiencias realizadas, el incremento $\Delta=0,5$, parece una buena opción. Con un punto de vista coincidente, Sokal y Rohlf (2002) plantea que en variables asimétricas, es conveniente usar el incremento 0,50 cuando los valores a transformar son cercanos a cero.

En definitiva, en este paso se debe, para todo n entre 1 y N, hacer lo siguiente:

$$g'_{imjn} = g_{imjn} + \Delta \quad (6.21)$$

$$RG_{imjn} = \sqrt{g'_{imjn}} \quad (6.22)$$

c – Obtener el promedio de estas raíces y la diferencia del mismo con la raíz del promedio de los valores g_{imjn} . Esto es, hacer:

$$\overline{RG} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N RG_{imjn} \quad (6.23)$$

$$Dif = \overline{RG} - R_{\bar{g}} \quad (6.24)$$

d – Determinar el valor definitivo de las funciones F_{imjn} , haciendo para cada valor de n, entre uno y N, las siguientes operaciones:

$$F_{imjn} = RG_{imjn} - Dif \quad (6.25)$$

$$F_{imjn} = -\frac{1}{\theta} (RG_{imjn} - Dif) \quad (6.26)$$

Cabe consignar que los pasos (c) y (d) están inspirados en conceptos de diseño de experimentos relativos a las transformaciones (ver por ejemplo, Sokal y Rohlf (2002)). En cuanto a la corrección en la media, una propiedad conocida de las transformaciones orientadas a conseguir normalidad, plantea que al aplicar una raíz cuadrada sobre una muestra, el promedio de las raíces es siempre menor o igual que la raíz del promedio original.

Con esta base, para muestras alejadas de cero, parece razonable imponer la media aplicando las expresiones (6.19) y (6.20). Finalmente, si puede suponerse que los desvíos se mantienen con una cierta independencia de las medias, la transformación resulta satisfactoria.

Para ejemplificar este algoritmo, conviene retomar el ejemplo utilizado en la Tabla (6.3), y corregir el conjunto de datos de F_{211n} . Esta opción tiene la ventaja, impuesta por el modo de cálculo, de asegurar un valor muy razonable para la media de la distribución.

Tabla 6.5
Corrección por incremento finito de la función F_{211n}

Participante	g_{211n}	$g_{211n} + 0,5$	RG_{211n}	F_{211n}
1	0,0026	0,5026	0,7089	0,0485
2	0,0055	0,5055	0,7110	0,0505
3	-0,0044	0,4956	0,7040	0,0435
4	0,0048	0,5048	0,7105	0,0500
5	-0,0061	0,4939	0,7028	0,0423
6	0,0042	0,5042	0,7101	0,0496
7	0,0055	0,5055	0,7110	0,0505
8	0,0081	0,5081	0,7128	0,0523
9	-0,0013	0,4987	0,7062	0,0457
10	0,0018	0,5018	0,7084	0,0479
11	0,0023	0,5023	0,7088	0,0483
12	0,0048	0,5048	0,7105	0,0500
Promedio	0,0023		0,7087	0,0483
Raiz prom	0,0483	Dif	0,6605	

6.4 Pruebas de hipótesis aplicables

Ahora bien, sucede que estos promedios son sólo resultados muestrales, entendidos como aproximaciones de las verdaderas preferencias. Cabe entonces investigar si las

diferencias encontradas son estadísticamente significativas. Para encontrar una respuesta, es posible aplicar en forma repetida la prueba estadística de comparación de medias para variables dependientes.

En efecto, sea D_{sr} una variable aleatoria que representa la diferencia entre las valoraciones globales asignadas por cada individuo a las alternativas s y r respectivamente, donde el promedio de $A^{(s)}$ es mayor al de $A^{(r)}$. Entonces los elementos de la muestra de D_{sr} están dados por:

$$\mathbf{d}_{srn} = \mathbf{v}_{sn} - \mathbf{v}_{rn} \quad \text{con } 1 \leq n \leq N \quad (6.27)$$

Luego, la hipótesis nula $H_0: E(D_{sr}) = 0$ — no hay diferencia significativa entre los verdaderos pesos globales promedio de las alternativas s y r respectivamente — contra la alternativa $H_1: E(D_{sr}) > 0$ — hay una diferencia significativa — puede analizarse mediante la aplicación del siguiente estadístico:

$$\mathbf{T} = \frac{\overline{\mathbf{d}_{sr}}}{\mathbf{S}_{sr}/\sqrt{N}} \quad (6.28)$$

Para cuyo cálculo deben obtenerse previamente:

$$\overline{\mathbf{d}_{sr}} = \frac{\sum_{n=1}^N \mathbf{d}_{srn}}{N} \quad \text{y} \quad \mathbf{S}_{sr} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (\mathbf{d}_{srn} - \overline{\mathbf{d}_{sr}})^2}{N-1}} \quad (6.29)$$

Cuando H_0 es cierta, la cantidad T tiene distribución t de Student con $(N-1)$ grados de libertad. Ahora bien, para facilitar la decisión sobre la hipótesis, puede calcularse la probabilidad

$$P[\mathbf{T} \geq t_0 / E(D_{sr}) = 0] = p \quad (6.30)$$

En general, si p es muy pequeño, se rechaza H_0 , pues es poco probable conseguir un valor mayor o igual que el obtenido suponiendo que la hipótesis nula es verdadera. El valor de p puede ser hallado mediante la aplicación de diversos algoritmos.

Por otra parte, la cantidad de pruebas repetidas que deben realizarse es:

$$\mathbf{L} = \frac{\mathbf{l}(\mathbf{l}-1)}{2} \quad (6.31)$$

Una cuestión importante es cuál de los dos tipos de errores que pueden cometerse al efectuar una prueba de hipótesis, es el más preocupante en esta aplicación. Ello debe permitir determinar el nivel de significación α más adecuado. Cabe recordar que valores pequeños de p indican que se debe rechazar H_0 .

En este caso, el error de tipo I (ETI) conduce a identificar diferencias, que en realidad no existen. De este modo puede obtenerse una ordenación que no responde a la realidad. En cambio, el error de tipo II (ETII) conduce a no detectar diferencias existentes. Con ello debe retomarse el análisis y en todo caso replantear el ordenamiento.

En opinión del autor de esta Tesis, el error más preocupante es el primero, debido a que conduce a encontrar diferencias entre dos alternativas cuando realmente no las hay. Por lo tanto, deben tomarse recaudos para reducir o controlar la probabilidad de este tipo de error.

Para acotar esta probabilidad, se debe tener en cuenta que al poner a prueba múltiples hipótesis se incrementa la posibilidad de rechazar injustamente una hipótesis y por ende el valor p que se considera suficiente para rechazar la hipótesis nula individualmente, puede conducir a cometer un error del tipo mencionado en la prueba global. En otras palabras, se debe adoptar un criterio que permita detectar aquellas pruebas en las cuales se estaría rechazando H_0 cuando en realidad no corresponde.

Una alternativa para controlar el ETI es recurrir a la tasa de falso descubrimiento (FDR) propuesta por Benjamini y Hochberg (1995). En el artículo mencionado se discuten diferentes maneras de ganar potencia en la realización de pruebas de hipótesis múltiples. Posteriormente, en Benjamini y Yekutieli (2001), se profundiza el estudio realizado anteriormente con el tratamiento de la posible dependencia (positiva o negativa), entre las variables bajo estudio.

A partir de esa base, se propone un modo de aplicar este concepto en aquellas situaciones donde la correlación entre variables es negativa. La expresión adoptada para determinar el valor límite de p es:

$$p_{(i)} \leq \frac{\alpha}{L \sum_{m=1}^L \frac{1}{m}} \quad (6.32)$$

donde α representa el nivel de significación elegido por el investigador para las pruebas individuales, L es la cantidad de hipótesis puestas a prueba y $p_{(i)}$ es el valor p obtenido en la prueba de H_i .

El procedimiento consiste en ordenar los valores p en orden ascendente, compararlos con el segundo miembro de la desigualdad (6.32) y encontrar el máximo número M de prueba para el cual se verifica la desigualdad. De este modo se rechazan H_1, H_2, \dots, H_M con una considerable ganancia en la potencia de las pruebas y la consiguiente disminución de probabilidad de cometer ETI.

6.5 Consideraciones sobre los contenidos de este Capítulo

El capítulo propone estrategias convenientes para obtener muestras de las preferencias individuales, tanto con la modalidad de agregación por Ponderación Lineal, como por el método TODIM. Una vez obtenidas dichas estimaciones, resuelve la tercera y última fase de los Procesos DRV, el ordenamiento de las alternativas.

Cabe recordar que un requisito clave de este planteo, es que las valoraciones globales de las alternativas puedan ser consideradas variables aleatorias con distribución de probabilidad Normal. Además de la coincidencia con otras áreas del conocimiento, esto permite reducir los requerimientos de cálculo.

En efecto, los métodos propuestos para realizar la estimación son simples, al punto que parten de la adopción de la media aritmética como estimador. Esta condición satisfactoria deriva en diversos beneficios, entre los que se puede destacar el hecho de que no se requiere de recursos de software especiales.

7. Aplicación simulada para ilustrar las prácticas operativas

El presente capítulo tiene por objeto mostrar paso a paso la modalidad de aplicación del método desarrollado y explorar algunos de los recursos estadísticos que pueden utilizarse. Con ese fin, plantea un problema genérico de toma de decisiones y simula las actividades y posibles resultados que se pueden obtener.

Si bien las fases uno (Estabilización) y tres (Ordenamiento), de los Procesos DRV, se reproducen en diversas variantes, sólo se utiliza en la fase dos (Agregación), la opción de Ponderación Lineal. Esto es así para evitar agregar material que no es imprescindible, dado que a continuación, en el Capítulo ocho, en una de las aplicaciones se utiliza la modalidad TODIM.

En cuanto a las características del ejemplo, se analiza un problema de decisión donde es necesario ordenar de la mayor a la menor preferencia un conjunto de cuatro alternativas, que se identifican a_1 , a_2 , a_3 , a_4 . El problema debe ser analizado por un grupo de doce decisores. Se desea que las opiniones de todos queden reflejadas en el ordenamiento que finalmente se adopte y se espera que la decisión sea compartida por el conjunto y respaldada en sus consecuencias prácticas posteriores.

7.1 Comparación de alternativas bajo el primer criterio

De acuerdo a la presente propuesta, la primera actividad del grupo de trabajo es elaborar especificaciones que definan de manera rigurosa las alternativas, esto es, en qué consiste cada una. La segunda, es adoptar un conjunto de criterios que permitan elaborar juicios sobre las mismas. Con esa finalidad, se adoptan los cuatro siguientes: C_1 , C_2 , C_3 , C_4 . Además se acuerda que todas las funciones de utilidad tienen como objetivo la maximización.

A continuación, el grupo analiza en conjunto las alternativas en cuanto al criterio C_1 . Intercambian opiniones y conocimientos, a fin de facilitar la generación de una perspectiva compartida. En un momento adecuado del análisis y para verificar si se ha logrado compatibilizar las opiniones, cada uno de los miembros expresa sus preferencias mediante una asignación de utilidades, de manera individual e

independiente. Las mismas se estandarizan posteriormente en la escala (0,1), mediante la división por la suma.

El análisis de las utilidades asignadas permite determinar si el trabajo ha sido suficiente. Con esa finalidad es conveniente observar la descomposición de la suma de cuadrados, construida conforme a la expresión (1). De este modo se obtiene la siguiente división:

Tabla 7.1

Distribución inicial de sumas de cuadrados bajo el criterio C₁

Fuente de variación	Sumas de cuadrados
S de C entre elementos	0,7391
S de C dentro de los elementos	0,2056
S de C total	0,9447
Indice de Variabilidad Remanente	22,42%

La suma de cuadrados total es 0,9447. Esto incluye las variaciones en las preferencias individuales respecto a cada elemento y las variaciones entre los promedios de los distintos elementos.

De ese total, la variabilidad dentro de los elementos es 0,2056. Esta cantidad se obtiene de agregar las sumas de cuadrados obtenidas para cada elemento, a partir de las diferencias entre las asignaciones efectuadas por los doce miembros del equipo y el promedio de las mismas. Dichas sumas se presentan en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2

Sumas de cuadrados por elementos

a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	S de C dentro
0,01681	0,09000	0,05200	0,04675	0,20556

La tabla anterior sugiere que la mayor variabilidad subsiste en el elemento dos. De todos modos, estos resultados sólo son indicativos debido a que las utilidades deben considerarse como variables dependientes.

En cuanto al cálculo del indicador Índice de Variabilidad Remanente (IVR), se tiene:

$$SCU = \frac{N-1}{3K} = 0,9167 \text{ con } N=12 \text{ y } K=4$$

$$IVR = S \text{ de C dentro} / SCU = 0,20556 / 0,9167 = 0,2242$$

Pero el análisis de las utilidades asignadas debe reforzarse con la aplicación de herramientas estadísticas que ayuden a verificar si se cumple la condición de normalidad. Con esa finalidad pueden utilizarse diagramas de Box-Plot, como en la Figura 7.1.

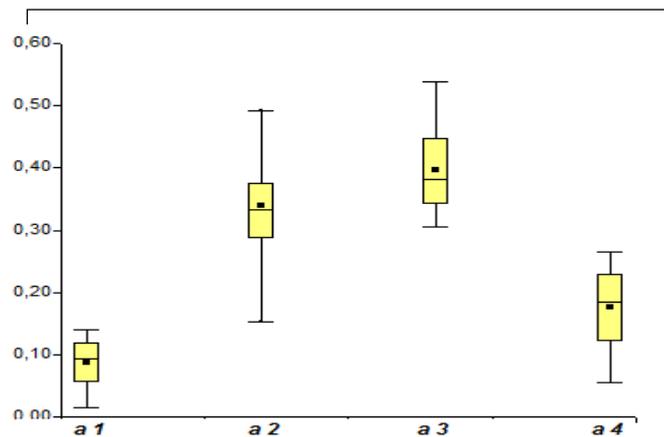


Figura 7.1 Diagramas de Box-Plot para las utilidades asignadas bajo el criterio C_1

De manera adicional, puede aplicarse la prueba de Shapiro–Wilks, conforme a Mahibbur y Govindarajulu (1997), para analizar si es posible suponer que las cuatro muestras han sido obtenidas de distribuciones normales, dado que dicha distribución es una característica del estado estable. Los resultados se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 7.3

Resultados de Shapiro–Wilks para utilidades bajo criterio C_1

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(una cola)
Altern 1	12	0,09	0,04	0,94	0,6201
Altern 2	12	0,34	0,09	0,97	0,9353
Altern 3	12	0,40	0,07	0,94	0,5988
Altern 4	12	0,18	0,07	0,94	0,6770

La prueba tiene como estadístico a W^* . Para decidir si la hipótesis se rechaza puede observarse el valor p de probabilidad. En efecto, valores p por debajo de 0,1 generalmente se interpretan como condición de rechazo, en tanto que valores mayores permiten no rechazar. En este caso los p son elevados, por lo que la suposición de normalidad se considera razonable para todas las alternativas.

Con estos resultados, puede considerarse que el grupo ha logrado una posición de acuerdo y que no resulta necesario continuar el análisis de preferencias respecto al criterio uno. Se comienza entonces el estudio con referencia en el criterio 2.

7.2 Continuación de la fase de estabilización

El grupo trabaja en plenario, en el análisis de las alternativas bajo el segundo criterio. Se presta especial atención a la definición del criterio y al modo de encuadrar los elementos comparados, dentro de la escala adoptada para el mismo.

Luego de una primera ronda de análisis se obtienen los siguientes resultados descriptivos:

Tabla 7.4

Distribución inicial de sumas de cuadrados bajo el criterio C₂

Fuente de variación	Sumas de cuadrados
S de C entre elementos	0,2706
S de C dentro de los elementos	0,3723
S de C total	0,6429
Indice de Variabilidad Remanente	40,62%

Los diagramas de caja se presentan en la Figura 7.2.

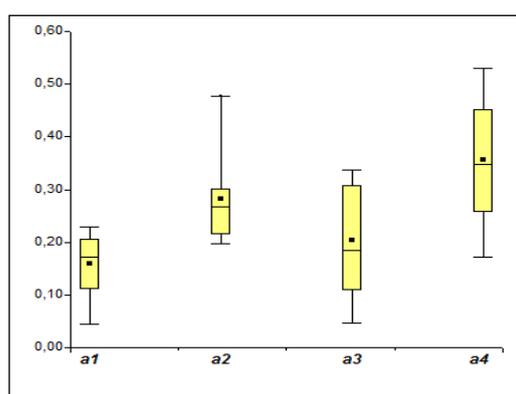


Figura 7.2 Diagramas de Box-Plot bajo el criterio C₂

En tanto, para la prueba de normalidad se tiene:

Tabla 7.5

Resultados de Shapiro–Wilks para utilidades bajo el criterio C₂

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (una cola)
Altern 1	12	0,16	0,06	0,86	0,0738
Altern 2	12	0,28	0,08	0,88	0,1761
Altern 3	12	0,20	0,10	0,88	0,1457
Altern 4	12	0,36	0,11	0,95	0,7367

Estos resultados son completamente diferentes a los anteriores. En primer lugar el IVR toma un valor elevado. Además, los diagramas de caja no parecen compatibles con el supuesto de distribución normal, dado que el elemento dos tiene una fuerte asimetría y los correspondientes a los elementos tres y cuatro tienen un rango entre cuartiles extenso. Por último, la prueba de Shapiro-Wilks muestra probabilidades p menores a las obtenidas anteriormente y en el caso de la primera alternativa el valor es muy bajo (valor p = 0,0738).

Con estos resultados, parece claro que el grupo de trabajo debe retomar el análisis bajo el criterio dos. Luego de una nueva ronda, cada uno de los integrantes procede a emitir su opinión en forma de utilidades. En esta oportunidad, los resultados son los siguientes:

Tabla 7.6

Distribución en la segunda ronda bajo el criterio C₂

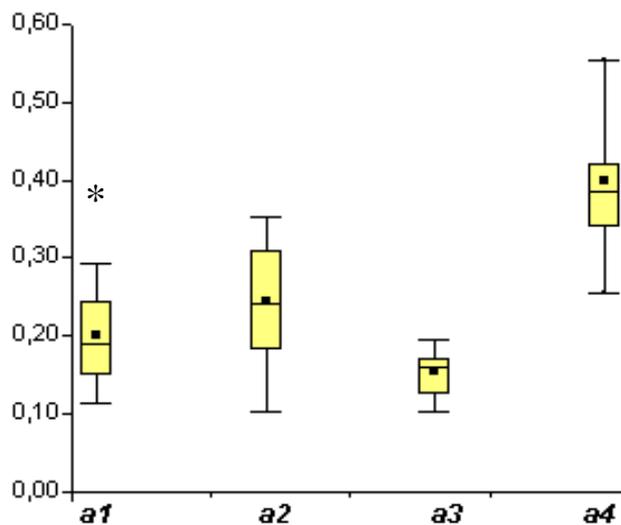
Fuente de variación	Sumas de cuadrados
S de C entre elementos	0,3784
S de C dentro de los elementos	0,2097
S de C total	0,5881
Indice de Variabilidad Remanente	22,88%

Este resultado es alentador, dado que se ha logrado reducir de manera significativa el IVR. Por otra parte, la prueba de Shapiro-Wilks arroja los siguientes resultados:

Tabla 7.7*Shapiro – Wilks para segunda ronda bajo el criterio C₂*

Variable	n	Media	D.E.	W*	p
Altern 1	12	0,21	0,07	0,95	0,7502
Altern 2	12	0,24	0,08	0,93	0,5109
Altern 3	12	0,15	0,03	0,96	0,8115
Altern 4	12	0,39	0,08	0,98	0,9536

Es decir que todos los subconjuntos parecen ser aceptablemente normales. Pero los diagramas de caja muestran el siguiente comportamiento:

*Figura 7.3* Box-Plot de la segunda ronda bajo el criterio C₂

En la alternativa uno se detecta un dato muy alejado. Es decir que al valorar la primera alternativa, uno de los miembros del equipo asigna utilidades significativamente mayores que el resto de los integrantes. En esas condiciones, el equipo retoma el estudio para compatibilizar los puntos de vista. Tanto el integrante apartado como el grupo en general, necesitan comprender los motivos del alejamiento. Por último, una tercera valoración conduce a lo siguiente:

Tabla 7.8*Distribución en la tercera ronda bajo el criterio C₂*

Fuente de variación	Sumas de cuadrados
S de C entre elementos	0,4046
S de C dentro de los elementos	0,1761
S de C total	0,5807
Indice de Variabilidad Remanente	19,21%

Con lo que se manifiesta una nueva reducción de la variabilidad remanente. Además, los diagramas de caja ya no evidencian valores extraños.

En la continuidad del estudio, se analizan las alternativas tres y cuatro. Además se comparan los criterios entre sí, con una mecánica idéntica a la presentada.

7.3 Estimación y ordenamiento por Ponderación Lineal

Como se plantea en el Capítulo 6, la agregación de las preferencias para cada uno de los doce individuos se realiza con la expresión siguiente:

$$v_{in} = \sum_{j=1}^J w_{jn} * u_{ijn} \quad (7.1)$$

Con esta modalidad, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 7.9

Utilidades globales por persona y por alternativa

i	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
1	0,138	0,318	0,180	0,364
2	0,120	0,227	0,352	0,302
3	0,155	0,262	0,264	0,319
4	0,186	0,301	0,212	0,300
5	0,171	0,230	0,250	0,348
6	0,208	0,194	0,195	0,403
7	0,109	0,349	0,243	0,299
8	0,151	0,300	0,205	0,344
9	0,122	0,186	0,271	0,421
10	0,153	0,303	0,283	0,261
11	0,162	0,189	0,231	0,417
12	0,150	0,261	0,277	0,312
Promedios	0,1522	0,2601	0,2470	0,3408

Según la tabla, por ejemplo, la persona uno asigna utilidad global 0,138 a la primera alternativa y utilidad 0,18 a la tercera. Por su parte, la tercera persona asigna 0,155 a la alternativa uno y 0,264 a la tercera.

Ahora bien, los promedios parecen sugerir que la preferida es a₄, seguida por a₂, luego a₃, y finalmente a₁, como la menos preferible. Pero estas diferencias pueden ser

sólo aparentes, dado que subsiste alguna variabilidad en las opiniones y que la información disponible debe ser considerada como una muestra.

Para lograr una mejor precisión se realizan las pruebas de comparaciones pareadas, cuyos resultados se resumen en la Tabla 7.10.

Tabla 7.10

Pruebas de comparaciones pareadas por parejas de elementos

Relación	Diferencia Promedio	Desvío de la diferencia promedio	Estadístico t	Probabilidad p
a ₄ con a ₂	0,081	0,028	2,844	0,008
a ₄ con a ₃	0,094	0,024	3,919	0,001
a ₄ con a ₁	0,189	0,016	12,100	5,340E-08
a ₂ con a ₃	0,013	0,023	0,56	0,291
a ₂ con a ₁	0,108	0,020	5,436	1,000E-04
a ₃ con a ₁	0,095	0,019	4,998	2,000E-04

En la tabla anterior la mayoría de las probabilidades p son menores a 0,1. Sin embargo, puede que alguna de estas probabilidades bajas se originen en errores de tipo I. Para controlar esa posibilidad, se determinan las probabilidades de contraste con la expresión planteada en el capítulo anterior:

$$p_{(i)} \leq \frac{\alpha}{L \sum_{m=1}^L \frac{1}{m}} \quad (7.2)$$

Luego se ordenan los valores p de manera creciente a fin de facilitar su comparación con las de contraste. Para un nivel de significancia general de 0,05, los resultados se resumen en la Tabla 7.11.

Tabla 7.11

Comparación entre valores p y probabilidades de contraste

	a ₄ con a ₁	a ₂ con a ₁	a ₃ con a ₁	a ₄ con a ₃	a ₄ con a ₂	a ₂ con a ₃
Valor p obtenido	5,34 E-08	1 E-04	2 E-04	0,001	0,008	0,291
Prob contraste	0,0034	0,0068	0,0102	0,0136	0,017	0,0204

En las cinco primeras comparaciones el valor p es inferior a la probabilidad de contraste, con lo que deben rechazarse las hipótesis de que las medias son iguales, para

dichas comparaciones. La relación se invierte al comparar los elementos a_2 y a_3 , donde no se encuentran diferencias significativas entre los mismos.

Con estos resultados, puede deducirse que la alternativa 4 es preferible a las restantes. Las alternativas dos y tres son equivalentes. A su vez, estas son preferibles a la uno.

7.4 Consideraciones sobre los contenidos de este Capítulo

La intencionalidad del presente capítulo es hacer evidente la modalidad de aplicación de los Procesos DRV. Para ello se trabaja con un ejemplo donde todas las utilidades fueron obtenidas mediante generación de impulsos aleatorios y distorsionadas cuando ello resulta conveniente, para ilustrar situaciones anormales.

Interesa rescatar del ejemplo, en refuerzo de aspectos que se anticiparon, que los procesos se pueden aplicar con recursos simples, disponibles en la mayoría de las organizaciones. Esto es, una computadora personal, un proyector, alguna pizarra.

Por otra parte los métodos estadísticos utilizados no requieren una elevada formación previa para su comprensión. De hecho, se habla de estadística descriptiva, se recurre a la distribución normal de probabilidades, cálculos y conceptos que en general son asequibles para un usuario no preparado especialmente.

8. Aplicaciones reales

El método de toma de decisiones en grupo que se propone en este trabajo, ha sido utilizado en varias aplicaciones reales. El presente capítulo se orienta a presentar dichas aplicaciones y explicar las características particulares de las mismas.

En primer término corresponde analizar un ejercicio diseñado para estudiar la potencialidad de la metodología. El problema de toma de decisiones planteado en la ocasión, consistió en el diseño de un plan de capacitación para una empresa. El grupo de personas intervinientes, se prestó voluntariamente a la experiencia.

El segundo caso es el de un pequeño grupo que debe diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los elementos electromecánicos instalados en diques de la Provincia de Córdoba. En este caso, el método se usa para asegurar la capacitación de los integrantes y para verificar que han logrado puntos de vista comunes sobre las fallas y sus posibles correcciones.

El capítulo cierra con la aplicación en una entidad cooperativa que ofrece distintos servicios en la ciudad de Río Ceballos, cercana a Córdoba. En este caso, el problema consiste en la definición de un proceso que permite decidir el plan de compras especiales que debe realizar la entidad. Este caso particular se resuelve con las dos modalidades de agregación del método: Ponderación Lineal y TODIM.

En capítulos posteriores, se analiza y ejercita la posibilidad de que Procesos DRV pueda aplicarse de manera combinada con otras herramientas, con un enfoque que habitualmente se caracteriza como Multi metodológico. Así entonces, se estudian los problemas vinculados con la implementación de diferentes sistemas de gestión, vinculados con Mantenimiento Preventivo, Calidad y selección de personas.

8.1 Ejercicio: Diseño de un Plan de Capacitación

La primera aplicación como tal, del método de apoyo a la toma de decisiones, se realizó mediante un ejercicio diseñado especialmente, es decir que no se trata de un problema real. A los fines de la experiencia, se organizó un curso denominado “Toma de decisiones en equipo”, actividad de inscripción abierta, organizado como parte de la oferta extra curricular de una Universidad, sita en Córdoba, Argentina. El proyecto

formativo logró interesar a dieciséis personas, siete de las cuales eran empleados de la misma Universidad y otras nueve, se desempeñaban en empresas del medio.

Los participantes presentaban características muy diversas en cuanto a sexo, ocupación, edad, formación e inquietudes. Por ejemplo, las distribuciones referidas a edad, formación y actividad laboral, se reflejan en las Tablas 8.1, 8.2 y 8.3.

Tabla 8.1

Distribución de Participantes por edad

Edad	Frecuencia	Porcentaje
Entre 21 y 30	5	31,25%
Entre 30 y 40	7	43,75%
Mayor a 40	4	25,00%

Tabla 8.2

Distribución de Participantes por Nivel de Estudios

Estudios	Frecuencia	Porcentaje
Universitario incompleto	7	43,75%
Universitario completo	6	37,50%
Posgrados	3	18,75%

Tabla 8.3

Distribución de Participantes por Condición Laboral

Actividad laboral	Frecuencia	Porcentaje
Docentes de la Universidad	2	12,50%
Administrativos de la Universidad	5	31,25%
Empleados de empresas privadas	9	56,25%

La actividad se desarrolló a lo largo de nueve horas de un día sábado. Una primera dificultad a superar consistió en que los participantes no integraban un mismo grupo de trabajo. Más aún, en general ni siquiera existía conocimiento previo entre sus integrantes. Por lo tanto, era necesario facilitar un primer acercamiento, generar percepciones comunes y un nivel básico de cohesión.

Con esta finalidad se dedicaron las primeras cuatro horas del ejercicio a revisar conceptos básicos sobre grupos de trabajo, características, evolución y dinámicas convenientes. El análisis de estos conceptos fue acompañado con ejercicios típicos de coaching ontológico, los cuales permitieron generar motivación y vínculos.

Al sólo efecto de evidenciar la evolución en lo actitudinal, se reproducen en las Figuras 8.1 y 8.2, fotos tomadas durante la experiencia. La primera al comienzo de los juegos, cuando las resistencias individuales permanecían dominantes y la segunda, en el tramo final de la mañana, con mejores condiciones para la integración.



Figura 8.1 Momento de inicio del juego



Figura 8.2 Imagen del último juego

La segunda parte de la reunión se dedicó al estudio de un problema de decisión, en el cual una empresa debe establecer prioridades para su programa de capacitación interna. Se inició el análisis con la selección, realizada en plenario, de cuatro criterios de decisión. Las alternativas, fueron impuestas por el enunciado del problema planteado.

A los efectos de este trabajo, interesa en particular la primera etapa del proceso, dado que por limitaciones de tiempo, se utilizó la fase de estabilización DRV sólo para la determinación de los pesos de los criterios. La segunda parte, consistente en la asignación de utilidades a las alternativas, se concretó mediante una actividad en plenario.

A los fines de ponderar los criterios, se utilizó una función de utilidad normalizada que se obtiene con la modalidad descrita a continuación:

- Se ordenan los elementos, desde la mayor hasta la menor preferencia o importancia, reconociendo relaciones de preferencia estricta o de equivalencia.
- Se comparan por parejas los elementos adyacentes en el preorden mencionado, respondiendo a la pregunta: “¿cuántas veces es preferible c_k respecto de c_{k-1} ?”. Se expresa el resultado con una relación de la siguiente forma: $c_k \succ h_k c_{k-1}$, donde h_k es una cantidad definida en el campo de los números reales, de tal modo que el uno representa indiferencia y por ejemplo, un tres significa que el primero de los elementos de la relación es tres veces más interesante que el otro.
- Se obtienen las utilidades globales haciendo:

$$\begin{aligned} U(c_1) &= 1 \\ U(c_2) &= h_2 * 1 \\ U(c_3) &= h_3 * h_2 * 1 \end{aligned} \tag{8.1}$$

$$U(c_k) = h_k * h_{k-1} * \dots * 1$$

La expresión genérica es:
$$U(b_k) = \prod_{i=2}^k h_i$$

- Se estandarizan las ponderaciones en la escala (0, 1), mediante la división con la sumatoria de las utilidades obtenidas.

$$w(c_k) = U(c_k) / \sum_{k=1}^K U(c_k) \quad (8.2)$$

Es importante destacar que para aumentar la posibilidad de que los participantes emitieran sus juicios con independencia y dado que no se disponía de una PC para cada uno, se utilizó una planilla que orientaba paso a paso la determinación de utilidades. Es decir que cada persona estableció su propio ordenamiento para criterios y alternativas, asignó utilidades y las normalizó, conforme al procedimiento presentado anteriormente.

A continuación, la muestra de utilidades normalizadas fue analizada con un software estadístico y los resultados se publicaron con auxilio de un proyector. Entre las imágenes proyectadas se encuentra la que se reproduce en la Figura 8.3. Cabe precisar que en la misma, los números enteros señalados en el eje de abcisas representan a los diferentes criterios.

Estos resultados son compatibles con el comportamiento esperable en grupos de personas con preferencias homogéneas, dado que se verifica una tendencia a concentrar las preferencias. En el caso de los criterios 2 y 4, se coincide acerca de que son los más importantes. De hecho, los diagramas correspondientes a los criterios dos y cuatro, son compatibles con la normalidad y la falta de comportamiento gaussiano se manifiesta sólo en los criterios que parecen ser menos relevantes.

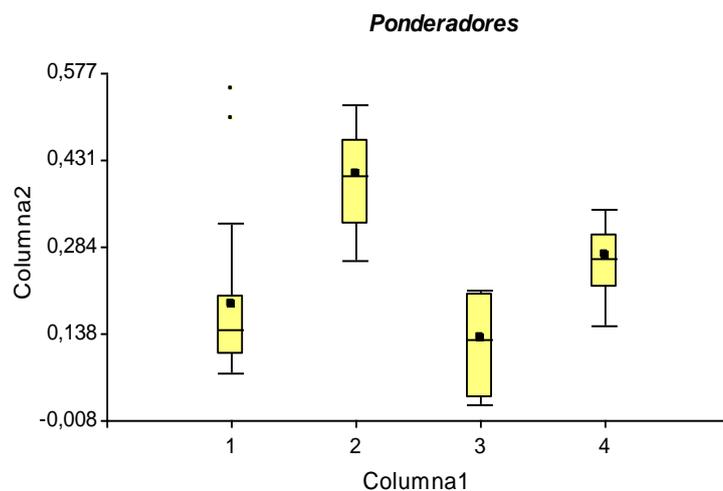


Figura 8.3 Gráficos estadísticos para los pesos de los criterios

Un aporte de este diagrama es que orienta el resto del análisis. Para buscar acuerdos no es preciso replantear todo el problema, dado que las diferencias de

opiniones deben estar centradas en los criterios que evidencian alejamientos respecto de la distribución normal, en especial, en este caso, en la valoración del primer criterio.

En efecto, los valores extraños que aparecen en el criterio uno, indican que sólo dos de las dieciséis personas han tenido un punto de vista diferente al respecto. En el ejercicio que se narra, se transmitieron estas consideraciones a los participantes y a partir de esos resultados, se realizó una breve reflexión en plenario donde la pareja de participantes con opiniones alejadas, consideró que la diferencia tuvo su origen en una errónea comprensión del problema analizado. De este modo, se arribó a un rápido acuerdo de opiniones.

8.2 Capacitación para el diseño de un Sistema de Mantenimiento Preventivo

A continuación, se describe de manera parcial, una experiencia realizada dentro del ámbito del Laboratorio de Ingeniería y Mantenimiento Industrial (LIMI), dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

En efecto, el LIMI se comprometió a realizar el diseño de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Preventivo, para los elementos electromecánicos de trece diques que se operan en la Provincia de Córdoba. Con esa finalidad, se formó un grupo de trabajo integrado por cinco personas, dos de los cuales eran técnicos y el resto ingenieros.

Para el diseño del programa de mantenimiento fue necesario relevar los recursos existentes en cada una de las presas, con la siguiente finalidad

- Determinar las condiciones de operatividad en que se encuentran los medios de control y sistemas auxiliares instalados.
- Detectar los modos de falla de los medios de control y sistemas auxiliares.
- Establecer prioridades de intervención en base a un análisis de criticidad de las componentes del sistema.
- Definir un sistema de mantenimiento preventivo, que evita que en el futuro estos medios pierdan nuevamente sus funciones.

En la identificación de modos de falla y el establecimiento de prioridades en el plan de recuperación, se decidió aplicar una adaptación del conocido método “Análisis de modos de falla y sus efectos” (FMEA). Con esa finalidad, se adoptaron los siguientes criterios:

- Gravedad de la falla: incidencia sobre la operatividad del mecanismo y riesgos potenciales para la obra o para las personas.
- Probabilidad de ocurrencia: posibilidad de que se verifiquen los peores efectos de la falla si eventualmente se produce la misma en el futuro próximo, esto es de algún modo, el nivel de riesgo que entraña la misma.
- Capacidad de detección de la falla: capacidad potencial de los controles implementados, para detectar la falla una vez que la misma se ha producido.

Para comenzar, el grupo se abocó a definir de manera taxativa cada uno de los criterios y las categorías a utilizar. Para el criterio Gravedad, se adoptaron los siguientes cuatro niveles: Crítica, Severa, Moderada y Leve.

Asimismo, se asignaron utilidades para cada categoría, conforme a la función anteriormente planteada. En efecto, cada participante debió especificar cuánta mayor gravedad hay en el elemento Moderada, que en el elemento Leve; cuánto más es Severa que Moderada y así sucesivamente. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 8.4.

Tabla 8.4

Relaciones entre categorías estimadas por los participantes y utilidades resultantes, primera etapa, criterio Severidad

		Comparaciones		
		Crítica - Severa	Severa - Moderada	Moderada - Leve
Participante 1	Valoración	4	5	2
	Utilidad	40	10	2
Participante 2	Valoración	2	4	2
	Utilidad	16	8	2
Participante 3	Valoración	1,5	1,43	1,3
	Utilidad	2,7885	1,859	1,3
Participante 4	Valoración	2	4	6
	Utilidad	48	24	6
Participante 5	Valoración	4	3	2
	Utilidad	24	6	2

La tabla anterior, fue estandarizada con la regla de la suma. Se obtuvieron así los valores de la Tabla 8.5.

Tabla 8.5

Utilidades estandarizadas, primera etapa, criterio Severidad

Utilidades Normalizadas				
Participante	Crítica	Severa	Moderada	Leve
1	0,755	0,189	0,038	0,019
2	0,593	0,296	0,074	0,037
3	0,401	0,268	0,187	0,144
4	0,608	0,304	0,076	0,013
5	0,727	0,182	0,061	0,030
Promedios	0,617	0,248	0,087	0,049

En las Tablas 8.6 y 8.7 se analizan las distribuciones de probabilidad para las utilidades estandarizadas en cada categoría. Para ello se utiliza la prueba de normalidad de Pearson, según lo planteado por Rencher, A. (2002).

Tabla 8.6

Niveles críticos para la Prueba de Normalidad de Pearson con cinco participantes

Nivel de significación (α)	.10	.05	.025	.01
Valores críticos de $\sqrt{b_1}$	0,821	1,049	1,207	1,337

Tabla 8.7

Resultados para las Pruebas de Normalidad, primera etapa, criterio Severidad

	Prueba de Hipótesis de Pearson			
	Crítica	Severa	Moderada	Leve
Valores obtenidos de $\sqrt{b_1}$	-0,614	-0,264	1,232	1,386
Resultado	Normal con $\alpha = 0,1$	Normal con $\alpha = 0,1$	No Normal con $\alpha = 0,025$	No Normal con $\alpha = 0,025$

Puede verse que para las dos primeras categorías (Crítica y Severa), las distribuciones obtenidas no difieren significativamente de valores que puedan provenir de una distribución normal; mientras que para las dos últimas (Moderada y Leve), el apartamiento de una posible normalidad es muy pronunciado. Este alejamiento de la

normalidad indica que no se ha logrado estabilizar el proceso. Con esa evidencia, se hace necesario profundizar la discusión dentro del grupo para facilitar los acercamientos.

Otro modo de valorar la estabilidad alcanzada puede hacerse mediante el análisis de la partición de la suma de cuadrados. En la Tabla 8.8, se muestra la Suma de Cuadrados dentro de Grupos para cada categoría.

Tabla 8.8
Sumas de cuadrados por categorías, primera etapa, criterio Severidad

Sumas de cuadrados dentro de grupos				Acumulada
Crítica	Severa	Moderada	Leve	
0,07831	0,01373	0,01344	0,01173	0,1172

Corresponde señalar que los Procesos DRV cuentan con una manera adicional de inferir si se ha alcanzado la estabilidad. Se trata del indicador denominado Índice de Variabilidad Remanente (IVR). En este caso se obtiene el valor que refleja la Tabla 8.9.

Cabe recordar que en los capítulos anteriores se consideró que un IVR de 35%, puede adoptarse como inaceptable. Esta nueva evidencia refuerza la idea de que es necesario retomar la discusión para detectar y analizar, cuáles fueron los aspectos en los que no se consiguió un punto de vista común.

Tabla 8.9
Determinación del Indicador IVR, primera etapa, criterio Severidad

Suma de Cuadrados de Referencia (Uniforme) SCU	0,3333
<i>Resumen de las sumas de cuadrados (S de C)</i>	
S de C entre elementos	1,0080
S de C dentro de los elementos	0,1172
S de C total	1,1252
<i>Índice de Variabilidad Remanente</i>	35,16%

Claro está que en la segunda fase no es preciso partir desde cero; de hecho, las pruebas de hipótesis de la Tabla 8.7, invitan a pensar que las diferencias de opiniones se originan en la valoración de las dos primeras categorías. Es decir, el grupo parece

discriminar de manera similar las categorías crítica y severa, pero sus ponderaciones se separan al valorar moderada y leve.

Por ese motivo, se retomó en plenario el análisis de estas clases. Se revisaron las definiciones y se plantearon ejemplos, empleando consignas como las siguientes: “tal tipo de falla, en que clase debe encuadrarse”.

Luego del intercambio de opiniones, se solicitó que los participantes realizaran nuevamente las valoraciones efectuadas al comienzo de la reunión. Las nuevas utilidades se presentan en la Tabla 8.10.

Tabla 8.10
*Relaciones entre categorías estimadas por los participantes
y utilidades resultantes, segunda etapa, criterio Severidad*

		Comparaciones		
		Crítica - Severa	Severa - Moderada	Moderada - Leve
Participante 1	Valoración	3	4	2
	Utilidad	24	8	2
Participante 2	Valoración	3	3	2
	Utilidad	18	6	2
Participante 3	Valoración	6	4	2
	Utilidad	48	8	2
Participante 4	Valoración	2	4	3
	Utilidad	24	12	3
Participante 5	Valoración	3,3	3	2
	Utilidad	19,8	6	2

Las utilidades estandarizadas con la regla de la suma, se presentan en la Tabla que se presenta a continuación.

Tabla 8.11
Utilidades estandarizadas, segunda etapa, criterio Severidad

Utilidades Normalizadas				
	Crítica	Severa	Moderada	Leve
Participante 1	0,686	0,229	0,057	0,029
Participante 2	0,667	0,222	0,074	0,037
Participante 3	0,814	0,136	0,034	0,017
Participante 4	0,600	0,300	0,075	0,025
Participante 5	0,688	0,208	0,069	0,035
Promedios	0,691	0,219	0,062	0,028

Nuevamente se aplica la descomposición de la suma de cuadrados, cuyos resultados se presentan en la Tabla 8.12. Es importante observar cómo los nuevos valores han disminuido notoriamente respecto de los obtenidos en la primera valoración.

Tabla 8.12
Sumas de cuadrados por categorías, segunda etapa, criterio Severidad

Sumas de cuadrados dentro de grupos				Acumulada
Crítica	Severa	Moderada	Leve	
0,02393	0,01373	0,00118	0,00026	0,0391

En cuanto al análisis de normalidad, en esta segunda oportunidad, no se observan distribuciones que se alejen de la normal como para ser rechazadas en las pruebas de normalidad (ver TABLA 8.13), agregado a ello, el nivel de significación de la prueba es elevado, lo cual reduce la probabilidad de cometer Error Tipo II (el más crítico en este caso).

Tabla 8.13
Resultados para las Pruebas de Normalidad, segunda etapa, criterio Severidad

	Prueba de Hipótesis de Pearson			
	Crítica	Severa	Moderada	Leve
Coefficiente de asimetría $\sqrt{b_1}$	0,661	-0,065	-0,968	-0,372
Resultados	Normal con $\alpha = 0,1$	Normal con $\alpha = 0,1$	Normal con $\alpha = 0,05$	Normal con $\alpha = 0,1$

Por su parte, el Índice de Variabilidad Remanente confirma los resultados anteriores, como se observa en la Tabla 8.14. Su valor en este caso es de 11,73%, o sea que se redujo notablemente respecto del obtenido en la primera etapa de trabajo.

Esta variación muestra cómo el grupo evolucionó hacia posiciones de mayor homogeneidad y a su vez, el modo en que la profundización del análisis permitió lograr un conocimiento más profundo de la problemática abordada. En resumen, el grupo consiguió una definición compartida de los cuatro niveles a utilizar, incrementó

su nivel de conocimiento conjunto y realizó un entrenamiento entrenamiento que razonablemente debe ser muy conveniente para la aplicación posterior.

Tabla 8.14

Determinación del Indicador IVR, segunda etapa, criterio Severidad

Suma de Cuadrados de Referencia (Uniforme) SCU	0,3333
<i>Resumen de las sumas de cuadrados (S de C)</i>	
S de C entre elementos	1,3981
S de C dentro de los elementos	0,0391
S de C total	1,4373
<i>Índice de Variabilidad Remanente</i>	11,73%

Para el análisis de los criterios restantes, probabilidad y detección, se aplicó la misma modalidad y se obtuvieron resultados similares. En efecto, el criterio probabilidad alcanzó la estabilidad en el primer intento, en tanto que para el criterio Detección fueron necesarias dos etapas.

8.3 El caso de la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos

Se concretó la aplicación de los Procesos DRV, con la modalidad de agregación TODIM, sobre un problema de la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos de la ciudad de Río Ceballos. La entidad provee agua potable y otros servicios, a esta ciudad ubicada treinta kilómetros al norte de Córdoba, en Argentina.

Desde el año 2007 la organización desarrolla un programa de mejora continua de sus servicios y procesos. La Universidad Nacional de Córdoba apoya este desarrollo con métodos y capacitación en planificación y seguimiento a nivel directivo, identificación, diseño y control de procesos y servicios, realización de procesos de toma de decisiones grupales, en los diferentes niveles.

Durante una asamblea realizada en el mes de agosto de 2007, la entidad decidió implementar un sistema de capitalización escalonado con el objetivo de contar con fondos que permitan la realización de inversiones. Esta decisión se ve favorecida por un aumento en los ingresos a partir de la diversificación de los servicios prestados, los cuales demuestran tener mayores niveles de rentabilidad que el servicio principal de la cooperativa, de distribución de agua potable.

La condición favorable, permite prever que para próximos periodos existirá disponibilidad de montos importantes para destinar a la compra de bienes o servicios. A su vez, se considera que los métodos actuales de adquisición de bienes pueden ser mejorados con la implementación de una metodología que propicie la participación del personal de las distintas áreas, en el proceso de decisión de las compras planificadas.

En consecuencia, se decide incluir como uno de los ejes del “Plan de Mejoras del Proceso de Compras”, la elaboración de un presupuesto de carácter periódico que permita la participación de las áreas, denominado “Presupuesto Participativo”. La elaboración conjunta de este presupuesto, tiene como objetivo que las compras se realicen en base a una planificación previa de los gastos y que la elección de las erogaciones extraordinarias, responda a criterios consensuados que reflejen las líneas directrices y que sean beneficiosos para la organización.

Claro que esto plantea un cambio importante: la organización se muestra dispuesta a avanzar hacia la toma de decisiones grupales, es decir permitir la participación en las mismas de sus miembros y buscar la toma de decisiones consensuadas. Por supuesto, es conveniente que todos los participantes acuerden con la decisión y con los criterios en los que se basa dicha determinación.

A fin de diseñar el proceso de toma de decisiones, se realizaron cuatro encuentros con dependientes de la entidad. En el primero, se planteó el siguiente objetivo para la experiencia: “Lograr consenso grupal sobre un conjunto de criterios de evaluación y sus respectivas categorías, que permitan establecer un orden de preferencia para los elementos No Fijos del presupuesto semestral.”

Dicho de otro modo, se trata de establecer criterios consensuados, definir categorías dentro de cada criterio y valorar tanto las categorías como los criterios, a fin de obtener una herramienta objetivada y ágil para decidir el destino de los fondos. La idea es que las áreas de la organización realicen solicitudes según sus necesidades particulares y que la herramienta permita establecer prioridades sobre las mismas.

El equipo de análisis del problema comprende a las siguientes áreas: Miembros del Consejo de Administración; Responsables de Áreas; Gerente; Encargado de Planta Potabilizadora; Encargado de Comunicación. La cantidad total de participantes es de doce personas. Las tareas de coordinación son realizadas por tres profesores de la Universidad.

Durante la primera reunión se presentó la metodología de trabajo con ejercicios ad-hoc, orientados a evidenciar la variedad de percepciones existentes en el grupo. De este modo, los integrantes pudieron reconocer la existencia de una diversidad de opiniones y la necesidad de lograr un acuerdo o consenso, que otorgue validez al sistema objetivo para la decisión.

En una actividad desarrollada en plenario, los participantes seleccionaron los criterios a utilizar y trabajaron sobre la definición de los mismos. Asimismo, determinaron y validaron, las categorías a considerar dentro de cada criterio junto con los rangos que delimitan cada una de estas categorías.

8.3.1 Asignación de utilidades y ponderación de criterios mediante Procesos DRV.

La fase de estabilización implementada tuvo cinco etapas. Las cuatro primeras orientadas al análisis de las categorías identificadas dentro de cada criterio. La quinta, dirigida a comparar y priorizar los criterios entre sí.

Cada una de las etapas se inició con una discusión sobre el significado de los términos. Por ejemplo, para el criterio Urgencia, se elaboró una definición sobre lo que se entiende por severa o por leve. Además se requirieron ejemplos de cada caso. Cuando el análisis compartido se consideró satisfactorio, los participantes debieron adjudicar utilidades a las diferentes categorías.

En este momento del análisis, se estableció como importante que las personas trabajaran de manera independiente, es decir que las asignaciones de cada uno, no se encontraran influenciadas por las de otros miembros. Para favorecer esta independencia, los participantes volcaron sus percepciones en un formulario escrito, que fue entregado a los coordinadores.

En el ejemplo del criterio Urgencias, se pidió especificar cuánto más importante es atender una urgencia severa que una moderada, una moderada que una leve y así consecutivamente.

Las especificaciones permitieron construir, suponiendo transitividad de las preferencias, una escala única. Finalmente las puntuaciones se transformaron a la escala que va de cero a uno, mediante la estandarización por la regla de la suma.

En cada etapa se analiza si puede considerarse que el proceso alcanzó una condición estable o si es preciso retomar el análisis compartido. Para verificar la

estabilidad se utilizan el indicador IVR y se contrastan las distribuciones de utilidades con el modelo Normal de las probabilidades. Para el indicador, los resultados se resumen en la Tabla 8.15.

Tabla 8.15

Determinación del Indicador IVR, primera etapa, criterio Urgencia

Suma de Cuadrados de Referencia (Uniforme) SCU	0.9167
Resumen de las sumas de cuadrados (S de C)	
S de C entre elementos	1.7005
S de C dentro de los elementos	0.1086
S de C total	1.8091
Índice de Variabilidad Remanente	11.85%

En general un IVR menor al 25%, puede considerarse indicio de estabilidad. Además, el comportamiento estadístico de las utilidades debe ser aproximadamente Normal, lo cual puede verificarse aplicando a cada una de las categorías el gráfico de normalidad (QQ-Plot), como se muestra en la Figura que sigue.

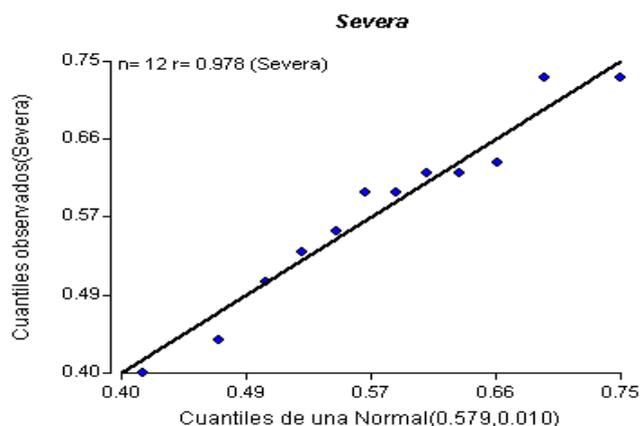


Figura 8.4 QQ-Plot para la categoría Severa en el criterio Urgencia

En la segunda etapa del estudio correspondió analizar las categorías del criterio Objetivos. La cuestión es particularmente importante porque se trata de los objetivos generales establecidos en la planificación anual de la Cooperativa. Esto es, esta fase del estudio condujo a que directivos y dependientes analicen en conjunto los objetivos establecidos y que, en cierto modo, establezcan prioridades para los mismos.

Luego de una extensa actividad en torno al verdadero significado e importancia de los objetivos adoptados, durante la primera ronda de asignaciones de utilidad se obtuvo un IVR de 60,41%, lo que indicó que era preciso continuar el análisis del tema.

Es conveniente analizar los diagramas de caja obtenidos en esta primera aproximación. El diagrama de la Figura 8.5 evidencia que las discrepancias están centradas en la valoración de los siguientes objetivos: aplicación de enfoque de procesos y orientación a la satisfacción del usuario. En efecto, parece que en términos relativos algunos miembros del grupo conceden poca importancia al segundo, en tanto que sobrevaloran el tercero.

Debe notarse que, pese a que los objetivos estaban acordados con anterioridad, el ejercicio de asignar niveles de importancia para los mismos evidenció importantes diferencias entre personas que aparentemente, tenían un buen acuerdo previo. Vistos estos resultados, el equipo de trabajo debió retomar la discusión para luego emitir nuevas valoraciones. En este segundo intento se obtuvo un IVR de 25,43% y las distribuciones de frecuencia fueron compatibles con la normalidad.

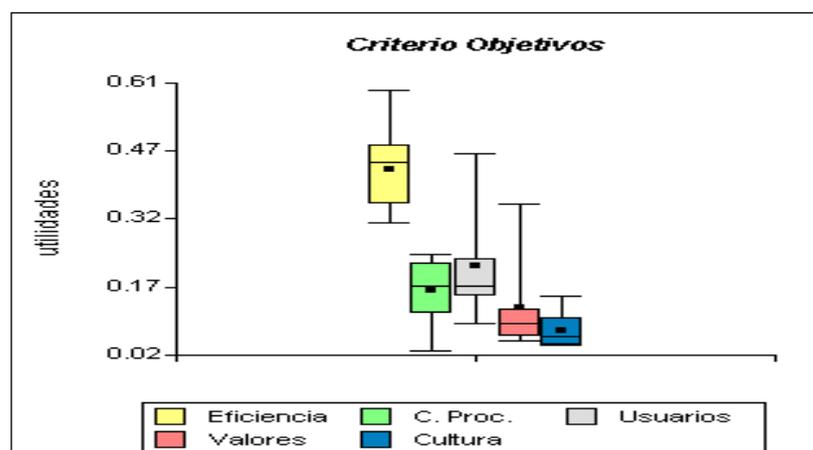


Figura 8.5 Diagramas de caja para la asignación de utilidades a los objetivos anuales

Luego de examinar con esta dinámica todas las ramas del árbol de decisión, es posible realizar una representación del mismo. En la Tabla 8.16 se representan los elementos que integran el árbol de la decisión. En la primera columna se especifican los criterios adoptados, en la segunda el promedio de los pesos asignados a cada criterio, la tercera contiene las categorías consideradas en cada criterio y la cuarta reproduce los promedios de las utilidades que el grupo asigna a cada clase.

Tabla 8.16
Asignación de pesos y utilidades

Criterio	Peso del criterio	Categorías	Utilidad de cada categoría
<i>Urgencia</i>	0,22	<i>Severa</i>	0,569
		<i>Leve</i>	0,232
		<i>Moderada</i>	0,129
		<i>Menor</i>	0,069
<i>Cumplimiento de los Objetivos Generales de la Cooperativa</i>	0,53	<i>Eficiencia en la prestación del servicio</i>	0,462
		<i>Análisis, control y mejoramiento de procesos internos</i>	0,264
		<i>Satisfacción de los usuarios</i>	0,13
		<i>Difusión de valores cooperativos</i>	0,09
		<i>Generación de espacios culturales alternativos</i>	0,054
<i>Costo</i>	0,16	<i>Bajo</i>	0,42
		<i>Moderado</i>	0,31
		<i>Alto</i>	0,18
		<i>Muy Alto</i>	0,09
<i>Autofinanciamiento</i>	0,09	<i>Genera Superávit</i>	0,41
		<i>Aproximadamente autosustentable</i>	0,29
		<i>Intermedio</i>	0,2
		<i>Bajo</i>	0,1

8.3.2 Agregación en la primera experiencia de compra.

Para aplicar el Presupuesto Participativo, las distintas áreas de la Cooperativa deben proponer conforme a sus necesidades, los elementos a comprar. Cada elemento-alternativa se clasifica en las diferentes categorías y recibe el peso que le corresponde. Finalmente, se efectúa la agregación, la cual puede realizarse con Ponderación Lineal o con la formulación TODIM.

En la primera aplicación de este método, se analizaron las cinco alternativas siguientes:

- A₁: computadoras personales. Refiere a la adquisición de equipos informáticos tipo PC, para reforzar los cursos de computación que se realizan en la entidad.
- A₂: aire acondicionado. Consiste en la instalación de un sistema de refrigeración en la Casa Azul, espacio destinado a las actividades culturales y realización de espectáculos.
- A₃: utilitario. Considera la compra de una camioneta para transportar máquinas y herramientas.
- A₄: martillo neumático. Adquisición destinada a facilitar el trabajo de las cuadrillas.

- A₅: asistencia externa. Contratación de un servicio de consultoría para continuar el estudio de procesos y el desarrollo de un sistema de gestión de la calidad.

El gerente de la entidad clasificó las alternativas según los estándares definidos en la Tabla 8.16. La clasificación resultante se muestra en la Tabla 8.17:

Tabla 8.17
Clasificación de las Alternativas

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
Criterios	PC	Aire acond	Utilitario	Martillo	Asistencia
Urgencia	Menor	Leve	Moderada	Severa	Moderada
Objetivos	Cultura	Cultura	Satisfacción Usuario	Eficiencia	Procesos
Costo	Moderado	Muy alto	Muy alto	Bajo	Alto
Autofinanciamiento	Sustenta	Superávit	Bajo	Intermedio	Sustenta

8.3.3 Agregación con la formulación TODIM en la primera experiencia de compra.

Las utilidades asignadas se estandarizaron a la escala (0,1) con la regla de la suma. Los promedios para los pesos de los criterios con su correspondiente cálculo de a_{rc} y las utilidades estandarizadas, se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 8.18
Pesos de los criterios y Tasas de Substitución

Criterios	Pesos criterios	Tasas de substitución
Urgencia	0,225	0,427
Objetivos	0,528	1
Costos	0,155	0,295
Autofinanciamiento	0,092	0,173

Tabla 8.19
Utilidades para la aplicación de TODIM

	A1	A2	A3	A4	A5
Urgencia	0,096	0,057	0,179	0,488	0,179
Objetivos	0,055	0,055	0,134	0,48	0,276
Costos	0,284	0,083	0,083	0,385	0,165
Autofinancia	0,225	0,318	0,078	0,155	0,225

A partir de esta información básica, se determina la matriz de dominancia global, conforme a lo planteado oportunamente. Los resultados para diferentes valores del parámetro Θ , se reproducen en la Tabla 8.20.

Tabla 8.20

Matrices de dominancia (global y estandarizada), para diferentes valores de Θ

Alternativas	$\Theta = 1$			$\Theta = 5$			$\Theta = 10$		
	v	ξ	Rango	v	ξ	Rango	v	ξ	Rango
A1	-5,494	0,432	3	-0,474	0,218	3	0,153	0,145	3
A2	-8,017	0,197	4	-1,239	0,049	4	-0,392	0	5
A3	-10,13	0	5	-1,458	0	5	-0,374	0,004	4
A4	0,589	1	1	3,053	1	1	3,361	1	1
A5	-3,185	0,548	2	0,708	0,48	2	1,195	0,423	2

Según estos resultados, la alternativa preferida es la adquisición del martillo neumático, seguida por la contratación de asistencia y la compra de computadoras. Por otra parte, la sensibilidad respecto del parámetro de pérdidas es baja, ya que al cambiar Θ desde uno hasta diez, sólo se advierte una inversión de rangos entre las alternativas A_2 y A_3 .

Ahora bien, como se planteó en el Capítulo 6, es conveniente analizar si las diferencias encontradas entre las valoraciones globales pueden considerarse significativas. Esto puede hacerse, mediante la aplicación de TODIM con cada uno de los integrantes del grupo.

Para mantener la homogeneidad global, es necesario determinar las ganancias y pérdidas de todo el grupo conforme al signo de $(\bar{w}_{ij} - \bar{w}_{mj})$. Por otra parte, una vez obtenidas las ganancias o pérdidas correspondientes a cada comparación entre las alternativas (i, j) , es preciso analizar si las mismas conservan la distribución normal. Cuando esta condición no se verifica, la suma de una constante que aleje el valor respecto de cero, antes de obtener la raíz cuadrada, permite salvar el problema conservando de manera aproximada la varianza.

En el caso de la Cooperativa, se reproducen a continuación los valores globales que se obtienen para todo el grupo, cuando se adopta Θ igual a diez. Son los que se reproducen en la Tabla 8.21.

Para probar la significación, es preciso calcular las diferencias entre los valores asignados por los integrantes a cada par de alternativas. Luego se prueba la hipótesis

de que la media de las diferencias es igual a cero, contra la alternativa de que es distinta.

Tabla 8.21

Valores globales para el grupo con Θ igual a diez

Integrante	PC	AIRE	KANGOO	MARTILLO	ASISTEN
	A1	A2	A3	A4	A5
1	0,145	-0,397	-0,290	3,237	1,174
2	0,087	-0,419	-0,388	3,784	1,137
3	0,238	-0,379	-0,319	3,130	0,899
4	0,134	-0,382	-0,187	3,418	0,751
5	0,233	-0,401	-0,273	3,033	1,280
6	0,131	-0,392	-0,350	3,425	1,197
7	0,086	-0,420	-0,323	3,547	1,269
8	0,118	-0,352	-0,646	3,210	1,418
9	0,197	-0,391	-0,667	3,379	1,324
10	0,161	-0,390	-0,600	3,212	1,376
11	0,180	-0,370	-0,347	3,342	1,059
12	0,130	-0,386	-0,441	3,380	1,298

Los resultados de las pruebas se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 8.22

Resultados de las pruebas de hipótesis

Compara	t	p	p corregida	Significación
A2-A4	-17,7686	9,469E-10	0,0025	Sí
A3-A4	-15,2592	4,757E-09	0,0067	Sí
A1-A4	-13,2897	2,024E-08	0,0113	Sí
A1-A2	11,2015	1,177E-07	0,0160	Sí
A2-A5	-7,8984	3,687E-06	0,0208	Sí
A4-A5	7,2951	7,762E-06	0,0257	Sí
A1-A5	-4,8690	0,0002477	0,0306	Sí
A3-A5	-4,8454	0,0002573	0,0356	Sí
A1-A3	3,4401	0,002762	0,0405	Sí
A2-A3	0,0778	0,469694	0,0455	No

Cabe aclarar que cuando Θ es igual a uno, todas las diferencias resultan significativas. En cambio, la tabla muestra que con Θ igual a diez, no se encuentran diferencias significativas entre las alternativas A_2 y A_3 .

8.3 Consideraciones sobre los contenidos de este Capítulo

En las aplicaciones presentadas en este capítulo, se pone énfasis en la etapa de estabilización del proceso de toma de decisiones. Cabe recordar que para los DRV, la decisión final o el ordenamiento de las alternativas es un resultado deseable e importante, pero que también se considera valiosa la mejora en la cohesión del grupo de trabajo y en el nivel de conocimiento compartido.

Ello se pone de manifiesto en el modo en que los grupos respondieron a la actividad. En el primer caso, un conjunto de dieciséis personas que inicialmente no se conocían, logró articular sus opiniones en torno a un problema y pudo superar con facilidad las diferencias iniciales.

Cabe consignar que al final de la actividad, se pidió a los participantes que completaran un breve cuestionario, donde la pregunta central era la percepción sobre lo aprendido. Las respuestas resultaron concluyentes y coincidentes sobre que consideraban la herramienta como muy aplicable a su trabajo inicial y sobre que se habían sentido muy a gusto durante la actividad.

Por su parte, el grupo de mantenimiento preventivo no sólo participó activamente en el ejercicio, sino que además pudo transferir exitosamente los acuerdos alcanzados, a la evaluación de los diques. Una verificación posterior de la congruencia entre las valoraciones formuladas por los distintos subgrupos, realizada por muestreo, evidenció buen nivel de concordancia.

En el caso de la Cooperativa, el interés general del grupo de personas se puso en evidencia permanentemente. Una frase dicha por el Presidente del organismo al conseguir estabilizar el proceso, resume el nivel de satisfacción que generó el ejercicio: “Habíamos hablado una y otra vez de los objetivos de la Cooperativa, pero creo que recién ahora los comprendemos por completo y los internalizamos”.

Es decir, estas experiencias invitan a pensar que los Procesos DRV plantean consignas claras y atractivas para los integrantes de los grupos. Además, obtienen los resultados esperados en tanto que los grupos pueden aumentar su nivel de acuerdo mediante este tipo de ejercicios.

9. Aplicaciones en Mantenimiento Preventivo

En la actualidad, las organizaciones de producción prefieren que su personal trabaje en pequeños grupos y que desarrolle un cierto nivel de consenso a la hora de tomar decisiones. Más aún, el análisis grupal de problemas se considera deseable tanto en el nivel estratégico como en el táctico, incluso estas prácticas se extienden hasta el nivel operativo. Por ejemplo, en las empresas que adoptan la denominada Lean Production (Producción Ajustada), la organización se divide en pequeños grupos llamados habitualmente células y la responsabilidad por las decisiones se transfiere a las mismas. Como evidencia de esta tendencia, se puede consultar Angelis et al. (2011); Wilson & Roy (2009); Chowdary & George (2012).

Entre las cuestiones que los grupos de trabajo deben analizar, se encuentra la adopción y gestión de adecuados sistemas de mantenimiento de los medios o activos necesarios para la producción. Un requerimiento para estos sistemas es la determinación de niveles de criticidad que permitan ordenar el desarrollo del mismo y establecer prioridades para la aplicación de acciones (Rausand, 1998). Por supuesto, es deseable que exista un cierto consenso en torno a estas prioridades.

De este modo, son varios los métodos que se utilizan habitualmente para establecer esas prioridades. En la mayoría de los casos se adoptan variantes del Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (en Inglés Failure Modes and Effects Analysis: FMEA) o del Análisis de la Causa Raíz (en Inglés Root-Cause Analysis: RCA). Adicionalmente, para establecer prioridades y para definir el modo de mantenimiento más adecuado, se han propuesto métodos que utilizan diversos recursos de la Investigación de Operaciones, como por ejemplo Teoría de la Utilidad Multiatributo Aditiva, Conjuntos Borrosos, Teoría de Conjuntos Rugosos, Redes Neuronales y Programación por Metas.

Para establecer los niveles de criticidad de cada equipo o de sus modos de falla, en general se definen valoraciones de manera única o individual, sin considerar de modo explícito las posibles diferencias entre las personas o áreas vinculadas al problema. Sin embargo, el diseño e implementación de un Sistema de Gestión de Mantenimiento puede ser considerado como un problema complejo, porque para analizar el mismo es preciso considerar aspectos materiales, económicos, sociales e individuales (Vidal, 2006).

De hecho, para la implementación exitosa de estos sistemas, es preciso comprometer a diferentes actores, en un marco de incertidumbre y con información imprecisa o incompleta. Por otro lado, debe recordarse que la posibilidad de incrementar los niveles de compromiso se incrementa cuando se reducen los niveles de ruido en todos los procesos vinculados a la toma de decisiones (Georgiou, 2008). Con esa lógica, parece recomendable que las criticidades se determinen con la participación y el acuerdo de los diferentes actores vinculados al problema.

En el caso estudiado en este capítulo, una gran empresa productora de fármacos, se habían realizado al menos dos intentos previos de implementación de un sistema de gestión del mantenimiento. Ambos habían fracasado por diversas causas, entre las cuales se destacaba la falta de acuerdo entre los grupos vinculados al tema: producción, calidad y mantenimiento.

Por ese motivo, se decidió realizar la determinación de niveles de criticidad mediante un ejercicio de toma de decisiones en grupo y se integró el equipo de trabajo con quince personas que desempeñan roles de liderazgo en las áreas mencionadas. Por supuesto, en el inicio del proceso de análisis, las diferencias entre los integrantes del grupo generaban un elevado nivel de ruido que afectaba los datos. Frente a ese requerimiento, se aplicó el método Procesos DRV, desarrollado en el marco de la presente Tesis.

Este capítulo realiza dos aportes. Por un lado propone y aplica una modalidad para la determinación de niveles de criticidad en forma grupal, que facilita la implementación del sistema de gestión del mantenimiento porque permite generar un cierto consenso sobre las prioridades. Como se analiza en el apartado 10.2, se trata de una estrategia poco utilizada en gestión de mantenimiento.

Por otro lado, el capítulo describe una nueva aplicación exitosa del método desarrollado, en tanto que ofrece una evidencia práctica de que el trabajo de análisis conjunto, orientado a la reducción del ruido en los procesos de toma de decisiones grupales, puede contribuir de manera significativa al éxito de la iniciativa grupal y a la generación de compromiso con las acciones acordadas.

Corresponde precisar que los desarrollos presentados en este capítulo dieron origen a un artículo que fue publicado en la revista científica: *Pesquisa Operacional*. Esta publicación se encuentra indexada en varias redes internacionales, como por ejemplo Scopus. Los datos del artículo mencionado son los siguientes:

Zanazzi, J. L., Gomes, L. F. A. M., & Dimitroff, M. (2014). Group decision making applied to preventive maintenance systems. *Pesquisa Operacional*, 34(1), 91-105.

9.1 Sobre los Sistemas de Gestión de Mantenimiento

Debido al impacto de las actividades de mantenimiento sobre la productividad, se ha trabajado y trabaja arduamente en la elaboración de posibles alternativas de acción que mejoren los resultados de este tipo de actividades. Por supuesto, la posibilidad de base es operar con el denominado Mantenimiento a Rotura (Breakdown Maintenance), o Mantenimiento Correctivo (Corrective Maintenance), esto es, reparar los equipos cuando estos interrumpen su normal funcionamiento.

Otra opción que generalmente resulta más atractiva desde el punto de vista económico, es aplicar el Mantenimiento Programado (Planned Maintenance), enfoque bajo el cual las actividades son planificadas de modo que perjudiquen al mínimo los tiempos de producción. En el conjunto de posibilidades incluidas en este enfoque, entre las estrategias avanzadas más conocidas se encuentran el Mantenimiento Basado en los Tiempos (Time Based Maintenance: TBM) y el Mantenimiento Basado en las Condiciones (Conditional Based Maintenance: CBM).

El TBM se caracteriza por hacer el reemplazo o la reparación de piezas o componentes a intervalos regulares de tiempo, aún cuando se encuentren funcionando correctamente. En la literatura especializada se encuentran muchos artículos orientados a establecer los intervalos de tiempo más razonables para realizar estas intervenciones, considerando diversos criterios que habitualmente tienen a los costos o pérdidas económicas, como cuestión central. Ver por ejemplo a Damaso y García (2009) o Almeida (2012).

En cuanto al CBM, también llamado Mantenimiento Predictivo, el mismo se orienta a predecir las fallas potenciales mediante la aplicación de diversos recursos tecnológicos. El análisis de vibraciones, por ejemplo, permite prever posibles fallas en elementos rotantes, en tanto que la termografía es muy útil para prevenir fallas mecánicas o en instalaciones eléctricas. Diversas contribuciones ayudan a conocer este tipo de recursos y analizan las tecnologías más utilizadas (Jardine et al, 2006); (Heng et al, 2009).

Otra estrategia avanzada es el Mantenimiento Autónomo (Autonomous Preventive Maintenance: APM), que se caracteriza por transferir la responsabilidad primaria por el mantenimiento de los medios a los operadores de los mismos, quienes se encargan de “The necessary and basic support and repair of machines. In this case, maintenance includes tasks such as lubricating, adjusting, and replacing parts (Chen, 2013).

El problema de adoptar la estrategia de mantenimiento más adecuada ha dado origen a una extensa variedad de aportes especializados. Algunos trabajos proponen modelos de Apoyo Multicriterio a la Decisión para facilitar esta elección (Bevilacqua & Braglia, 2000), (Bertolini y Bevilacqua, 2006). En Arunraj y Maiti (2010) se analiza el problema de la conveniencia y se concluye que la elección debe considerar el nivel de criticidad del equipo. Otra afirmación interesante de este aporte es que para los de mayor criticidad, es preferible aplicar el CBM.

Ahora bien, también se han planteado propuestas de programas que integran varias de estas opciones de mantenimiento. Entre las más conocidas se encuentran el Mantenimiento Total Productivo (Total Productive Maintenance: TPM), que frecuentemente se reconoce como una componente clave de la Lean Production y cuenta al APM como recurso fundamental.

Otra opción ampliamente difundida es el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Reliability Centered Maintenance, RCM), planteado por Rausand (1998). Este método fue originado en la industria aeronáutica y transferido luego a diferentes tipos de sistemas productivos, mediante iniciativas orientadas a su difusión (Moubray, 2001).

Ahora bien, en varios de los enfoques posibles se apela a determinar el nivel de criticidad de los equipos. Sucede que habitualmente no hay recursos suficientes para poner bajo mantenimiento controlado a todos los medios, razón por la cual se apela a seleccionar aquellos que tienen mayor impacto, establecer prioridades diferentes y secuenciar su tratamiento.

La determinación del nivel de criticidad puede hacerse a nivel de equipo o a por tipos de fallas. Entre las herramientas más conocidas para este fin se encuentra el Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (Failure Modes and Effects Analysis: FMEA), el cual puede entenderse como una aproximación multicriterio y el Análisis de Causa Raíz (Root-Cause Analysis: RCA), que propone una búsqueda sistemática de la causa profunda de cada tipo de falla.

Sobre esa base inicial se han realizado diferentes propuestas de mejora, donde se evidencia el interés por considerar el efecto económico de la falla. Por ejemplo, Braglia (2000) propone un modelo de decisión multicriterio fundamentado en el AHP, que presta consideración especial a los efectos de falla expresados de manera económica. De modo adicional, en Alencar y otros (2012), se sugiere aplicar un modelo MCDM que utiliza los habituales criterios de ocurrencia y detectabilidad, a los cuales se agrega una expresión de los efectos a partir de las pérdidas, entre las que se consideran las fatalidades, los costos financieros y la disponibilidad de los medios. Chen (2013) combina los enfoques del FMEA y el RCA, en un método que tiene en cuenta la reducción de costos de manufactura y la productividad obtenida con el equipamiento.

En definitiva, existe una gran variedad de propuestas que facilitan la elección de la estrategia de mantenimiento más adecuada, pero en general estas aproximaciones trabajan sobre el supuesto de un punto de vista único e individual. De este modo, no se consideran las aparentes o reales diferencias entre los intereses y percepciones de las personas, o de las áreas que se vinculan con el mantenimiento. Sin embargo, estas diferencias son esperables en todas las organizaciones y pueden conspirar contra el éxito de cualquier sistema de gestión.

9.2 Adopción de criterios para valorar la criticidad

Los Procesos DRV fueron aplicados en una importante planta de producción farmacéutica. Los directivos de la organización se interesaron en el diseño e implementación de un sistema de mantenimiento preventivo que responda a los requerimientos de las áreas involucradas con el tema: Mantenimiento; Calidad y Producción.

En el inicio del proyecto existían múltiples diferencias de opiniones y posturas entre las áreas mencionadas, particularmente entre los Ingenieros y Técnicos del Departamento de Mantenimiento y los Químicos y Farmacéuticos que trabajan en las áreas restantes. Estas diferencias eran manifestaciones de situaciones de conflicto previas entre los miembros del grupo de trabajo.

El primer paso consistió en una actividad de entrenamiento de todos los interesados sobre el tema de sistemas de mantenimiento, una de cuyas finalidades fue

mostrar al grupo la necesidad de diseñar un entorno de análisis que permitiera establecer prioridades para el sistema. Como parte del entrenamiento se formaron grupos interdisciplinarios para analizar algunos de los procesos de la planta. Los resultados de los trabajos grupales fueron presentados posteriormente en una actividad plenaria que resultó muy enriquecedora, porque además de la descripción de los procesos productivos, fue posible intercambiar experiencias y conocimientos en el entorno del grupo.

El siguiente aspecto fue la adopción de una metodología consensuada que permitiera establecer niveles de criticidad por equipo y por tipo de falla para cada equipo. Con esa finalidad, el grupo adoptó los criterios que se presentan en la Tabla 1 y elaboró definiciones convenientes para cada uno de los criterios. La intención fue clarificar el significado de cada criterio.

Debe notarse que los criterios adoptados fueron relativamente pocos y que en definitiva, no varían sustancialmente de los utilizados en la versión habitual del FMEA. En particular, los participantes del ejercicio decidieron no incluir la posibilidad de detección en el elenco de criterios, aún cuando fue considerada la posibilidad.

De todos modos, lo importante aquí es que se realizó una construcción en conjunto que estimuló el intercambio de percepciones y conocimientos. Este intercambio y la obtención de un cierto consenso son muy convenientes para el éxito posterior del proyecto.

Tabla 10.1

Definición de los criterios utilizados para determinar criticidad

Código	Criterio	Explicación
1	Impacto sobre el Producto	Considera calidad como cumplimiento de las especificaciones, costos por no conformidades y por rechazos y calificación de equipos. Además tiene en cuenta a la seguridad de los consumidores.
2	Impacto sobre el Proceso	Metas de eficiencia y productividad, tasas de producción, disponibilidad de los medios, disponibilidad de métodos alternativos de producción o back up.
3	Mantenibilidad	Capacidad para ser mantenido. Considera facilidades para la reparación a partir de la disponibilidad de repuestos y acceso al servicio técnico.
4	Frecuencia de Falla	Cantidad de fallas anuales
5	Impacto sobre Medio Ambiente y Seguridad	Considera impactos sobre el medio ambiente por generación de residuos y la seguridad del personal de la planta

9.3 Ponderación de los criterios adoptados

La ponderación de los criterios que permiten determinar los niveles de criticidad de cada modo de falla, es crucial para una aplicación correcta de este proyecto. Si los miembros del grupo participan activamente en la asignación de prioridades, se incrementa la posibilidad de que sostengan posteriormente las consecuencias de esta asignación.

Durante la sesión en plenario, el grupo pareció alcanzar un razonable nivel de acuerdo. Para verificar si este aparente consenso es real, los Procesos DRV requieren que los integrantes del equipo de trabajo asignen ponderaciones a los criterios de manera individual. Una situación extrema cuando no existe una verdadera cohesión, es que las prioridades asignadas puedan ser representadas por una distribución uniforme con media igual a la inversa de la cantidad de elementos comparados. Un valor representativo de la suma de cuadrados dentro para esta situación es 0,933.

En este caso, al finalizar el primer ciclo de análisis, el Indicador IVR fue de 0,5774. Se trata de un valor alto e inaceptable, por lo cual fue necesario retomar la discusión, particularmente sobre aquellos aspectos donde se mantienen discrepancias importantes. Debe recordarse que se había trabajado mucho en conjunto y de hecho existía un aparente acuerdo, sin embargo, es frecuente que subsistan diferencias que no se evidencian en la actividad plenaria y que solo son reveladas al efectuar la asignación individual de prioridades.

Al finalizar el segundo ciclo de análisis, el IVR tomó un valor de 22,62 %, el cual puede considerarse aceptable. Por otro lado, este valor evidencia que las diferencias entre las prioridades y opiniones de los miembros del grupo, se han reducido considerablemente. La Tabla 10.2 refleja la evolución medida en dicho indicador.

Tabla 10.2
Evolución del indicador IVR

Cycle	Suma de cuadrados dentro de criterios	Porcentaje IVR
Dispersión inicial	0,933	100,0%
Primer ciclo de estudio	0,539	57,7%
Segundo ciclo de estudio	0,211	22,6%

También es interesante analizar cómo han variado las ponderaciones asignadas a cada uno de los criterios. La Tabla 10.3 refleja estas variaciones. Debe notarse que la mayor transformación de produjo en la prioridad asignada al criterio Producto, el cual pasó de un notable 0,58 a un valor más realista de 0,46.

Tabla 10.3
Variación de los parámetros obtenidos

	Ponderadores	
	Primero	Segundo
Impacto sobre el Producto	0,5826	0,4653
Impacto sobre el Proceso	0,2008	0,2263
Mantenibilidad	0,089	0,1288
Frecuencia de Falla	0,073	0,1055
Impacto sobre Medio Ambiente y Seguridad	0,0546	0,074

Antes de cerrar este apartado, es pertinente destacar que los resultados de la Tabla 10.3 evidencian que es factible reducir efectivamente el ruido que afecta a la información. Si se asume que la suma de cuadrados dentro representa ese ruido, con solo dos pasos de análisis ha sido posible reducir esa perturbación a poco más del veinte por ciento de su monto original.

9.4 Asignación de prioridades a los modos de falla

En la continuidad de este estudio, se desarrolló un ejercicio de asignación de utilidades a diferentes modos de falla, en tres equipos típicos de la planta. Estas utilidades se agregaron mediante la aplicación de ponderación lineal, para determinar el “Índice de Criticidad”. Los resultados obtenidos se reproducen en la Tabla 10.4.

Tabla 10.4
Equipamientos y modos de falla

Codigo	Equipamiento	Componente	Modo de falla
A1	Ice Bench	Electric Control Switch Board	Broken PLC
A2	Ice bench	Electric pump	Broken Seal
A3	Bottler	Feeding tube	Cut tube
A4	Bottler	Nitrogen tube	Choked tube
A5	Autoclave grande	Ducts	Punctured ducts
A6	Autoclave grande	Pressure gauge	Broken gauge

Un ordenamiento preliminar puede obtenerse mediante la determinación de promedios para cada uno de los modos de falla, como se muestra en la Tabla 10.5.

Tabla 10.5
Valores globales para las fallas analizadas

A1	A3	A5	A2	A6	A4
0,312	0,189	0,181	0,123	0,116	0,079

Debido a la acción de las Fuentes de Variabilidad que pueden afectar a estas observaciones, algunas de las diferencias encontradas pueden ser solo aparentes. Para analizar el nivel de significación de las diferencias encontradas, el método Procesos DRV contempla la aplicación de pruebas repetidas de comparación de medias, para variables dependientes. En este ejercicio, los resultados de estas pruebas se resumen en la Tabla 10.6.

Tabla 10.6.
Resultados de las pruebas de comparación de medias

Diferencia	A1-A3	A3-A5	A5-A2	A2-A6	A6-A4
p-valor	5,78E-12	0,12928	2,59E-08	0,199078	5,62E-08

En este caso, no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medias para las relaciones entre los modos de falla identificados como A3 y A5. Una situación similar se plantea al comparar los modos de falla A2 y A6. Con estos resultados, es razonable plantear el siguiente preorden: $A1 > A3 = A5 > A2 = A6 > A4$.

De este modo, se verifica que la presente propuesta ofrece una herramienta para determinar niveles de prioridad para los tipos de falla. Pero no es el único producto y quizás tampoco el más importante.

Además, la experiencia resulta interesante porque estimula en los miembros del grupo el desarrollo de una visión compartida del problema, ayuda a exteriorizar tanto ideas como conocimientos y eleva el nivel de compromiso posterior con las decisiones adoptadas. Por supuesto, esto contribuye a mejorar la comunicación entre los miembros del grupo y crea condiciones favorables para la implementación del Sistema de Gestión del Mantenimiento.

9.5 Sistematización del proceso de valoración de criticidades

Después de realizado un primer ejercicio de valoración, es necesario sistematizar el proceso, a fin de hacer posible su aplicación a lo largo del tiempo. Esto es, para cada equipo de la planta se requiere calificar todos los modos de falla identificados. Obviamente, la operatoria planteada implica una gran cantidad de trabajo que no puede ser realizado con el nivel de detalle empleado en los apartados anteriores.

Para clarificar esta cuestión conviene ejemplificar con números. Este sistema productivo cuenta con unos trescientos cincuenta equipos y para cada uno de ellos se tienen identificados entre diez y veinticinco modalidades de falla. Por lo tanto es preciso trabajar con al menos tres mil quinientas identificaciones que deben mantenerse actualizadas. En esas condiciones, ya no es factible operar como se hizo con los seis modos del apartado anterior.

Una respuesta a este requerimiento puede obtenerse si se delega la tarea de valoración sistemática y periódica en un pequeño conjunto de personas entrenados para la actividad. Claro está, es preciso que estos operadores trabajen en conformidad con los criterios generales y con un acuerdo básico en la forma de establecer juicios.

Con esa finalidad, en este caso se elaboraron escalas destinadas a facilitar la asignación de puntuaciones a los modos de falla. Dichas escalas también se construyeron mediante ejercicios grupales. En los ejercicios participaron los tres operadores que en este caso, fueron seleccionados para sistematizar las asignaciones y los profesionales que intervinieron en el estudio general.

Por ejemplo, para valorar el impacto sobre el producto y el proceso, se construyeron las escalas que se presentan a continuación. La Tabla 10.7 facilita la evaluación del impacto sobre el producto, en tanto que la Tabla 10.8 plantea el modo de valorar el impacto sobre el proceso.

Tabla 10.7*Guía para valorar impacto sobre el producto*

Puntaje	Explicación
0	No produce ningún impacto
1	Producto Apto. Con presencias de RFE.
2	Producto Apto. Con caída de rendimiento. Alto descarte de producto terminado.
3	Producto no apto. Se puede reprocesar. Tenemos buena capacidad de detección.
4	Producto no apto. Se puede reprocesar. Alto costo del reproceso y bajo rendimiento.
5	Producto no apto. Debe descartarse el lote. Tenemos buena detección.
6	Producto no apto. Fallas en la detección. No afecta a la salud del paciente. No se infunde.
7	Producto no apto. Fallas en la detección. Provoca efectos adversos leves en el paciente. Se infunde.
8	Producto no apto. No se detecta. Provoca efectos adversos leves en el paciente.
9	Producto no apto. No se detecta. Provoca efectos adversos graves en el paciente.

Tabla 10.8*Guía para valorar impacto sobre el proceso*

Puntaje	Explicación
0	No hay impacto.
1	Demora por falta de servicio. Causa evitable
2	Demora en etapa no crítica del proceso. Intervención de mantenimiento.
3	Demora por rotura de equipo.
4	Demora por rotura de equipo en etapa crítica.
5	Fallas que implican pérdidas de rendimiento de materia prima.
6	Falla que implica reproceso en etapa no crítica.
7	Falla que implica reproceso en etapa crítica.
8	Suspensión del proceso con pérdida de lote.
9	Perdida de lote y equipo.

Una definición similar se desarrolló para valorar mantenibilidad. El resultado de esa construcción colectiva se reproduce en la Tabla 10.9.

Tabla 10.9*Guía para valorar mantenibilidad*

Puntaje	Explicación
0	Acción simple para remediar fallas.
1	Acción simple más cambio de pieza que se encuentra en stock en almacén de mantenimiento.
2	Acción simple más cambio de pieza que no se encuentra en stock en almacén de mantenimiento.
3	Acción con tercerista habitual y con repuesto en mercado local.
4	Acción con tercerista habitual y con repuesto en mercado externo.
5	Acción externa sin cambio de pieza.
6	Acción externa con cambio de pieza fácil de conseguir.
7	Acción externa especializada. Repuesto difícil de conseguir.
8	Acción externa especializada. Repuesto a fabricar por proveedor.
9	No disponibilidad de repuesto ni de personal técnico de reparación.

En este caso, se utilizan las siguientes definiciones complementarias;

- Tercerista: proveedor habitual del servicio.
- Externo: proveedor no habitual del servicio.
- Especializada: indica que solo tiene un proveedor.

La Tabla 10.10 resume las pautas adoptadas para juzgar la frecuencia de la falla, en tanto que la Tabla 10.11 contiene las especificaciones orientadas a valorar el impacto sobre medio ambiente y seguridad.

Tabla 10.9

Guía para valorar frecuencias de fallas

Puntaje	Explicación
0	Porcentajes inferiores al 0,1 %
1	0,1% de sus usos
2	0.5% de sus usos.
3	1% de sus usos.
4	5% de sus usos.
5	15% de sus usos.
6	30% de sus usos.
7	40% de sus usos.
8	50% de sus usos.
9	> 50% de sus usos.

Tabla 10.10

Guía para valorar impacto sobre seguridad y medio ambiente

Puntaje	Explicación
0	La falla no tiene efectos sobre la seguridad ni el medio ambiente.
1	Incidente tratable con 1° auxilios sin daño en el medio ambiente.
2	Daño temporario, tratable, no más de 4 días perdidos. Derrame contenible y reversible
3	Daño temporario, más de 1 semana perdida. Derrame contenible de difícil limpieza.
4	Daño temporario, más de 1 mes perdido. Derrame contenible de difícil limpieza.
5	Incapacidad permanente del 10 %. Derrame de sustancias peligrosas
6	Incapacidad permanente del 20 %. Derrame de sustancias peligrosas con zona inutilizable temporalmente.
7	Incapacidad permanente del 30 %. Eliminación inadecuada de sustancias con capacidad infectiva.
8	Muerte de operario. Liberación de sustancias tóxicas contenibles sin afectar a terceros.
9	Explosiones o accidentes masivos. Liberaciones tóxicas masivas afectando a terceros.

Es importante aclarar que al utilizar las tablas anteriores, la selección de una categoría requiere que se cumpla al menos una de las especificaciones vinculadas con dicha categoría, es decir, no tiene que verificarse todo lo especificado. Por ejemplo, en la tabla anterior corresponde aplicar un cinco como impacto, cuando ocurre un accidente que provoca una incapacidad permanente del 10 % o cuando se derraman sustancias peligrosas.

La ejecución de esta modalidad de trabajo permite obtener valores globales de criticidad para cada uno de los modos de falla identificados en los equipos. Precisamente, la Tabla 10.11 resume los resultados obtenidos al juzgar diez fallas en tres máquinas diferentes.

En la dicha Tabla, los puntajes globales se obtienen por ponderación lineal, del modo planteado en la expresión siguiente.

$$V_i = \sum_{j=1}^5 w_j * p_{i,j} \quad 10.1$$

Para el cálculo anterior, V_i es el puntaje global asignado al modo de falla i , w_j es el ponderador del criterio j . Por otro lado, $p_{i,j}$ es el valor asignado bajo el criterio j , al modo de falla i .

Tabla 10.11

Ejemplos de criticidades globales para los modos de falla.

Equipo	Componente	Modo de Falla	Producto	Medio amb y Seguridad	Mantenibilidad	Proceso	Frecuencia de Falla	Puntos
Ponderaciones			0,475	0,074	0,126	0,22	0,105	
Autoclave Grande	Cámara	Pinchadura de camisa interna o externa	1	4	8	9	0	3,759
Autoclave Grande	Ductos	Pinchadura de ductos	1	4	8	7	0	3,319
Autoclave Grande	Válvula de control	Rotura mecanismo de apertura y cierre	1	0	6	7	0	2,771
Autoclave Grande	Sensor de temperatura	Rotura de bornera	1	0	2	7	1	2,372
Autoclave Grande	Sensor de temperatura	Rotura bobinado PT100	1	0	2	7	1	2,372
Autoclave Grande	Manómetro de presión	Rotura del manómetro	1	0	2	7	1	2,372
Autoclave Grande	Válvula reguladora de presión	Pinchadura de cámara	1	6	1	4	2	2,135
Autoclave Grande	Válvula reguladora de presión	Rotura de diafragma	1	0	1	4	1	1,586
Autoclave Grande	Válvula de ingreso de vapor	Pinchadura de cámara	0	6	1	4	0	1,45
Autoclave Grande	Válvula de descarga	Taponamiento de la válvula	1	0	6	0	2	1,441
Banco de Frío	Tablero de control electrónico	Rotura de PLC	5	8	8	4	0	4,855
Banco de Frío	Tablero de Control de Potencia	Sobre temperatura de componentes	2	8	3	4	1	2,905
Banco de Frío	Tablero de Control de Potencia	Rotura de relé de térmica	2	8	3	4	1	2,905
Banco de Frío	Sensor de temperatura tanque glicol	Rotura de bornera	5	0	3	0	1	2,858
Banco de Frío	Sensor de temperatura tanque glicol	Rotura de bobina	5	0	3	0	1	2,858
Banco de Frío	Sensor de nivel tanque glicol	Rotura de plaqueta electrónica	2	1	4	0	1	1,633
Banco de Frío	Intercambiador	Pinchadura de intercambiador	1	0	8	0	1	1,588
Banco de Frío	Casco y tubo	Pinchadura	1	0	8	0	1	1,588
Banco de Frío	Electrobomba a centrifuga	Rotura de bobinado	2	1	3	0	1	1,507
Banco de Frío	Electro bomba a punto de uso	Rotura de bobinado	2	1	3	0	1	1,507
Envasadora de frascos	Manguera dosificadora	Manguera cortada	3	2	1	7	2	3,449
Envasadora de frascos	Bomba dosificadora de producto	Rodillos	3	0	3	7	0	3,343
Envasadora de frascos	Disco organizador de ingreso de frascos	Rotura sensor fotoelectronico de	1	0	2	7	1	2,372
Envasadora de frascos	Disco organizador de ingreso de frascos	Rotura de motorreductor	1	0	2	7	0	2,267
Envasadora de frascos	Disco organizador de ingreso de frascos	Rotura variador de velocidad del motor	1	0	2	7	0	2,267
Envasadora de frascos	Disco organizador de ingreso de frascos	Rotura sensor inductivo fin de carrera	1	0	2	7	0	2,267
Envasadora de frascos	Bomba dosificadora de producto	Motor	1	0	2	7	0	2,267
Envasadora de frascos	Manguera alimentación de nitrogeno	Manguera cortada	1	8	1	4	0	2,073
Envasadora de frascos	Cinta transportadora salida de frascos	Rotura de rodillos de la cinta	1	0	3	1	0	1,073
Envasadora de frascos	Cinta transportadora salida de frascos	Rotura de cinta transportadora	1	0	3	1	0	1,073

9.5 Consideraciones sobre los contenidos de este Capítulo

En este capítulo se describe la primera parte de un proyecto orientado a la implementación de un sistema de mantenimiento preventivo en una planta de producción farmacéutica. Un desafío importante, en este caso, consistió en reducir las diferencias entre los departamentos o áreas vinculadas con el mantenimiento, dado que estas diferencias habían dificultado iniciativas similares en el pasado reciente.

Para superar estas dificultades, se impulsó una actividad grupal orientada a desarrollar un referencial que permita establecer las prioridades para el mantenimiento. Una parte importante de esa actividad consistió en la aplicación del método Procesos DRV. Los resultados parecen positivos dado que el sistema de mantenimiento pudo ser implementado y que se logró mejorar las relaciones interpersonales.

Como se planteó anteriormente, cuando un grupo analiza en conjunto un problema de toma de decisiones, es inevitable que se evidencien diferencias en las percepciones y posturas personales. Si esas diferencias no se reducen o controlan, constituyen un ruido que distorsiona la información necesaria para tomar la decisión.

Nuevamente en este caso, la aplicación de Procesos DRV permitió que el proyecto progrese exitosamente. De hecho, durante la experiencia descrita ha sido posible reducir los niveles de ruido a valores cercanos al veinte por ciento de su valor original. Adicionalmente, la aplicación permitió obtener avances sensibles en los niveles de conocimiento grupal compartido y mejoras en el compromiso del grupo con las decisiones adoptadas.

10. Combinación de los DRV con Enfoque de Procesos

Un requerimiento clave en las entidades orientadas a la producción, tanto de bienes como de servicios, es que la entidad aplique en forma generalizada el denominado “Enfoque de Procesos”, o dicho de otra forma, lo que se conoce como gestión por procesos. Dicho enfoque conduce a que las personas se orienten a estudiar las tareas que realizan, a la previsión de modos de falla en la misma y a la adopción de controles que permitan detectar los problemas y mejorarlos.

Debido a su potencia, el enfoque de procesos ha sido ampliamente adoptado en todo tipo de actividades productivas y en la actualidad es una pieza fundamental de los sistemas de gestión que se utilizan. Por ejemplo, se lo requiere para sistemas de Calidad (Psomas, Fotopoulos y Kafetzopoulos, 2011); para sistemas orientados a la preservación del medio ambiente (Vinodh. Prasanna y Selvan, 2013), o de Seguridad y Salud Ocupacional (Swayne, Duncan, Ginter, 2012), (Zeng, Xie, Tam y Shen, 2011). También es utilizado como elemento clave en estructuras del tipo Lean (Pettersen, 2009), (Bhasin y Burcher, 2007).

Un aspecto destacable del enfoque de procesos es que conduce el análisis a la identificación de formas convenientes para realizar cada operación, es decir, se orienta estrictamente a la tarea. Conforme al razonamiento planteado en la Introducción de la presente Tesis, esta condición debe facilitar el trabajo en grupo, porque hace que los individuos se concentren en la tarea y superen las diferencias personales.

El concepto de procesos se vincula generalmente con el empleo de diferentes herramientas técnicas, entre las que pueden destacarse: planificación y seguimiento a nivel directivo; diagramas de flujo; Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE); instructivos; indicadores; acciones correctivas y preventivas (Gryna, Chua y Defeo, 2007). En general, estos recursos pueden considerarse como ejercicios grupales que estimulan la integración grupal.

Bajo ese supuesto, el Enfoque de Procesos puede complementarse bien con las herramientas de Investigación Operativa que se utilizan en este documento y por supuesto, puede utilizarse en conjunto con los Procesos DRV. Por ese motivo, en el presente capítulo se explora la posibilidad de combinar estos métodos.

Cabe recordar que este tipo de combinaciones es una cuestión considerada de punta en la actualidad, dentro del ámbito de la IO. Ello se evidencia en la gran

cantidad de aportes que las revistas especializadas publican sobre el tema, como por ejemplo Mingers, et al. (2009), Hindle y Franco (2009), Franco y Lord (2011) y Georgiou (2012) entre muchos otros.

Para brindar un soporte conceptual a la combinación propuesta, se propone una aproximación Multi-metodológica, en el sentido planteado por Franco (2011) y Pollack (2009). Dicho enfoque resulta razonable porque en este caso, se aplican sobre el mismo problema algunos recursos de la IO Blanda, ejercicios de Procesos DRV y prácticas grupales de gestión por procesos.

Como estudio de caso, el capítulo analiza la experiencia en una Biblioteca Universitaria, que certificó la norma internacional ISO 9001:2008, enumera varios de los métodos utilizados y analiza las variaciones detectadas en distintos indicadores. Se destaca por otra parte, que las aplicaciones se efectuaron con participación plena de los responsables de dichos procesos.

Los contenidos de este capítulo han dado origen a dos artículos en revistas científicas, según el siguiente detalle:

- Zanazzi, J. L., Pedrotti, B. I., Arias, F. H., Dimitroff, M., & Blázquez, M. (2010). Enfoque de procesos en la gestión de servicios: estrategias para lograr aplicaciones exitosas. *Revista de Ciencia y Tecnología, (13), 0-0*.
- Zanazzi, J. L., Boaglio, L. L., Carignano, C. E., Conforte, J., & Zanazzi, J. F. (2013). Indicadores ponderados en una biblioteca universitaria, construidos con un método de decisión grupal. *Revista del Instituto Chileno de Investigación de Operaciones, 3(1), 1-10*.

En la primera de estas publicaciones se describe el modo en que se utilizó la gestión por procesos en la organización bajo estudio. En la segunda, se desarrolla el modelo adoptado para el análisis y seguimiento de indicadores.

10.1 Revisión de aportes sobre Enfoque de Procesos en bibliotecas

Si bien los antecedentes de sistemas de enfoque de procesos en la gestión de calidad, se remontan a 1930, la concepción actual de estos sistemas es difundida a partir de 1960. Diversos autores plantean las ideas fundamentales. Al respecto cabe citar a Deming (1986, 2000), quién en enumeraciones como las de sus catorce puntos para salir de la crisis, establece requerimientos recomendables para cualquier organización

preocupada por la calidad. Los trabajos de este autor elaboran primeras definiciones de enfoque de procesos y lo incluyen como exigencias básicas para generar cambios en los sistemas productivos.

Por otra parte, trabajos como el de Feingenbaum (1963), ponen énfasis en la necesidad de utilizar una concepción sistémica que comprenda todos los niveles y actividades. Con este enfoque, no sólo son importantes los procesos de realización, sino que también deben considerarse por ejemplo, los de compras, los de ventas, los logísticos, por citar algunos.

En su momento también resultaron destacables aportes como el de Juran (1962), o también: Juran y Gryna (1995), donde se enfatiza en la necesidad de planificar en los diferentes niveles de la organización. Planificación que es necesario plantear tanto a nivel operativo como directivo.

Estos conceptos han sido incorporados en diferentes normativas para sistemas de gestión de calidad, desarrolladas por diversas empresas u organismos internacionales. Posiblemente la más conocida de estas es la ISO 9001:2008, adoptada por la Comunidad Económica Europea. La plena vigencia de estos conceptos se pone de manifiesto al revisar los múltiples aportes que sobre la cuestión se realizan en las publicaciones periódicas especializadas (del Mar, Alonso-Almeida y Fuentes-Frías, 2012), (Agus y Hassan, 2011).

También son muchos los textos dedicados a presentar métodos y técnicas apropiadas para esta concepción. Por ejemplo, el Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (FMEA) es utilizado en tres tipos de aplicaciones: estudios de confiabilidad; ingeniería de producto y reingeniería de procesos. Una descripción de este método puede encontrarse en Juran y Gryna (1995), o en Gutierrez Pulido y de la Vara Salazar (2004).

En cuanto a referencias sobre aplicaciones de este enfoque en Bibliotecas, corresponde citar artículos que analizan la posibilidad y describen experiencias, como los de García-Morales Huidobro (1995) o Lepeley (2003). En Pinto, Balagué, Anglada (2007), se efectúa una recopilación de los avances obtenidos en España hasta el año 2007.

También se encuentran diversos libros de texto orientados a la temática, entre los que pueden referenciarse el de Arriola Navarrete (2006) o el de Gimeno Perelló (2009). En este último, se describen de manera resumida experiencias de sistemas de

calidad, realizadas en bibliotecas como la de la Universidad de Murcia; la Complutense de Madrid o la Universidad de Zaragoza.

En cuanto al desarrollo e implementación de sistemas de gestión de calidad en bibliotecas, se han realizado variadas experiencias a nivel internacional. Diversos textos se orientan a interpretar las Normas ISO 9001 y a establecer directrices para su implementación (Moreno Jiménez y Calva González, 2005).

Otra cuestión relevante en este capítulo, es la gestión de los indicadores que se utilizan para el seguimiento del sistema de gestión de calidad. Son numerosos los artículos y libros de texto orientados a evaluar el problema de encontrar buenos indicadores de gestión para bibliotecas. El libro de Bustos-González (2007), por ejemplo, analiza los indicadores de uso frecuente y efectúa un análisis crítico del sistema en su conjunto.

Respecto al modo de operar indicadores con la finalidad de apoyar la mejora organizacional, una de las tendencias dominantes sigue siendo la implementación de Cuadros de Mando Integral (Kaplan y Norton, 2011). También existen antecedentes de aplicaciones de este tipo de herramientas en Bibliotecas. Por ejemplo, Poll (2001) refleja un trabajo conjunto entre tres entidades alemanas, en tanto que Self (2003) enumera avances obtenidos en la Universidad de Virginia. Por su parte, Reid (2011) discute la conveniencia de utilizar los cuadros de mando, tal como se plantean en su formato estándar, en la gestión de bibliotecas universitarias.

En suma, conforme a los antecedentes relevados, la gestión de bibliotecas es una cuestión que genera un permanente interés en los dos aspectos considerados en este Capítulo de la Tesis, el desarrollo de enfoque de procesos para implementar sistemas de calidad y el uso de indicadores adecuados para su seguimiento. A esas aproximaciones, este capítulo le suma innovaciones en el modo de captar información relevante, dado que se consideran de manera explícita las percepciones y preferencias del grupo de personas que ejerce roles de liderazgo. Adicionalmente, el capítulo propone una variante de seguimiento de indicadores, cercana a los cuadros de mando, pero adaptada a las condiciones y requerimientos de la organización en la que se trabaja. Cómo es lógico, en toda la propuesta de herramientas subyace el interés por estimular la integración y el compromiso de las personas involucradas.

10.2 Enfoque Multi-metodológico aplicado

En el ámbito de la Investigación de Operaciones, se entiende como problemas complejos a las situaciones donde es preciso que la gente se ponga de acuerdo y que actúe de manera asociada. En general, buena parte de los procesos de toma de decisiones a estudiar en la actualidad, poseen esa característica. En términos de Vidal (2006), las situaciones problemáticas que las organizaciones enfrentan son siempre multidimensionales, lo que obliga a considerar aspectos materiales, económicos, sociales, políticos e individuales que hacen a la complejidad de las mismas.

Por otra parte, la complejidad introduce ruido en la información necesaria para el proceso de decisión. Esto es, una parte importante de dicho ruido se origina en las diferencias entre las personas vinculadas al proceso y es natural, porque necesariamente se tienen preferencias diferentes. Lo malo es que el ruido no solo perjudica y empobrece la información disponible, sino que también reduce las posibilidades de éxito de las acciones acordadas en conjunto y el compromiso de las personas para sostener dichas acciones (Georgiou, 2008).

Con este razonamiento, cuando se toman decisiones que afectan a múltiples personas o entidades con intereses variados, es fundamental reducir los niveles de ruido todo lo que sea posible. Es que tiene poco o ningún sentido impulsar planes de acción que no cuentan con el apoyo de los actores que deben concretarlos.

Respecto a los modos de reducir el ruido, existe cierto acuerdo en que el análisis y resolución de problemas complejos se instrumente mediante una combinación de metodologías (Franco y Lord, 2011). Conforme a Kotiadis y Mingers (2006), resulta posible utilizar más de una metodología o combinar partes de metodologías de diferentes paradigmas en una misma intervención. En tanto, Pollack (2009) entiende la combinación paralela de metodologías (hard y soft) como muy beneficiosa para intervenciones en ambientes cargados de complejidad.

Según Franco y Lord (2011) no existe una “mejor manera” de realizar esta combinación de métodos. El autor recomienda considerar las dimensiones personal, social y material, implicadas en toda situación problemática; es decir, caracterizar además de lo estrictamente técnico, a los individuos y a las relaciones entre los mismos. Por otra parte, sugiere considerar las etapas de apreciación, análisis,

evaluación y acción, como esenciales en la estructuración de una intervención basada en un enfoque multi-metodológico.

También surge como natural apelar a una combinación de métodos de la Investigación Operativa Soft y de Apoyo Multicriterio a la Decisión. Enfoques multi-metodológicos con esa característica han sido planteados en Franco y Lord (2011), Morais y Almeida (2010).

Obviamente, estas aproximaciones conceden especial importancia a las diferencias en las percepciones de los miembros del grupo y las interacciones entre los mismos. Diversos autores coinciden en las importantes ventajas que genera su instrumentación: aprendizaje grupal y contribución al desarrollo y consolidación de una cultura organizacional (Sorensen y Vidal, 2003); análisis participativo y generación de conocimiento compartido, soluciones inclusivas y compromiso con las soluciones adoptadas (Kaner et al. 2007; Franco y Lord, 2011).

Sobre esta base, la combinación de métodos sugerida en el marco de esta Tesis, permite desarrollar un proceso como el que se muestra en la Figura 10.1. Las etapas de este proceso no se trabajan en forma separada, sino que por el contrario se retroalimentan de modo continuo. Por otro lado, no son necesariamente secuenciales, dado que hasta puede ser posible aplicarlas en paralelo. Dicho de otro modo, el análisis de algunos procesos o la realización de ejercicios de toma de decisiones en grupo, puede facilitar la estructuración del problema.

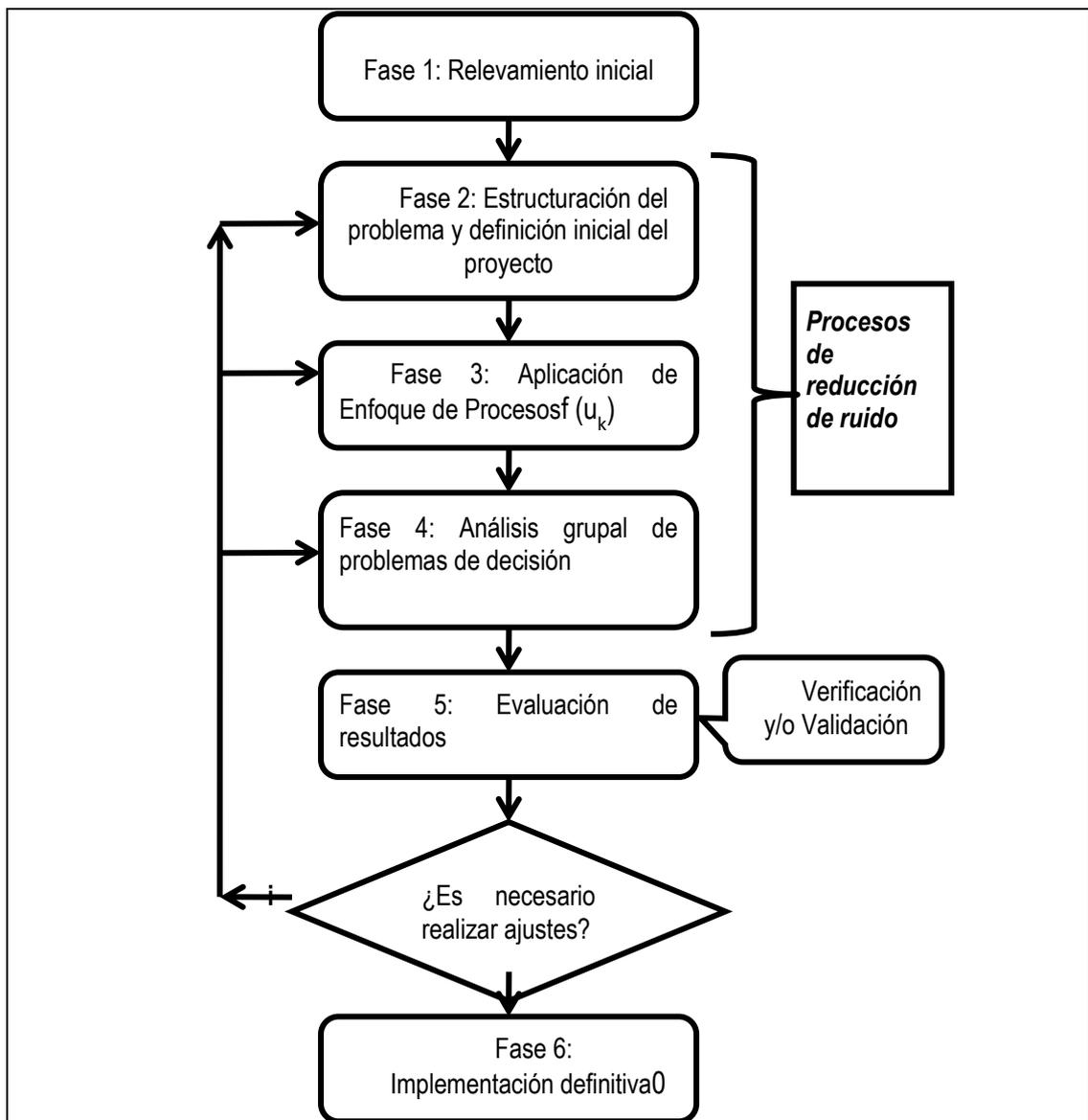


Figura 10.1 Enfoque multi-metodológico propuesto

En la Fase 1 se realiza el relevamiento inicial del sistema, se comienza con la identificación del problema y sus consecuencias. Entre los emergentes de esta etapa deben estar por ejemplo, los motivos por los cuales conviene transformar el sistema analizado y quiénes son los actores en condiciones de sostener las transformaciones propuestas.

La Fase 2 de estructuración del problema, conduce generalmente a decisiones de tipo estratégico. Ahora bien, para las fases 1 y 2 se recomienda la aplicación de las metodologías de IO Blanda, éstas permitirán desarrollar un plan de acción adecuado para el momento. Entre estas metodologías se sugieren las siguientes: SSM (Soft

System Methodology), acorde a Georgiou (2006, 2012); Grilla de Repertorio de Kelly (Lemke et al., 2010), (Alexander et al., 2010), SODA (Strategic Options in Development and Analysis) siguiendo a Eden y Ackermann (2006); entre otros métodos. De este modo se inicia la reducción efectiva del ruido presente en el contexto del problema y se resuelven algunas cuestiones estratégicas que pueden ser fundamentales.

La Fase 3 se orienta directamente al desarrollo del sistema de gestión; se trata de una etapa fuertemente operativa. Es necesario que la identificación de los procesos que debe desarrollar la organización y el diseño de los mismos, sea realizado con la participación directa de los grupos de trabajo que pueden considerarse “dueños” de esos procesos. De este modo, se consiguen importantes reducciones adicionales en el nivel de ruido.

Respecto a la Fase 4, es conveniente plantear el análisis grupal de problemas tácticos e incluso operativos. Con esta finalidad se aplican los Procesos DRV (Zanazzi y Gomes, 2009), (Zanazzi et al. 2014).

Sin duda, en esta Fase, es conveniente que para el análisis de los problemas seleccionados se puedan poner en juego los valores institucionales y otros elementos de la cultura organizacional. De este modo, dicha fase posibilita una reducción brusca en la incertidumbre, sobre todo en las cuestiones vinculadas con los valores o criterios fundamentales.

Más allá de la relevancia que puedan tener los procesos de toma de decisiones a considerar, lo importante para la organización es que la gente trabaje en conjunto, que interactúe, que construya conocimiento compartido. De este modo, se reduce bruscamente el ruido en problemas tácticos que pueden ser críticos para el éxito del proyecto a desarrollar.

La Fase 5 de evaluación, se orienta a la verificación y validación del sistema. Verificación en el sentido de que hayan sido tenidos en cuenta todos los requisitos planteados durante el diseño del sistema. Por su parte, la validación permite determinar si el sistema responde adecuadamente a las necesidades de los usuarios.

En caso de requerir correcciones, se retoman las fases anteriores. Como parte de las actividades de validación, es necesario considerar las variaciones en los niveles de confiabilidad de cada uno de los equipos de trabajo propuestos, tanto a nivel individual como grupal.

Finalmente, en la implementación definitiva se traslada el ejercicio del sistema a los usuarios, para que lo apliquen con independencia. De todos modos, se ofrece una asistencia de menor intensidad para salvar cuestiones no previstas originalmente.

10.3 Estructuración del problema

La organización en la cual se aplicó este enfoque es una tradicional Biblioteca, que evidencia una fuerte vocación por mejorar los servicios que ofrece. Por ese motivo, decidió implementar un Sistema de Gestión de Calidad, el cual fue posteriormente certificado bajo normas ISO 9001:2008. La aplicación que relata el presente trabajo, se realizó en diferentes tramos de este proyecto.

La entidad tiene unos treinta empleados, la mayor parte de los cuales son Bibliotecólogos profesionales. La Dirección es ejercida por una persona que tiene una clara actitud innovadora. La acompañan siete personas que ejercen roles de liderazgo. Pese a esas condiciones favorables, se planteó en el inicio del estudio una cierta resistencia a la propuesta, motivada posiblemente por la falta de comprensión de los Sistemas de Calidad y de sus posibles ventajas.

Una cuestión interesante es que la Dirección consideró conveniente comenzar el proyecto con la realización de algunos ejercicios destinados a la formulación de un plan estratégico. De este modo, suponía que aumentaba la posibilidad de motivar al grupo y comprometerlo en el desarrollo.

Con finalidad de dar respuesta a ese requerimiento, a la vez que se estructura el problema, se realizaron en conjunto análisis tipo FODA y una aplicación de Soft System Methodology, SSM, conforme a las mejoras y adaptaciones propuestos por Georgiou (2006). Se inició con entrevistas personales con los actores involucrados, las cuales fueron complementadas por diversos cursos breves y ejercicios grupales.

La información reunida de este modo, permitió identificar diversas transformaciones convenientes para la institución. Una parte de los resultados obtenidos, puede analizarse en la Tabla CATWOE (Tabla 1).

Tabla 10.1

Vista parcial del CATWOE para la Biblioteca

		Transformaciones					
	C: Cliente	A: Actores	Condición inicial	Condición mejorada	W: Justificación	O: Dueño	E: Restricciones
1	Usuarios finales.	Equipo Directivo	No se han identificado los requisitos explícitos e implícitos de los clientes	Los requisitos de los clientes están identificados y se ha asignado niveles de prioridad a los mismos.	La definición de requisitos es una exigencia básica de los Sistemas de Calidad que ofrece la ventaja de facilitar la identificación de los procesos necesarios	Dirección general. Auditores del Sistema	Carencia de información previa
2	Usuarios finales.	Grupo de catalogación. Servicios al público	Se extravían materiales debido a que el sistema de catalogación es lento y poco confiable	Se dispone de un sistema de catalogación ágil, verificado y validado	El método de catalogación es importante para el procesamiento de materiales y su recuperación posterior	Dirección general	Software disponible. Equipo de trabajo limitado.
3	Usuarios finales. Personal biblioteca	Grupo de conservación de materiales	Muchos materiales se deterioran o pierden cualidades por falta de mantenimiento adecuado.	Se cuenta con un proceso de conservación de materiales y con personal entrenado para su aplicación	El diseño de un proceso definido permite aumentar eficacia y eficiencia de la conservación e incrementa la posibilidad de disponer materiales en buen estado	Autoridades de la Universidad	Disponibilidad de recursos. Capacitación

Este tipo de recursos fue de gran utilidad para clarificar la índole de las iniciativas a desarrollar con el grupo de trabajo. Como ejemplo en este sentido, es pertinente analizar la resistencia del grupo de profesionales encargado de catalogar los materiales. Esa resistencia puede considerarse natural debido a que se trata de personas que son profesores universitarios y que enseñan desde hace años distintos procedimientos de catalogación. Con esos antecedentes, no resulta fácil aceptar que de todos modos es posible mejorar ese proceso. Ante esa realidad, el CATWOE elaborado con opiniones y percepciones de todos los actores, convierte ese requerimiento en una cuestión más admisible.

Comportamientos similares y resistencias equivalentes se encontraron en todos los grupos de trabajo. En ese sentido el SSM y las herramientas de Investigación Operativa Blanda en general, tienen una faceta didáctica que contribuye a superar las naturales resistencias. De hecho, permiten generar un entorno de aprendizaje colaborativo que resulta de gran utilidad para la reducción del ruido.

10.4 Aplicación de Enfoque de Procesos

El Sistema desarrollado tiene una componente documental, característica de las normas de calidad y otra de transformación de los modos de hacer. Sin lugar a dudas la más importante es esta última, dado que tiene un impacto de mejora significativa sobre la realidad de la organización. Por ese motivo, se realiza a continuación un breve resumen de las mejoras introducidas.

Un primer gran paso consistió en incorporar la concepción de procesos. Ello implicó algunos cambios en la estructura departamental y en diversas pautas administrativas. En la Figura 10.2 se presenta un gráfico denominado “mapa de procesos”, el cual resume las principales actividades del Sistema de Gestión.

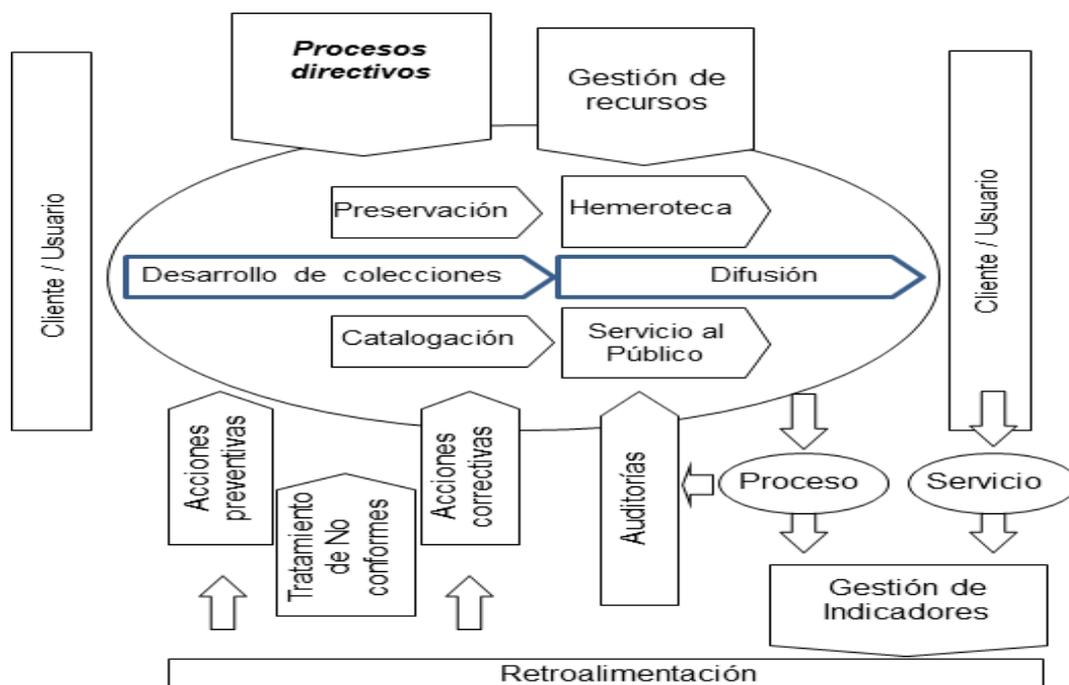


Figura 10.2 Mapa de Procesos

En cuanto a los procesos directivos, se agregó un órgano denominado Gabinete Directivo, pensado como forma de facilitar la coordinación y propiciar un efectivo funcionamiento del sistema. También se mejoró la modalidad de planificación anual, sobre la base del sistema de administración por proyectos que ya se utilizaba. De hecho, se formuló una Política de Calidad que resume la actual orientación.

Además, se definieron indicadores que permiten valorar los niveles de avance y se establecieron mecanismos de revisión periódica de los objetivos planteados. En efecto, al menos una vez por mes la Dirección, con apoyo del Gabinete Directivo, revisa de manera sistemática los avances obtenidos y decide las acciones correctivas necesarias para asegurar el alcance de las metas. Una vez al año se efectúa una revisión integral y se establecen los objetivos e indicadores a utilizar en el siguiente período. En este cambio de cultura participativa y comprometida se tiende a lograr el mayor número de agentes comprometidos en la revisión integral anual.

De igual manera, se abrieron nuevos canales de comunicación internos. Cabe destacar en ese aspecto la adopción de un documento que puede ser utilizado como memorándum, denominado “No lo diga, escríbalo”. El mismo permite, a todos los miembros de la comunidad, el registro de ideas u opiniones que pueden considerarse de interés para el funcionamiento normal o la mejora del sistema. En la misma línea se encuentra la implementación de un buzón de “Comentarios, sugerencias y reclamos”. Dicho medio está siendo utilizado por los usuarios de la Biblioteca para efectivizar diversos tipos de aporte, que van desde felicitaciones y cuestionamientos, hasta recomendaciones de libros.

Se ha puesto un fuerte énfasis en mejorar las condiciones de los equipos de trabajo. Esto es especialmente importante si se trata de una organización universitaria. En estas condiciones, cualquier iniciativa debe pasar por estimular la participación activa y convencida de todos los actores de la comunidad educativa.

En cuanto a herramientas, se adoptaron definiciones genéricas de perfiles de puesto y el grupo desarrolló grillas de polivalencia para los diferentes procesos. Por otra parte, el esfuerzo en capacitación es elevado y pertinente a las necesidades de áreas y funciones. Las actividades incluyen desde cursos generales como aquellos de orientación al usuario o conceptos de calidad, como otros de carácter netamente operativo, donde se busca la eficiencia en la realización de las tareas.

Con respecto al modo en que se desarrollan los servicios de la Biblioteca, se adoptó una mecánica de análisis aplicada con los equipos de trabajo, que inicia con la realización de un diagrama de flujo para describir la forma en que se ejecutan las actividades. Ello permite comprender los por qué de los pasos que cotidianamente se realizan y uniformar las modalidades de trabajo. A continuación, se utiliza el Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE), para realizar una identificación de posibles modos de falla y analizar sus consecuencias. Un producto de dicha actividad es la identificación de los aspectos críticos de cada proceso, aquellos que deben ser especialmente controlados para asegurar buenos resultados. Otro es la adopción de medidas de corrección, que tienden a prevenir los problemas y errores.

Esta mecánica da origen a muchas modificaciones en las rutinas de la Biblioteca. Prácticamente se aplicó una reingeniería integral de procesos. Los cambios incluyen desde medidas simples como el desarrollo de instructivos o ayudas visuales, hasta

variantes más profundas como el abandono de algunas prácticas o la adopción de registros.

La Figura 10.3 muestra una parte del AMFE realizado para el proceso de préstamos en sala. En la columna de acciones se consignan correcciones como las siguientes: diseño de un nuevo formulario de préstamo; cambio en el proceso de guardado de materiales; adecuación de la cartelería; definición de pautas a observar durante las atenciones.

Tabla 10.3

Fracción de AMFE de proceso para el proceso Préstamos en Sala de Lectura

Controló		Aprobó		Vigencia		Responsable		Acción		Recomendada		D		I		P		O		D		I		P						
Operación		Modo de Falla Potencial		Efectos de la Falla		Causa de Falla		Control del Proceso		Acción		Responsable		Recomendada		D		I		P		O		D		I				
1	Registro de Ingreso	Datos incompletos (campos de formularios incompletos), demoras, ilegibilidad, poca claridad que dificulta la comprensión, dudas, etc.	6	En general las causas de las fallas y sus efectos se deben a un formulario confuso, el cual genera dudas en el cliente y en el bibliotecario y esto se trasladó en el proceso (después en mesa de consultas). Además Italian Material consultado que no queda registrado (estantería abierta).	6	En general las causas de las fallas y sus efectos se deben a un formulario confuso, el cual genera dudas en el cliente y en el bibliotecario y esto se trasladó en el proceso (después en mesa de consultas). Además Italian Material consultado que no queda registrado (estantería abierta).	6	En general las causas de las fallas y sus efectos se deben a un formulario confuso, el cual genera dudas en el cliente y en el bibliotecario y esto se trasladó en el proceso (después en mesa de consultas). Además Italian Material consultado que no queda registrado (estantería abierta).	6	En general las causas de las fallas y sus efectos se deben a un formulario confuso, el cual genera dudas en el cliente y en el bibliotecario y esto se trasladó en el proceso (después en mesa de consultas). Además Italian Material consultado que no queda registrado (estantería abierta).	6	En general las causas de las fallas y sus efectos se deben a un formulario confuso, el cual genera dudas en el cliente y en el bibliotecario y esto se trasladó en el proceso (después en mesa de consultas). Además Italian Material consultado que no queda registrado (estantería abierta).	6	En general las causas de las fallas y sus efectos se deben a un formulario confuso, el cual genera dudas en el cliente y en el bibliotecario y esto se trasladó en el proceso (después en mesa de consultas). Además Italian Material consultado que no queda registrado (estantería abierta).	6	En general las causas de las fallas y sus efectos se deben a un formulario confuso, el cual genera dudas en el cliente y en el bibliotecario y esto se trasladó en el proceso (después en mesa de consultas). Además Italian Material consultado que no queda registrado (estantería abierta).	6	En general las causas de las fallas y sus efectos se deben a un formulario confuso, el cual genera dudas en el cliente y en el bibliotecario y esto se trasladó en el proceso (después en mesa de consultas). Además Italian Material consultado que no queda registrado (estantería abierta).	6	En general las causas de las fallas y sus efectos se deben a un formulario confuso, el cual genera dudas en el cliente y en el bibliotecario y esto se trasladó en el proceso (después en mesa de consultas). Además Italian Material consultado que no queda registrado (estantería abierta).	6	En general las causas de las fallas y sus efectos se deben a un formulario confuso, el cual genera dudas en el cliente y en el bibliotecario y esto se trasladó en el proceso (después en mesa de consultas). Además Italian Material consultado que no queda registrado (estantería abierta).	6	En general las causas de las fallas y sus efectos se deben a un formulario confuso, el cual genera dudas en el cliente y en el bibliotecario y esto se trasladó en el proceso (después en mesa de consultas). Además Italian Material consultado que no queda registrado (estantería abierta).	6	En general las causas de las fallas y sus efectos se deben a un formulario confuso, el cual genera dudas en el cliente y en el bibliotecario y esto se trasladó en el proceso (después en mesa de consultas). Además Italian Material consultado que no queda registrado (estantería abierta).	6	En general las causas de las fallas y sus efectos se deben a un formulario confuso, el cual genera dudas en el cliente y en el bibliotecario y esto se trasladó en el proceso (después en mesa de consultas). Además Italian Material consultado que no queda registrado (estantería abierta).		
2	Búsqueda Topográfica	No encontrar el registro (signatura topográfica) en la máquina (autobúsqueda).	6	Disconformidad en el cliente (se lleva un DNI cambiado).	6	Programa muy complicado (ISSIS). Descriptores mal ingresados (literatura 'de' Arg...).	6	Poco control, debido a que a veces no preguntamos al cliente si pudo encontrar la signatura (se pueden ir sin preguntar), o porque en mesa de consulta se dan cuenta del error en la signatura.	6	Programa muy complicado (ISSIS). Descriptores mal ingresados (literatura 'de' Arg...).	6	Poco control, debido a que a veces no preguntamos al cliente si pudo encontrar la signatura (se pueden ir sin preguntar), o porque en mesa de consulta se dan cuenta del error en la signatura.	6	Programa muy complicado (ISSIS). Descriptores mal ingresados (literatura 'de' Arg...).	6	Poco control, debido a que a veces no preguntamos al cliente si pudo encontrar la signatura (se pueden ir sin preguntar), o porque en mesa de consulta se dan cuenta del error en la signatura.	6	Programa muy complicado (ISSIS). Descriptores mal ingresados (literatura 'de' Arg...).	6	Poco control, debido a que a veces no preguntamos al cliente si pudo encontrar la signatura (se pueden ir sin preguntar), o porque en mesa de consulta se dan cuenta del error en la signatura.	6	Programa muy complicado (ISSIS). Descriptores mal ingresados (literatura 'de' Arg...).	6	Poco control, debido a que a veces no preguntamos al cliente si pudo encontrar la signatura (se pueden ir sin preguntar), o porque en mesa de consulta se dan cuenta del error en la signatura.	6	Programa muy complicado (ISSIS). Descriptores mal ingresados (literatura 'de' Arg...).	6	Poco control, debido a que a veces no preguntamos al cliente si pudo encontrar la signatura (se pueden ir sin preguntar), o porque en mesa de consulta se dan cuenta del error en la signatura.	6	Programa muy complicado (ISSIS). Descriptores mal ingresados (literatura 'de' Arg...).
3	Mesa de Consulta	Estantería abierta: el cliente no encuentra el material (principalmente CDU).	4	Pide que se lo avide (día de ser estantería abierta), recarga el trabajo en la mesa de consulta y demora la atención.	4	La CDU es muy complicada para ser estantería abierta.	4	Cuando se revisa la signatura en la mesa de consulta con la signatura.	4	La CDU es muy complicada para ser estantería abierta.	4	Cuando se revisa la signatura en la mesa de consulta con la signatura.	4	La CDU es muy complicada para ser estantería abierta.	4	Cuando se revisa la signatura en la mesa de consulta con la signatura.	4	La CDU es muy complicada para ser estantería abierta.	4	Cuando se revisa la signatura en la mesa de consulta con la signatura.	4	La CDU es muy complicada para ser estantería abierta.	4	Cuando se revisa la signatura en la mesa de consulta con la signatura.	4	La CDU es muy complicada para ser estantería abierta.	4	Cuando se revisa la signatura en la mesa de consulta con la signatura.	4	La CDU es muy complicada para ser estantería abierta.
4	Devolución del Material	Estantería cerrada: confusión en el préstamo (no más de dos signaturas).	7	Posibilidad de perder material por las decisiones subjetivas distintas.	7	Formulario confuso (papeleta de ingreso), y sello de recibido muy grande en comparación con la papeleta.	7	Exactamente no podemos saber.	7	Formulario confuso (papeleta de ingreso), y sello de recibido muy grande en comparación con la papeleta.	7	Exactamente no podemos saber.	7	Formulario confuso (papeleta de ingreso), y sello de recibido muy grande en comparación con la papeleta.	7	Exactamente no podemos saber.	7	Formulario confuso (papeleta de ingreso), y sello de recibido muy grande en comparación con la papeleta.	7	Exactamente no podemos saber.	7	Formulario confuso (papeleta de ingreso), y sello de recibido muy grande en comparación con la papeleta.	7	Exactamente no podemos saber.	7	Formulario confuso (papeleta de ingreso), y sello de recibido muy grande en comparación con la papeleta.	7	Exactamente no podemos saber.	7	Formulario confuso (papeleta de ingreso), y sello de recibido muy grande en comparación con la papeleta.
5	Se Retira el Usuario	Estantería abierta: mal guardado por el cliente. Estantería cerrada: mal guardado por el bibliotecario.	7	Falta cartelería (que diga que no se guarda). Se acumula material. Se guarda cuando me estoy leyendo. Numeraciones discontinuas (desorden). Falta iluminación. No hay cartelería ni plano.	7	No revisar la papeleta (carta vuelta y libros). Sello muy grande, poco espacio en la papeleta.	7	Depende de la persona.	7	Falta cartelería (que diga que no se guarda). Se acumula material. Se guarda cuando me estoy leyendo. Numeraciones discontinuas (desorden). Falta iluminación. No hay cartelería ni plano.	7	No revisar la papeleta (carta vuelta y libros). Sello muy grande, poco espacio en la papeleta.	7	Depende de la persona.	7	Falta cartelería (que diga que no se guarda). Se acumula material. Se guarda cuando me estoy leyendo. Numeraciones discontinuas (desorden). Falta iluminación. No hay cartelería ni plano.	7	No revisar la papeleta (carta vuelta y libros). Sello muy grande, poco espacio en la papeleta.	7	Depende de la persona.	7	Falta cartelería (que diga que no se guarda). Se acumula material. Se guarda cuando me estoy leyendo. Numeraciones discontinuas (desorden). Falta iluminación. No hay cartelería ni plano.	7	No revisar la papeleta (carta vuelta y libros). Sello muy grande, poco espacio en la papeleta.	7	Depende de la persona.	7	Falta cartelería (que diga que no se guarda). Se acumula material. Se guarda cuando me estoy leyendo. Numeraciones discontinuas (desorden). Falta iluminación. No hay cartelería ni plano.	7	No revisar la papeleta (carta vuelta y libros). Sello muy grande, poco espacio en la papeleta.

Ahora bien, una componente clave de todo sistema de calidad es la realización de mediciones y el establecimiento de estándares. Ellas permiten verificar si los resultados que se obtienen son adecuados para los objetivos trazados. En este particular la biblioteca adopta dos conjuntos de indicadores, los cuales se denominan generales y específicos.

Los de carácter general son los que permiten verificar el nivel de cumplimiento de los objetivos trazados; según la ISO 9001:2008, su seguimiento es responsabilidad indelegable de la Dirección, pero resultan interesantes para todos. Por otra parte, los indicadores específicos se utilizan para controlar aquellos aspectos considerados críticos para los procesos y son administrados por los responsables de las tareas, porque la estabilidad de los mismos, permite asegurar que el servicio se realiza en condiciones controladas.

Las acciones correctivas pueden iniciarse por diferentes motivos que incluyen desviaciones en los indicadores; hallazgos en auditorías o no conformidades que no han sido estudiadas previamente. Tanto para correctivas, como para preventivas, un procedimiento denominado causa-acción-prevención permite analizar de manera sistemática el problema.

Los elementos forman un conjunto que tiene la finalidad de asegurar un funcionamiento integral donde se planifican las actividades, se realizan bajo condiciones controladas, se miden los resultados obtenidos y se consolidan o capitalizan las experiencias, para el crecimiento global del sistema. Conforme a Gryna, Chua y Defeo (2007), este es un modo seguro de avanzar hacia el ideal de mejora continua.

10.5 Evidencias de las mejoras obtenidas con Enfoque de Procesos

En este apartado se analizan algunos resultados obtenidos, expresados mediante los correspondientes indicadores. Como se plantea en los apartados anteriores, la entidad identificó los procesos de sus cuatro departamentos, los adecuó y puso bajo control. La Tabla 10.3 refleja algunos indicadores de la Hemeroteca.

Tabla 10.3*Valores obtenidos en algunos indicadores importantes del Centro de Documentación*

Año	Número de Usuarios	Solicitudes de búsqueda específica	Pedidos diarios	Cantidad de diarios requeridos	Diarios no encontrados	Solicitudes de reproducción
2006	735	398	322	730	71	71
2007	957	946	825	1527	54	121
2008	1219	1031	874	1648	50	148

Se observa que prácticamente se duplican las cantidades de servicios brindados, lo que muestra que los usuarios son sensibles a la mejora de la oferta. En otro extremo, un resultado indeseable como es la cantidad de diarios no encontrados, muestra una evidente reducción.

En cuanto a la Sala de Lectura, se reproducen en la Tabla 10.3 algunos indicadores importantes.

Tabla 10.4*Valores obtenidos en algunos indicadores importantes de Sala de Lectura*

Año	Número de Usuarios	Cantidad de nuevos socios	Cantidad de solicitudes	Libros extraviados	Libros mal guardados
2006	21129	170	730	27	24
2007	23251	236	860	23	14
2008	30626	297	1040	9	7

Nuevamente se verifica una respuesta favorable del público, que demanda mayor cantidad de servicios ante la mejora en los mismos. Por otro lado, resulta relevante destacar la disminución de anomalías en el último año, en indicadores tan preocupantes como las cantidades libros extraviados o mal guardados.

A fin de efectuar mediciones del nivel de satisfacción obtenido a partir del servicio y ante la imposibilidad de valorar el cien por ciento de las prestaciones, se implementó un muestreo por encuestas. El cuestionario utilizado en la experiencia fue diseñado en conjunto con los roles directivos. En primer lugar se efectuó la selección de variables a observar, de modo que fueran representativas de los fenómenos y situaciones que se consideran relevantes.

A continuación, se realizó en conjunto un ejercicio consistente en definir cada una de estas variables y adoptar las escalas adecuadas para su observación. Con base en estas definiciones se implementó un cuestionario adecuado para realizar muestreo por encuestas.

En el instrumento se incluyen cuestiones referidas a conocimiento y empleo de los servicios que ofrece la entidad, por ejemplo búsquedas especiales o microfilmado. Las respuestas se expresan con dos categorías posibles: si, no.

Además se piden valoraciones sobre asuntos como la calidad de la atención, competencias del personal, estado de los materiales, comprensión de los catálogos, respuesta a necesidades del usuario y satisfacción general. Las respuestas a estas cuestiones se expresan en una escala tipo Likert, definida entre uno y cinco.

Las frecuencias de muestreo fueron ajustadas a lo largo del tiempo. En las aplicaciones iniciales, se consideró conveniente obtener un gran volumen de información en poco tiempo y por ello se adoptó una frecuencia elevada. Por supuesto, estos datos permitieron identificar un elevado número de acciones de mejora.

Durante los tres primeros meses, las mediciones se realizaron con una frecuencia semanal. No se realizaron observaciones de manera exhaustiva, sino que se utilizó una selección aleatoria de casos. El tamaño de muestra fue determinado suponiendo muestreo aleatorio puro.

Las respuestas a las cuestiones planteadas se expresan en escalas categóricas. En esos casos es importante inferir la proporción de cada posible respuesta. Para determinar el tamaño de muestra requerido para dichas estimaciones, se utiliza la siguiente expresión:

$$n = \frac{Npq}{(N-1)D + pq} \quad (10.1)$$

Donde N es la cantidad de visitantes totales, entre los que se desea elegir la muestra, p es la proporción esperada y q=1-p, es su complemento. La cantidad D es igual a $B^2/4$, donde B es el error que se considera admisible.

Para valorar la cantidad N de visitantes por semana, se adopta un promedio anual resultante del cociente entre el total anual de personas (veinte mil) y la cantidad de semanas en que trabaja la biblioteca (cincuenta). Si se asume que las proporciones a estudiar deben ser cercanas a 0,20 y que en la estimación es tolerable trabajar con un error potencial máximo de 0,1, se deduce como conveniente un tamaño de muestra de 55 datos.

Estas evidencias condujeron a la adopción de cincuenta, como el tamaño de muestra conveniente para el estudio. En cuanto a la modalidad para elegir las unidades a observar, se adoptó el criterio de solicitar el completamiento del cuestionario, a uno de cada diez usuarios, hasta completar las cincuenta entrevistas.

Por este camino fue posible detectar una importante cantidad de oportunidades de mejora en los procesos. En efecto, las evidencias estimularon la adopción de decisiones innovadoras, sobre cuestiones como las actividades de capacitación, la implementación de nuevos formularios o la necesidad de mejorar la cartelería, por citar sólo algunos aspectos.

Como parte de los ejercicios de motivación del Gabinete Directivo, se desarrolla un indicador de satisfacción global del usuario, el cual se construye mediante una ponderación de tres variables. En efecto, por una parte se toma el promedio de cuestiones que hacen a la Percepción del Servicio (PS); esto es: Rapidez en la atención; Cordialidad; Conocimiento del acervo bibliográfico; Orientación; Accesibilidad de los materiales; Catálogos disponibles; Estado de los materiales.

A ello se agrega la respuesta del usuario sobre si el servicio recibido, realmente permitió satisfacer la necesidad que lo motivó a concurrir a la Biblioteca, reflejado en la variable N. Finalmente se pide al usuario que califique su nivel de satisfacción general y esta respuesta, se refleja en la variable S. Entonces el indicador global de satisfacción, se obtiene haciendo:

$$IS = 0,5 * PS + 0,3 * N + 0,2 * S \quad (10.2)$$

Corresponde precisar que, de acuerdo a los principios de Estadística, este indicador tiene propiedades de variable continua. Ante los primeros resultados de IS, se consideró conveniente efectuar su seguimiento con una modalidad práctica que facilite la interpretación de los resultados. Ello motivó a elaborar una carta de control por variables, la cual facilitó la difusión de los resultados en todo el ámbito de la Biblioteca.

Para adoptar el tipo de carta de control, debe considerarse que cada semana se obtiene un valor único. Es decir, no resulta razonable elegir cartas como la de promedios y rangos móviles, que requieren pequeñas muestras de al menos dos observaciones de una variable continua. Por ese motivo, el tipo de carta adoptado fue el denominado Valores Individuales y Rangos Móviles.

Para iniciar el trazado de la carta, se utilizaron los resultados de las primeras semanas, con los correspondientes valores. En la Figura 10.4 se muestra la carta obtenida para los tres primeros meses.

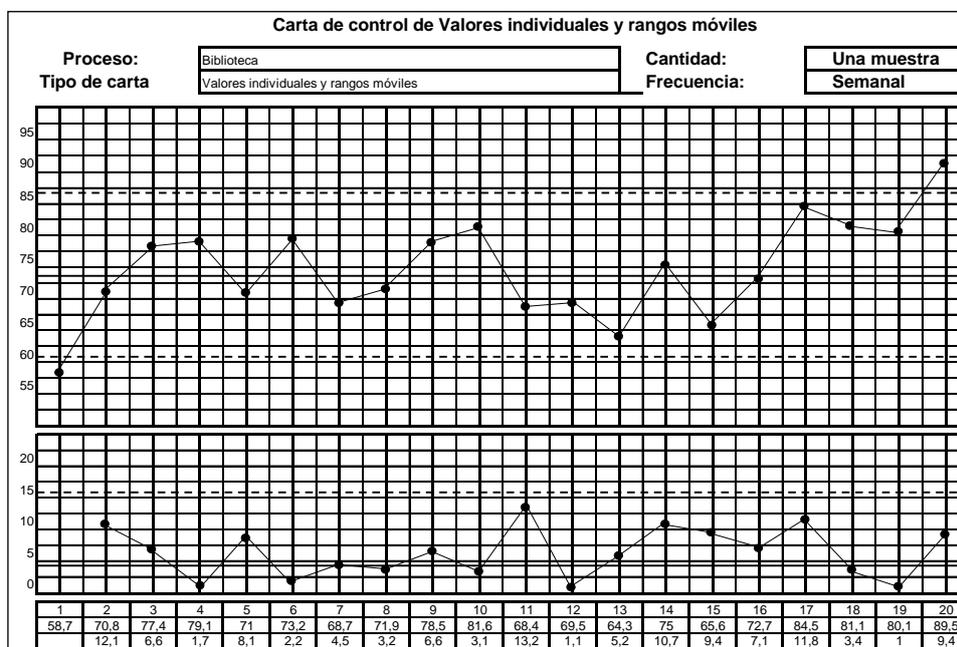


Figura 10.4 Carta de control del indicador de Satisfacción del Usuario

Si bien las salidas de control se producen sólo en las semanas extremas, esto es uno y veinte, el gráfico brinda evidencia de que el nivel de satisfacción se incrementa con el tiempo. Debe tenerse en cuenta que este tipo de carta es poco sensible para determinar cambios en la media, de hecho los límites son muy amplios. Sin embargo los puntos tienen una tendencia ascendente que resulta muy clara si se comparan las primeras y las últimas observaciones.

10.6 Identificación de necesidades de usuarios y su ponderación

Como toda organización donde se aplican sistemas de gestión de calidad, desde el inicio del trabajo en la Biblioteca se realizaron diversos ejercicios orientados a identificar a los usuarios y a investigar sus requerimientos. Sin embargo, es conveniente renovar periódicamente estas cuestiones, a fin de actualizar y fortalecer una visión de conjunto.

Con esa finalidad, se planteó un ejercicio grupal destinado a una nueva especificación y definición de las necesidades. En este taller participaron doce

personas, las cuales tienen habitualmente funciones de liderazgo dentro de la entidad. El producto de esa tarea se reproduce en la Tabla 10.6.

A continuación, se aplicó la fase de estabilización de los Procesos DRV, a fin de ponderar las necesidades y distinguir niveles de prioridades en las mismas. La ponderación se realizó de manera individual, a fin de verificar el nivel de cohesión de los participantes y reducir la presión de grupo. Cabe recordar que para verificar la estabilidad, el método utilizado aplica un indicador denominado IVR, el cual compara las sumas de cuadrados de las utilidades estandarizadas, que efectivamente asignó el grupo, con las que se obtendrían en una situación de completa falta de acuerdo.

En la primera valoración, el Índice de Variabilidad Remanente (IVR) obtenido fue muy elevado, lo cual permite suponer que inicialmente existía una notable dispersión en las percepciones. Por ese motivo se realizaron ejercicios adicionales tendientes a definir en conjunto el significado y las implicancias de estas cuestiones. En la segunda asignación de utilidades se obtuvo un IVR de 31%.

En especial, la disparidad en la valoración de importancias relativas quedó evidenciada en la comparación de cuestiones como el acceso a la información, el desarrollo de colecciones y la conservación de las mismas. Finalmente, luego de un análisis más fino, la tercera ronda arrojó un IVR de 20%, lo cual se considera aceptable para este tipo de estudios.

La Figura 10.5 permite analizar los diagramas de caja de las muestras obtenidas para cada necesidad del usuario. Se observa que persiste una variación importante en las utilidades que asignan importancia a las necesidades de los usuarios. Sin embargo, dado que el IVR es razonable y que existen restricciones de tiempo, se resuelve adoptar los promedios de los valores obtenidos, los cuales se reproducen en la columna “Ponderador” de la Tabla 10.5.

Ahora bien, es interesante revisar el modo en que evolucionaron la incertidumbre y la imprecisión durante el ejercicio. La Tabla 10.5 evidencia que en la primera valoración la dispersión de asignaciones fue muy elevada.

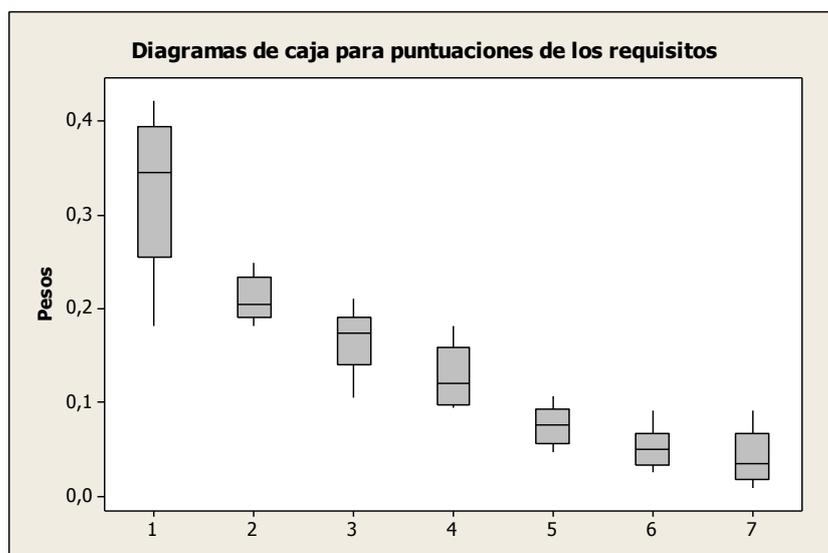


Figura 10.5 Diagramas de caja de las muestras por necesidad del usuario, tercer ciclo.

Es decir, pese a que el sistema de calidad está implementado desde hace años y a que en el inicio de esta experiencia se acordaron en apariencia los significados de cada uno de los requisitos del usuario, cuando se procede a la valoración surgen diferencias importantes. Esto no debe asombrar, en reuniones plenarias la presión de grupo puede hacer pensar que los integrantes están de acuerdo cuando en realidad esto no es así.

Tabla 10.5

Evolución de la Suma de Cuadrados Dentro

Ciclo de estabilización	Suma de Cuadrados	IVR
1	0,574	98%
2	0,195	35%
3	0,110	20%

En cambio, el ejercicio de valoración individual permite que los miembros del grupo expresen sus prioridades libremente y ello permite detectar las divergencias. De todos modos, la Tabla 10.5 también evidencia que la corrección de estas desviaciones puede alcanzarse rápidamente, en sólo dos o tres ciclos de análisis.

La Tabla 10.6 enumera las dimensiones consideradas en el análisis, las necesidades de los usuarios detectadas en este ejercicio realizado por la Biblioteca y los pesos asignados a dichos indicadores en el estado estable del proceso de análisis.

Tabla 10.6*Dimensiones, necesidades y sus ponderadores*

Orden	Dimensión	Necesidad	Ponderador
1	Usuario	Atención (Actitud y aptitud)	0,306
2		Acceso a la información (Catálogos, Búsquedas y acceso al documento primario)	0,202
3	Colección	Desarrollo de colecciones (Adquisiciones)	0,164
4		Conservación de la colección (Preservación)	0,13
5	Oferta general	Conocimiento de los servicios disponibles (Difusión y alfabetización)	0,084
6		Actualización de la tecnología disponible (Software, internet, digitalización, hardware)	0,062
7		Ambiente confortable para el estudio y el trabajo (Medio ambiente)	0,052

10.7 Correlación de necesidades del usuario con indicadores directivos y operativos

De acuerdo a los planes de control de la Biblioteca, se opera con indicadores directivos y con indicadores operativos. Los primeros permiten efectuar el seguimiento de los objetivos planteados desde la Dirección. En cambio los segundos, están orientados a evaluar los procesos y los servicios que se ofrecen.

En opinión de la comunidad de la Biblioteca, sobre la satisfacción del usuario influyen todas las actividades que se realizan en la entidad. Con esa lógica, la totalidad de las mediciones realizadas puede proveer información valiosa para una valoración global.

Sin embargo, parece posible identificar grupos de indicadores que se correlacionan mejor con las diferentes necesidades. Por ejemplo, algunas medidas reflejan con mayor potencia el modo en que el usuario percibe la atención recibida y otras, permiten valorar el impacto que la política de desarrollo de colecciones genera en los asistentes a la entidad.

Por ese motivo se planteó un ejercicio en el que participaron las mismas personas que intervinieron en la fase inicial. En esta segunda etapa se requirió que cada uno de

los participantes vinculara las necesidades de los usuarios con los indicadores adoptados y que valorara el nivel de relación existente.

Para la valoración se utilizó una escala definida entre uno y nueve, donde el uno implica que la relación es débil, en tanto que el 9 indica que es muy fuerte. La escala en cuestión, tiene características similares a la propuesta en Saaty (1996). Los resultados obtenidos se ordenaron en una matriz como se muestra en la Tabla 10.7.

Tabla 10.7
Valoraciones para las relaciones Necesidad – Indicador

	Participante 1							Participante 2						
	Ate	Acc	Des	Pres	Con	Tec	Amb	Ate	Acc	Des	Pres	Con	Tec	Amb
Grado de satisfacción de usuarios	9	1	1	1	1	1	3	9	1	1	1	1	1	1
Porcentaje de servicios exitosos	7	3	1	1	3	1	1	9	6	1	1	6	1	1
Capacitación	9	1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1	1
Cantidad de material extraviado transitoriamente	1	9	1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1
Porcentaje de material perdido	1	9	1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1
Búsquedas de diarios no resueltas	1	9	1	3	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1
Tiempo entre recepción de material y ubicación en las estanterías	1	9	1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	1

De acuerdo a la Tabla anterior, el participante 1 considera que las actividades de capacitación impactan fuertemente en la atención que se brinda al usuario, en tanto que el porcentaje de material perdido afecta la posibilidad de acceso a la información de los visitantes de la Biblioteca. Debe notarse además, que las puntuaciones asignadas pueden ser muy diferentes de un participante a otro.

Tabla 10.8*Medias geométricas para la relación Necesidad – Indicador*

	<i>Medias geométricas</i>						
	Ate	Acc	Des	Pres	Con	Tec	Amb
Grado de satisfacción de usuarios	9,0	3,7	3,4	2,6	3,2	3,0	5,6
Porcentaje de servicios exitosos	7,8	7,0	2,6	1,8	4,3	2,4	1,3
Capacitación	8,0	3,1	2,1	2,6	2,7	1,6	1,2
Presupuesto per cápita	7,0	1,7	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Número de materiales nuevos	2,2	8,2	1,9	1,7	1,3	1,3	1,3
Adquisición de bibliografía	2,6	8,3	1,7	1,8	1,2	1,1	1,1
Costo por usuario	2,6	8,5	2,2	1,3	1,4	1,3	1,1
Búsquedas de diarios no resueltas	3,0	8,2	1,4	4,7	1,5	1,3	1,1
Grado de avance del presupuesto	2,9	7,7	1,3	1,3	1,5	1,5	1,1

En esta aplicación no parece factible realizar un proceso de estabilización que permita reducir la variabilidad, debido a que debería hacerse una aplicación por cada uno de los treinta indicadores que opera la entidad. Por ese motivo, se determinaron las medias geométricas de los juicios aportados por los participantes (Foreman y Peniwati, 1998). De este modo, se obtienen los valores que parcialmente se reproducen en la Tabla 10.8.

10.8 Cálculo de un Indicador Global de Satisfacción del usuario

Con la finalidad de facilitar el cálculo, en los siguientes pasos se consideraron las cinco mayores relaciones para cada una de las necesidades del usuario. Esto es, para valorar el modo en que evoluciona la Atención, por ejemplo, se toman en cuenta los primeros cinco indicadores de la lista, porque son los que tienen los mayores puntajes.

Luego se estandarizan las puntuaciones, aplicando la regla de la suma por columna y se obtiene un peso global para cada indicador, con una regla equivalente a la ponderación lineal. La Tabla 10.9 refleja algunos de los valores obtenidos, no se presenta la tabla completa por razones de espacio.

Una cuestión diferente es la operación de los valores observados de los indicadores, debido a que tienen magnitudes muy distintas. Un indicador como Porcentaje de Servicios Exitosos toma valores entre cero y uno, en cambio, el indicador denominado Presupuesto per Cápita adquiere valores entre cero y diez.

Tabla 10.9*Vista parcial de pesos globales para cada Indicador*

Indicador	Ponderador
Grado de satisfacción de usuarios	0,0809
Porcentaje de servicios exitosos	0,1008
Capacitación	0,0612
Promedio de llegadas tarde	0,0537
Días no trabajados	0,0620
Cantidad de material extraviado transitoriamente	0,0231

Con la finalidad de estandarizar esta información en una escala común, se determinan umbrales máximos para cada indicador (X_i), donde el subíndice i indica que se trata del número i . Por otra parte se clasifica a los indicadores en dos tipos diferentes:

- Mayor es mejor: válido para observaciones donde se busca maximizar, como por ejemplo: Porcentaje de servicios exitosos.
- Menor es mejor: aplicable cuando se intenta minimizar, como por ejemplo: Cantidad de material extraviado transitoriamente.

Para estandarizar el indicador número i que corresponde al tipo “mayor es mejor”, se hace:

$$u_i = x_i / X_i \quad (10.3)$$

En cambio, para estandarizar un indicador del segundo tipo, se aplica una operatoria que permite transformar el dato hacia una forma cuyo objetivo sea maximizar. Para ello se calcula:

$$u_i = (X_i - x_i) / X_i \quad (10.4)$$

En las expresiones anteriores, x_i denota al valor del indicador número i , tal como fue observado. Una vez estandarizados los datos, el siguiente paso es la obtención del Indicador Global mediante ponderación lineal, con la siguiente expresión:

$$I_i = \left(\sum_i w_i \times u_i \right) \times 1000 \quad (10.5)$$

Donde w_i es el peso asignado al indicador i , en tanto que u_i es el valor estandarizado del mismo indicador. Por otra parte, este cálculo se realiza para cada mes, es decir, hay un valor para Abril, otro para Mayo y así sucesivamente. Los valores correspondientes al periodo Febrero 2011 a Marzo 2012 se reproducen en la Tabla 10.10.

Tabla 10.10

Valores obtenidos para el Indicador Global

Mes	Abr11	May11	Jun11	Jul11	Ago11	Sep11	Oct11	Nov11	Dic11	Mar12
Valor	689	684	674	650	647	628	651	648	655	645

La tabla anterior y en especial el gráfico, pueden ofrecer una retroalimentación adecuada para los roles directivos de la entidad. En efecto, si los valores se monitorean mensualmente y se analizan de inmediato las tendencias, la Dirección de la Biblioteca puede reaccionar de manera conveniente ante valores irregulares.

10.9 Presentación de resultados

A fin de posibilitar un seguimiento más detallado, se implementa una presentación similar a la de los cuadros de mando integrales. Con esa finalidad, se consideran las metas establecidas para cada uno de los indicadores analizados en la planificación anual de la entidad y se aplican las siguientes relaciones:

$$z_i = (x_i - x_{m_i}) / S_i \quad (10.6)$$

para indicadores del tipo mayor es mejor, en tanto que se hace:

$$z_i = (x_{m_i} - x_i) / S_i \quad (10.7)$$

cuando el indicador es del tipo menor es mejor.

En las expresiones anteriores x_{m_i} representa el valor meta para el indicador número i , en tanto que S_i representa el desvío estándar de los valores registrados en el último año. De este modo, los valores de Z_i positivos se asocian con el cumplimiento de la meta y los negativos señalan el no alcance de la misma.

Corresponde una reflexión sobre la conveniencia de utilizar la expresión anterior, debido a que se trata de una formulación natural de la distribución Normal de

probabilidad y a que no siempre los indicadores tienen ese comportamiento. En este caso, se supone que Z_i es un buen patrón de contraste aún en situaciones de no normalidad.

En cuanto a los colores adoptados, en esta aplicación se asocian los valores positivos de Z_i con el color verde, para señalar el cumplimiento de los objetivos adoptados. En cambio, se utiliza el amarillo para señalar las situaciones en que $(-1) < Z_i < 0$. Finalmente, cuando el valor de Z_i resulta menor a (-1) , se considera excesiva la desviación y el indicador se asocia con el color rojo.

Como ejemplo de informe mensual, se agrega el formulario desarrollado para presentar la evolución de los indicadores vinculados con la dimensión Colección, en un mes ejemplo, en la Figura 10.6.

Dimensión COLECCIÓN						
Mes ejemplo						
Código	Indicador	W	Meta	Desvío	Mar-12	Color
12	Cantidad de libros tratados	0,117	20	4,45	3,000	Red
13	Cajas de conservación confeccionadas	0,111	6	1,40	5,000	Yellow
14	Cantidad de libros/doc. estabilizados	0,105	20	4,00	12,000	Red
20	Cantidad de estanterías limpias	0,122	120	10,00	99,000	Red
22	Nro. de materiales nuevos ingresados	0,251	200	42,64	275,000	Green
29	Adquisición de bibliografía	0,164	0,1	0,02	0,596	Green
30	Rotación de material nuevo	0,130	0,3000	0,03	0,330	Green

Figura 10.6 Informe para los indicadores de la dimensión Colección

10.10 Consideraciones sobre los contenidos de este Capítulo

Este capítulo analiza un problema complejo como es la implementación de un sistema de gestión de calidad. Es complejo porque son diversas las dimensiones a considerar y porque los resultados finales dependen fuertemente de las percepciones y posiciones del grupo de empleados de la organización.

Ante las complicaciones que presenta el problema, en el capítulo se realiza una aproximación Multi-metodológica para el análisis. La misma reúne elementos de la

Investigación Operativa Blanda, de Enfoque de Procesos y por supuesto, del método desarrollado en esta Tesis, los Procesos DRV para la toma de decisiones en grupo.

Como ejemplo de la validez de la aproximación adoptada, se analiza el caso de una importante institución que además se caracteriza por la ausencia de fines de lucro. En la experiencia se obtuvieron muchos logros, entre los que pueden destacarse el aumento generalizado en las cantidades de usuarios y servicios brindados a la vez que una reducción significativa en la cantidad de no conformidades. Como resultados notables se encuentran: aumento en la cantidad de ejemplares que se catalogan por semana, disminución en los errores cometidos durante la catalogación, disminución de ejemplares extraviados, incremento en cantidad de consultas a la hemeroteca y en los niveles de conocimiento de los servicios que brinda la entidad. Lo que resulta más destacable aún es que se verificaron sustanciales mejoras en la satisfacción tanto de los usuarios, como del clima organizacional.

Respecto a la aplicación de Procesos DRV, la misma se orientó a identificar y valorar los requerimientos de los usuarios. Debe notarse que esa identificación es un requisito básico de los sistemas de calidad, motivo por el cual se habían realizado otros ejercicios similares en la institución.

Pese a ello, se evidenció en este caso una cuestión que ya se había detectado anteriormente. Esto es, las personas aparentan estar de acuerdo presionadas por el efecto del grupo, sin embargo, cuando se brinda la posibilidad de hacer valoraciones de manera independiente, surgen diferencias notables entre los actores. En este caso, fueron necesarios tres ciclos de análisis para alcanzar un aceptable nivel de consenso.

Conforme a la concepción del método utilizado, el ejercicio debe haber generado una importante mejora en el nivel de conocimiento compartido y en el fortalecimiento de la cultura organizacional. Más aún, es razonable esperar incrementos en los niveles de compromiso que tienen los participantes.

Por otra parte, se propuso una formulación para el indicador y se lo calculó para varios meses de actividad. Se logró además, una buena representación gráfica mediante el uso de una carta de control. Estos logros invitan a suponer que la Biblioteca va a estar en condiciones de actualizar periódicamente los valores del indicador y que puede aprovechar dicha información para retroalimentar de manera efectiva sus procesos internos.

11. Aplicación a problemas de selección de personas

Este capítulo aplica los Procesos DRV en un entorno multi-metodológico, con el objeto de seleccionar equipos de profesionales para trabajar en proyectos vinculados al desarrollo de sistemas computacionales. El caso estudiado es el de una empresa que ofrece servicios de “outsourcing informático”, esto es, contrata grupos completos para trabajar en las organizaciones que contratan sus servicios.

Por ese motivo, el proceso de selección debe repetirse varias veces al año, tantas como contratos se atiendan. En cada una de estas selecciones es necesario cubrir los siguientes roles: Referente, Analista Funcional, Desarrollador y Analista de Testeo. La elección debe realizarse entre una plantilla de empleados que reúne a unos ciento veinte profesionales.

Debe tenerse en cuenta que los proyectos orientados a recursos informáticos tienen un tiempo de desarrollo de varios meses y requieren un plantel estable de técnicos durante su construcción. Lo ideal es que el mismo grupo inicie y culmine con el proyecto, motivo por el cual se presta especial atención a la confiabilidad de cada integrante, es decir la posibilidad de que se mantenga dentro del grupo hasta la finalización del proyecto.

El problema puede considerarse complejo (Gomes, Araya y Carignano, 2004), porque se encuentra afectado por un elevado nivel de incertidumbre y porque las soluciones requieren de la participación efectiva de una gran cantidad de personas, entre otros motivos. Por ese motivo, no es razonable pretender resolverlo con una acción única. Por el contrario, la solución requiere de un conjunto de acciones para posibilitar que la implementación sea exitosa.

Por otra parte, el proceso de toma de decisiones se encuentra afectado por un elevado nivel de ruido, donde este término hace referencia a las cuestiones que afectan el proceso de decisión, como incertidumbre, imprecisión, faltante de datos o posibles conflictos (Zanazzi, Gomes y Dimitroff, 2014).

Ahora bien, este nivel de ruido debe ser reducido a lo largo del proceso de ajuste, porque de otro modo se dificulta la estimación del modelo utilizado para la selección y lo que es peor, se limitan las posibilidades de éxito posterior en sus aplicaciones. En este punto cabe recordar que los elementos del ruido y particularmente la

incertidumbre, tienen un correlato directo con el compromiso posterior de la organización hacia el método adoptado (Georgiou, 2008).

Por ese motivo, el enfoque adoptado para el análisis del problema se califica como multi-metodológico, en el sentido de Franco y Lord (2011), debido a que se propone la aplicación combinada de una serie de métodos de Investigación Operativa y Estadística. Entre los recursos utilizados en el presente capítulo se encuentran los siguientes: enfoque sistémico mediante la aplicación del SSM (*Soft System Methodology*), acorde a Georgiou (2006, 2012); Grilla de Repertorio de Kelly (Lemke, Clark y Wilson, 2010), (Alexander, et al., 2010) y obviamente los Procesos DRV.

Cabe reconocer que son diversas las aproximaciones que aplican conceptos de la Investigación Operativa para seleccionar equipos de trabajo con diferentes finalidades (Shahhosseini y Sebt, 2011), (Kelemenis et al., 2011), (Safarzaghan et al., 2012). La diferencia del enfoque planteado en este capítulo con los aportes mencionados, es que se propone un método de decisión grupal en vez de utilizar el tradicional enfoque individual. De este modo, se considera el ruido como una cuestión que debe ser controlada y reducida de manera sistemática.

Por último, cabe precisar que el contenido de este capítulo ha sido publicado en el siguiente artículo:

- Cabrera, G y Zanazzi, J. (2014). Una aproximación multimetodológica al problema de selección de equipos de trabajo. *Revista EPIO*, 36.

11.1 Aproximaciones al problema de selección de personas

El método de selección del equipo de trabajo que se presenta en este capítulo, apela a considerar las características de los posibles integrantes del grupo como competencias. Se entiende como competencias a un conjunto de valores y habilidades observables en una persona (Alles, 2002). Estas competencias se consideran tanto a la hora de escoger a los miembros del equipo, como en el momento de evaluar el desempeño.

En cuanto a las competencias a considerar, no parece haber un acuerdo generalizado acerca de cuáles son las habilidades a evaluar cuando se plantea un análisis de este tipo. Esta disparidad se evidencia en la afirmación de Alles (2002), al sostener que deben ajustarse a la estructura y a los objetivos organizacionales.

Incluso se encuentran diferencias al definir las que deben considerarse como fundamentales para evaluar roles de liderazgo. Por ejemplo, Jin-Ling (2009) adopta como relevantes las siguientes: cualidades personales; niveles de conocimiento; habilidades para el trabajo; motivación para el logro y espíritu de equipo. Por su parte, Alles (2002) indica que las competencias cardinales o generales para un cargo ejecutivo son las siguientes: integridad; liderazgo; empowerment e iniciativa.

Respecto a los métodos de Decisión Multicriterio Discreta, existen numerosas evidencias sobre la conveniencia de utilizarlas en problemas de selección y evaluación de personal. Dentro de las propuestas realizadas, el método preferido parece ser el *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Por supuesto, son variadas las aproximaciones que utilizan el AHP como método multicriterio y conjuntos borrosos para representar la incertidumbre e imprecisión de las evaluaciones. Ello queda evidenciado en aportes como Shahhosseini y Sebt (2011), Lin et al. (2009).

De todos modos, otras posibilidades metodológicas han sido consideradas. En Shahhosseini y Sebt (2011), se propone una interesante combinación de redes neuronales con el *Analytic Hierarchy Process* (AHP), donde los criterios se miden utilizando variables lingüísticas. Por su parte, en Kelemenis et al. (2011), se representan las competencias mediante la adopción de conjuntos borrosos y se realiza una agregación posterior con el método Topsis.

En general, los aportes anteriores imaginan al tomador de decisiones como una persona única y no como un grupo que debe acordar aspectos claves para que la selección sea efectiva. Una excepción en este sentido es el trabajo de Alencar y Almeida (2010), donde se utiliza Promethee para analizar las preferencias individuales y posteriormente se agregan de manera conveniente dichas preferencias. De todos modos, no se plantea un proceso de reducción del ruido, dado que la propuesta opera con las posturas individuales sin proponer acercamientos.

11.2 Enfoque multimetodológico para la reducción del ruido

Al igual que en el problema analizado en el Capítulo 10 de esta Tesis, en este caso se utilizó una combinación de metodologías. La estructura general del enfoque se reproduce en la Figura 11.1.

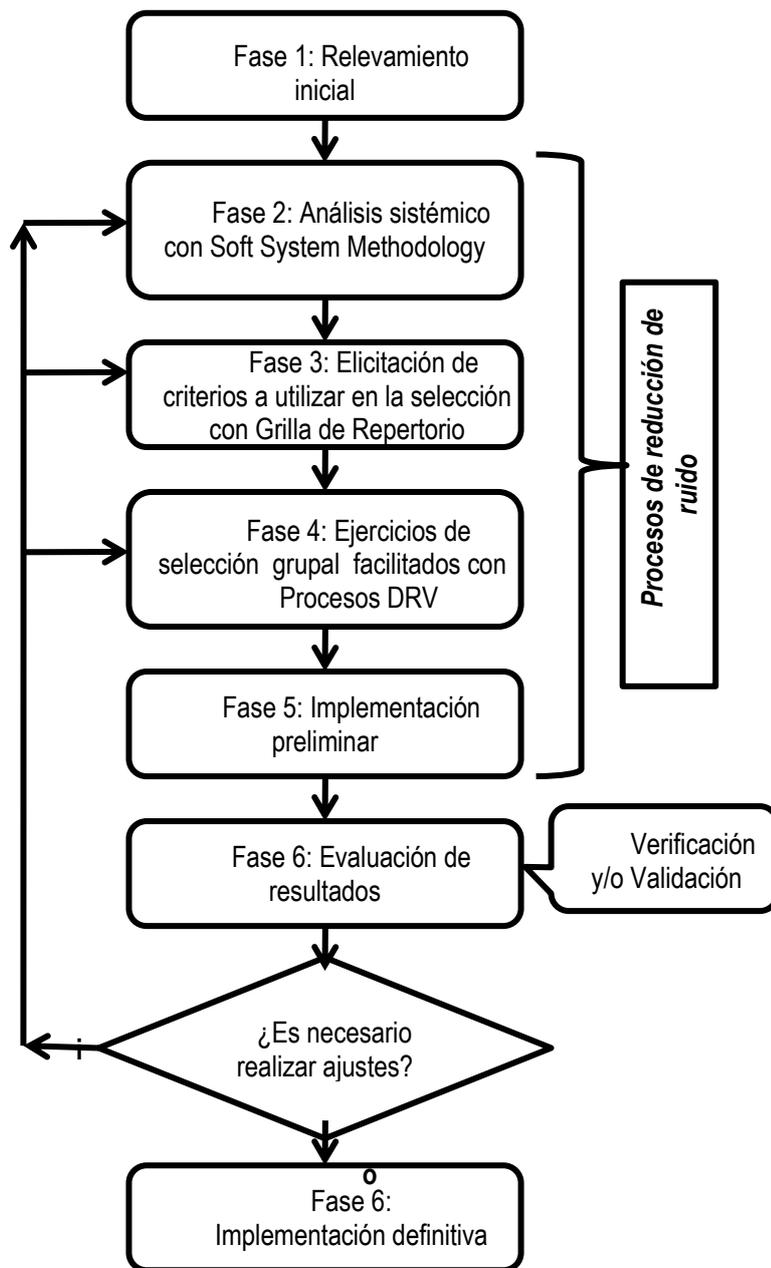


Figura 11.1 Proceso de selección de equipos de trabajo

Durante el relevamiento inicial se comenzó con la identificación del problema y sus consecuencias. Entre los emergentes de esta etapa estuvieron los motivos por los cuales conviene transformar el sistema analizado y quiénes son los actores en condiciones de sostener los cambios necesarios.

Las fases 2, 3, 4 y 5, condujeron a la adopción de diversas decisiones, a diferentes niveles. El relevamiento inicial y las aplicaciones de SSM y la Grilla de Repertorio, permitieron estructurar el problema general.

Los subprocesos no se trabajaron en forma separada, sino que por el contrario, se retroalimentaron de modo continuo. La Tabla 11.1 enumera los métodos utilizados y los subproductos obtenidos con cada una de estas aplicaciones.

La fase de aplicación preliminar del proyecto permitió calibrar el sistema y realizar una primera detección y eliminación de desviaciones. Se trató, sin dudas, de una interesante posibilidad de reducción en el nivel de ruido.

Tabla 11.1
Métodos aplicados en el estudio

<i>Método aplicado</i>	<i>Sub productos a obtener</i>
Soft System Methodology	Transformaciones complementarias que conviene realizar para potenciar el método de selección, además del propio método
Grilla de Repertorio de Kelly	Identificación y definición de criterios a utilizar para valorar a los candidatos a cubrir estos roles: Referente, Analista Funcional, Desarrollador y Analista de Testeo
Procesos DRV	Pesos de los criterios a considerar, que son diferentes para cada rol. Capacitación de las personas participantes sobre las características generales del modelo. Compromiso con la solución adoptada.
Programación Lineal	Selección de los candidatos y asignación a cada uno de los roles a cubrir

Por otro lado, la evaluación se orientó a la verificación y validación del sistema. Como parte de las actividades de validación, es necesario considerar las variaciones en los niveles de confiabilidad de cada uno de los equipos de trabajo propuestos, tanto a nivel individual como grupal.

En la implementación definitiva se trasladó la gestión del sistema a los usuarios para que lo utilicen. Ante cualquier dificultad que se pueda presentar, se les ofreció una asistencia de menor intensidad para salvar cuestiones no previstas originalmente.

Lo relevante en la concepción de este enfoque es el convencimiento de que con un solo y único método, con una acción solitaria, no se puede obtener una solución adecuada para este tipo de problemas. Muy por el contrario, es preciso estudiar y delimitar el entorno del problema, identificar los elementos que lo caracterizan, detectar las fuerzas contrapuestas y coincidentes en la organización, relevar los intereses de los miembros de la misma. Esa mirada global aumenta mucho la posibilidad de plantear soluciones inclusivas y factibles.

11.3 Resultados obtenidos en la estructuración

A partir del relevamiento inicial del sistema, surgen ciertas condiciones que deben ser consideradas al proponer soluciones. El caso de estudio es el de una empresa que hace outsourcing de recursos informáticos, es decir que alquila los servicios de personal especializado a empresas que necesitan desarrollar programas para computadoras. Ante requerimientos de las empresas clientes, esta organización selecciona un conjunto de personas para que se aboquen al proyecto en cuestión.

Como se anticipó, una de las cuestiones a tener en cuenta durante la selección es la confiabilidad de cada integrante, es decir, la posibilidad de que se mantenga dentro del grupo hasta la finalización del proyecto. Ahora bien, sucede que las personas seleccionables para este tipo de proyectos son graduados universitarios y han adquirido cierto nivel de independencia en el trabajo. Además poseen competencias técnicas escasas en el medio en que se desempeñan, por lo que existe una elevada demanda de trabajadores de este tipo que hace que el nivel de rotación laboral sea elevado.

Bajo estas condiciones, no es factible adoptar una estructura organizacional tradicional, con roles de mando definidos. Por el contrario, más que nunca se requiere armar grupos operativos con buenas relaciones internas. Además es preciso estimular la participación y el compromiso, a la vez que considerar y favorecer los aportes y el desarrollo de las personas.

Los equipos de trabajo se integran con profesionales que cumplen los siguientes roles: Referente, Analista Funcional, Desarrollador y Analista de Testeo. En general cada grupo tiene un solo Referente, pero puede tener más de una persona en las restantes funciones.

11.3.1 Aplicación de la Soft System Methodology para la estructuración del contexto de problema de decisión.

La versión de Soft System Methodology (SSM), propuesta por Georgiou (2006, 2008), contribuye a definir el contexto del proceso de toma de decisión, esto es: situaciones problemáticas a considerar, actores involucrados, vinculaciones, caracterización del ambiente organizacional y definición del tipo de transformaciones (sistemáticamente convenientes y culturalmente factibles), que es preciso realizar.

Esta metodología sigue los principales postulados de Checkland (2000), con algunas modificaciones que se orientan a la consecución de la eficacia de la gestión Georgiou (2006, 2008). En la primera parte de este método se hace foco en la exploración y expresión de la situación problemática, para lo cual se recomienda la utilización de imágenes ricas que permiten representar de manera gráfica las percepciones de los actores implicados en el proceso decisorio. Como ejemplo de esta posibilidad, la Figura 11.2 es una de las imágenes ricas logradas en el contexto del problema de selección de personas para proyectos informáticos.

La segunda actividad del método SSM, se aboca a la definición rigurosa de la situación problemática; resulta ser la esencia de su resolución y viene dada por la identificación de un grupo de transformaciones en las cuales queda explícita la situación conflictiva y una manera de resolverla. La situación conflictiva actual se constituye en la entrada del proceso de transformación que devuelve como salida, el cambio que se espera alcanzar.

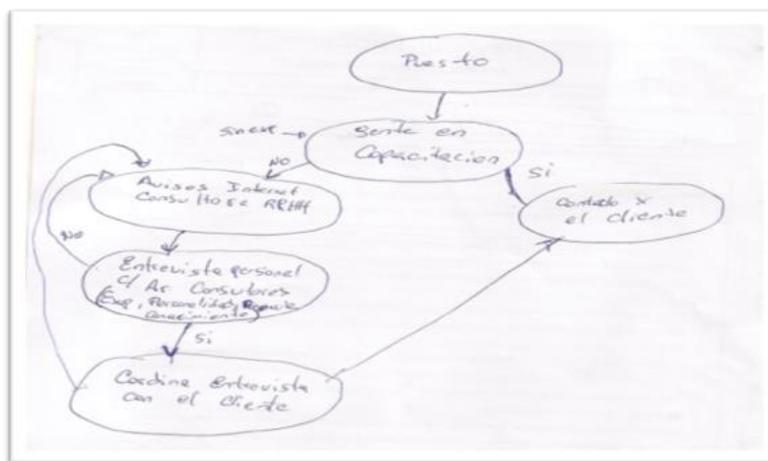


Figura 11.2 Diagrama realizado a mano alzada, por uno de los entrevistados.

Para expresar estas transformaciones y el contexto en el que deben efectivizarse, se elabora el CATWOE, una base de datos que reúne los siete elementos que constituyen su mnemotécnica. En la expresión anterior, la C hace referencia al Cliente, beneficiarios y perjudicados de la transformación; la A al Actor, quién realizará la transformación; la T al Proceso de transformación que cambia alguna entrada definida o situación actual en una salida definida o situación ideal; la W expresa las razones que justifican la transformación; la O indica los propietarios, quiénes podrían

interrumpir o limitar la transformación; la E enumera las restricciones del ambiente que podrían interrumpir, limitar o complicar la transformación.

En este trabajo, se identificaron como necesarias cinco transformaciones para la organización bajo estudio. Una de estas transformaciones es el desarrollo de un método que permita seleccionar de modo sistemático a los integrantes del grupo de trabajo de este proyecto, pero no es lo único que se debe lograr. El estudio indica que complementariamente es preciso impulsar las siguientes acciones:

- Incorporar dinámicas y espacios compartidos que contribuyan a fortalecer la identificación de los profesionales con la empresa. Cabe recordar que debido a que se trata de un servicio outsourcing, los empleados se vinculan directamente con las organizaciones clientes y pasan poco tiempo en la propia organización.
- Identificar los factores que aumentan la confiabilidad de los profesionales que trabajan en el servicio. Esto es, se debe analizar hasta qué punto los factores económicos y no económicos son determinantes de la permanencia del personal.
- Implementar un Sistema de Gestión de Personas que estimule la participación y el compromiso de los dependientes.
- Desarrollar la figura de Referente en todo su potencial. En la actualidad parece que este rol no ejerce el liderazgo que la empresa necesita, ni estimula el compromiso con la misma.

En la Tabla 11.2 se resumen las transformaciones necesarias. Se trata de una matriz de doble entrada, donde cada fila se vincula con una de las transformaciones necesarias y donde las columnas resumen la información del CATWOE para dicha transformación.

Debe notarse que el método para seleccionar integrantes de proyecto, que es objeto del presente artículo, no es la única transformación necesaria. Esto debe tenerse en cuenta para evitar caer en la confusión de que sólo este modelo es importante. Muy por el contrario, el desarrollo solicitado por la empresa es sólo una pieza más entre las múltiples acciones necesarias para obtener el efecto buscado.

Tabla 11.2
CATWOE.

Cliente	Actores	Actual	Ideal	Razones que justifican la TRANSFORMACION	Propietario	Restricciones
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa-Cliente • Recursos • Organización outsourcing 	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de Desarrollo • Socios gerente 	No comparten tiempo y espacio físico.	Las dinámicas habituales de trabajo incluyen momentos y espacios para compartir.	Los espacios y tiempos compartidos aumentan la cohesión del grupo y generan fidelización.	Empresa Cliente Socios Gerentes	<ul style="list-style-type: none"> • Urgencia de los Proyectos • Distribución geográfica • Horarios de los recursos
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa-Cliente • Recursos • Organización outsourcing 	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de Desarrollo • Facilitadores 	La gestión de RR.HH ofrece múltiples oportunidades de mejora	Desarrollo de un adecuado Sistema de Gestión de RR.HH	Va a facilitar la selección y asignación de los recursos. Permite explicitar y observar las competencias requeridas.	Socios Gerentes	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimientos del Sistema de Calidad
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa-Cliente • Organización outsourcing • Recursos 	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de Desarrollo • Referentes • Facilitadores 	El proceso de selección y asignación de recurso idóneo para un rol requerido en un proyecto ofrece múltiples oportunidades de mejora	Disponibilidad de una metodología que posibilite seleccionar y luego asignar un recurso idóneo para un rol requerido en un proyecto; de modo que este proceso se sustente en evidencia empírica y que mejore la confiabilidad de dicho recurso.	Va a facilitar y optimizar la selección y asignación de los recursos. Permite explicitar, observar y mensurar las competencias requeridas. Permite realizar comparaciones entre los recursos basadas en evidencia empírica.	Socios Gerentes Gerente de Desarrollo	<ul style="list-style-type: none"> • Urgencia de los Proyectos • Horarios de los recursos • Sistema de calidad • Características propias de la Generación Y • Permanencia de los recursos • Elevada demanda de los recursos • Disponibilidad de información
<ul style="list-style-type: none"> • Empresa-Cliente • Recursos • Organización outsourcing 	<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de Desarrollo • Referentes • Facilitadores 	La figura del Referente no está definida	Desarrollo del Rol de Referente y potenciación del mismo.	Los Referentes podrían captar y canalizar información sobre necesidades de los clientes y de los recursos. Pueden promover la cohesión y fidelización.	Socios Gerentes	<ul style="list-style-type: none"> • Características propias de la Generación Y • Permanencia de los recursos. • Urgencia de los Proyectos
<ul style="list-style-type: none"> • Gerente de Desarrollo • Organización outsourcing 	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitadores 	No se han realizado estudios para conocer el impacto de las variables económicas y no económicas en la permanencia de un recurso	Disponibilidad de un modelo que permita conocer el impacto de variables económicas y no económicas en la permanencia del recurso	Permitiría predecir el comportamiento de los recursos en cuanto a su permanencia en la empresa. Permitiría potenciar actividades de capacitación.	Socios Gerentes	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de calidad • Disponibilidad de información • Urgencia de los Proyectos • Elevada demanda de los recursos • Distribución geográfica • Horarios de los recursos • Sistema de calidad

11.3.2 Elicitación de las competencias requeridas para cada rol.

La Grilla del Repertorio de Kelly se utiliza para posibilitar la elicitación de las competencias que se requieren para cada uno de los cuatro roles. En cuanto a esta herramienta, en el artículo clásico de Kelly (1955) se desarrolla la Teoría de Constructos Personales a partir de un postulado según el cual, las personas construyen su mundo individual conforme a la interpretación personal que hacen del mundo exterior.

El autor sostiene que el sistema de construcción de una persona está compuesto por un número finito de constructos dicotómicos, denominados constructos bipolares. Los constructos personales, concebidos en términos de bipolaridad, se entienden como referenciales que utilizan las personas para conducir su accionar.

En este marco se inscribe la Grilla de Repertorio, método que facilita la interpretación del modo en que una persona da sentido a sus experiencias, por lo que se constituye en un interface para la realización de entrevistas. Se trata de un instrumento muy flexible, de hecho, ha sido muy aplicado en el ámbito de la psicología y en la actualidad es utilizado en variados contextos.

Una de las versiones más utilizadas de la Grilla del Repertorio es la rejilla de puntuaciones que se presenta en un formato de tabla de doble entrada o matriz de datos. Los denominados elementos, entes físicos o abstractos que deben ser aptos de ser conceptualizadas mediante los constructos pertinentes, se disponen en las columnas.

En tanto, los constructos bipolares que operan como criterios de evaluación para los elementos se ubican en las filas de modo siguiente: constructos emergentes (positivos) a la derecha y constructos opuestos (negativos) a la izquierda. Por último, en cada celda de la matriz se consigna un puntaje que expresa la valoración de los elementos en términos de cada uno de los constructos. Esta valoración se realiza según el elemento se acerque a un polo u otro del constructo correspondiente.

En la Tabla 11.2 se muestra una de las grillas elaboradas, construida en este caso por el Gerente de Desarrollo de la empresa.

Tabla 11.2

Grilla de repertorio resultante de una entrevista.

	Analista Funcional	Desarrollador	Analista de Testeo	Referente	
Poca Experiencia laboral	9	7	6	8	Experiencia laboral elevada
Escaso conocimiento del negocio	9	6	4	9	Elevado conocimiento del negocio
Escasa capacidad para la comunicación oral	8	7	5	9	Alta capacidad de comunicación oral
Baja capacidad de liderazgo	9	8	7	9	Alta capacidad de liderazgo
Baja capacidad de iniciativa	9	7	6	8	Alta capacidad de iniciativa

Las filas de la tabla anterior especifican cuáles son las competencias emergentes en los candidatos, que conviene considerar en el proceso de selección. Por supuesto, resulta natural adoptar estas competencias como los criterios a valorar en la decisión multiatributo.

En este caso concreto, el gerente opinó que las competencias – criterios son las siguientes:

- Experiencia laboral.
- Conocimiento del negocio.

- Aptitud para la comunicación oral.
- Liderazgo.
- Iniciativa.

Ahora bien, estos resultados fueron similares en las diferentes entrevistas. Un resultado relevante en este caso, es que dichos criterios parecen ser los mismos para todos los roles. Esta posibilidad fue puesta a consideración del grupo de entrevistados en distintas oportunidades con resultados coincidentes.

Con esa base entonces, se adoptaron para todas las elecciones los criterios antes especificados. De esta manera, todas las valoraciones se realizan de modo similar, con diferencias solamente en las ponderaciones asignadas a los criterios.

11.4 Aplicación de Procesos DRV en la fase de análisis grupal

En base a la información generada en la fase de estructuración del problema, se sigue con la fase de análisis grupal. En esta fase se analizaron en una actividad grupal que reunió a doce personas, algunos de los problemas relacionados con el método de selección, con la dinámica de los procesos DRV.

Como primera acción se planteó acordar las definiciones de los criterios y los cuatro roles/puestos considerados con el grupo operativo. En la Tabla 11.3 se definen los criterios que el grupo decide considerar.

Tabla 11.3

Acuerdos logrados respecto de la definición para cada criterio / competencia.

Criterio	Definición
INICIATIVA	Proactividad, vocación por realizar propuestas innovadoras y factibles. Predisposición a asumir responsabilidades.
EXPERIENCIA	Experiencia concreta en el ejercicio del rol o roles afines.
CONOCIMIENTO DEL NEGOCIO	Conocimiento de los procesos de la organización en la cual le va tocar trabajar.
LIDERAZGO	Capacidad de guiar, acompañar, motivar y transmitir la visión del negocio a sus pares.
COMUNICACIÓN	Facilidad para transmitir ideas, escuchar a su grupo de trabajo y desarrollar relaciones interpersonales.

En esta experiencia fue necesario trabajar sobre la definición en conjunto de cada uno de los roles a cubrir. En este aspecto es imprescindible arribar a una posición de consenso y verificar por diferentes medios que la misma es real.

Ahora bien, una vez logrados los acuerdos anteriores se realizó un ejercicio de toma de decisiones. Se comenzó por determinar los pesos de cada uno de los cinco criterios (competencias), para el Rol: “Desarrollador”.

De manera individual los participantes asignaron prioridades a estos criterios. En la Figura 11.3 se muestra el comportamiento de las utilidades estandarizadas propuestas por los miembros del grupo, para los cinco criterios.

Los diagramas de caja hacen pensar que subsisten diferencias importantes en las posiciones personales. En efecto, se detectan varios valores extraños que reflejan posiciones alejadas de algunos miembros del grupo. Por otro lado, la caja correspondiente a Experiencia tiene una variación muy notable e inaceptable.

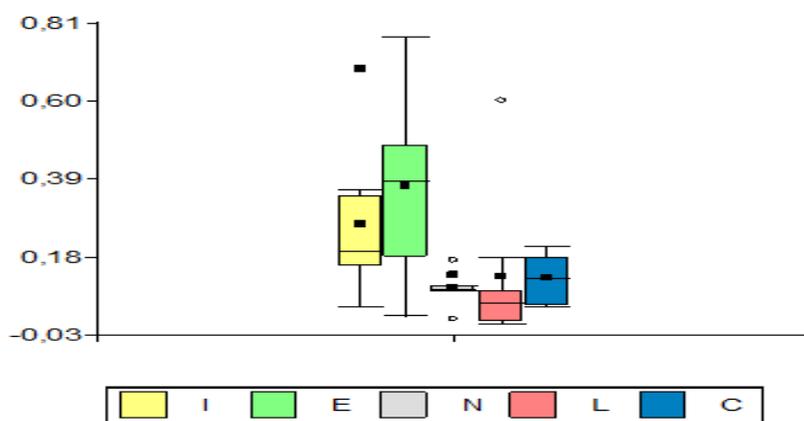


Figura 11.3 Utilidades estandarizadas para los criterios considerados al valorar el rol de Desarrollador.

En este punto se pone de manifiesto una de las fortalezas de los Procesos DRV. A partir del análisis anterior, parecía que los participantes estaban de acuerdo. Sin embargo, cuando se realizan asignaciones individuales aflora una fuerte variabilidad en las opiniones expresadas. Es decir que el aparente consenso era forzado por la presión del grupo.

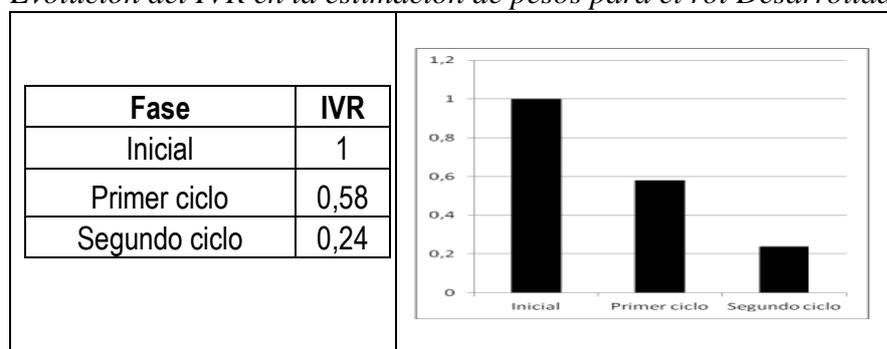
Por otro lado, el indicador IVR calculado a partir de estas muestras alcanza un valor también inaceptable. Coincidente con los indicios anteriores, la prueba de normalidad de Pearson et al. (1977), verifica que las utilidades no pueden suponerse extraídas de una población normal.

Conforme a la lógica de los Procesos DRV, en este primer intento no se alcanzó la estabilidad. Por ese motivo, se retomó el análisis de las competencias/criterios

adoptados y se realizaron ejercicios destinados a facilitar la vinculación de estos criterios con el rol de Desarrollador.

En este caso, fue necesario realizar dos fases adicionales de análisis con sus correspondientes asignaciones de utilidades. En el tercer ciclo se alcanzó la condición de estabilidad planteada por el método. La Tabla 11.4 resume la evolución del IVR durante la estabilización.

Tabla 11.4
Evolución del IVR en la estimación de pesos para el rol Desarrollador



Según la tabla, el IVR ha disminuido fuertemente en relación al primer intento indicado. Esto una señal clara de la reducción del ruido y consecuentemente, una oportunidad de lograr una perspectiva consolidada por parte del grupo.

Hasta aquí se describe con detalle, la modalidad de trabajo implementada y los resultados obtenidos para lograr el consenso respecto de los pesos a asignar a cada uno de los cinco criterios, para el puesto de Desarrollador. Este mismo procedimiento se utilizó para los restantes tres roles: Analista Funcional, Analista de Testeo y Referente de Empresa. En la Tabla 11.5 se sintetizan para cada uno de los roles, los pesos consensuados de los cinco criterios.

Tabla 11.5*Pesos consensuados de los criterios para cada rol.*

	Experiencia	Conocimiento del negocio	Comunicación	Liderazgo	Iniciativa
Analista Funcional	0,29	0,30	0,11	0,20	0,10
Analista de Testeo	0,20	0,32	0,27	0,09	0,12
Desarrollador	0,45	0,09	0,15	0,06	0,25
Referente de la empresa	0,15	0,23	0,28	0,16	0,18

Las filas de la Tabla 11.5, contienen los estimadores de los parámetros del sistema, es decir los ponderadores ($w_{j,k}$) de las competencias seleccionadas, que fueron asignados a cada una de las funciones.

11.5 Implementación del método

Después del ajuste del modelo, se construyó una base de datos que contiene los parámetros del sistema y la información relevante de las personas que integran la organización. Dicha base reúne elementos de información como los que se muestran en Tabla 11.6.

Tabla 11.6*Información contenida en la base de datos del sistema.*

Nombre	Disponible	Experiencia	Conocimiento del negocio	Comunicación	Liderazgo	Iniciativa
X1	1	0,3	0,45	0,1	0,1	0,05
X2	1	0,1	0,2	0,35	0,15	0,2
X3	0	0,15	0,05	0,2	0,5	0,1
X4	1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5
X5	1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2
X6	0	0,15	0,3	0,25	0,15	0,15
X7	1	0,15	0,15	0,35	0,2	0,15
X8	0	0,1	0,2	0,15	0,35	0,2

La columna Disponible tiene valor cero, si la persona se encuentra comprometida en otro proyecto al momento de la selección y vale uno si es posible incorporarla al proyecto bajo análisis. Las restantes columnas contienen las valoraciones actualizadas ($u_{i,j}$), del personal de la empresa, realizadas conforme a los criterios y escalas adoptados en la fase de ajuste. Obviamente, para que este sistema funcione, las valoraciones deben ser actualizadas de manera periódica y sistemática.

Sea por ejemplo, un proyecto donde es preciso seleccionar un equipo de trabajo integrado por un Analista, un Desarrollador y un Especialista de Testeo. En ese caso, a partir de la información contenida en la base, es posible determinar un valor global para cada una de las personas y para cada función, mediante la siguiente operación.

$$V_{n,j} = \sum_{j=1}^J w_{j,k} * u_{n,j} \quad \text{con } 1 \leq k \leq K \quad (11.1)$$

Esta operación arroja los datos que se muestran en la Tabla 11.7, donde se conservan solo las personas seleccionables. En la misma se observa que la persona X1 obtiene un valor global de 0,25 cuando se la analiza como candidata a la función de analista, en tanto que obtiene un valor de 0,19, si se la propone para desarrollador y 0,23 si la función es analista de testeo.

Tabla 11.7

Valores globales para cada persona y para cada función

Nombre	Analista	Desarrollador	Testeo
X1	0,25	0,19	0,23
X2	0,17	0,15	0,16
X4	0,16	0,19	0,18
X5	0,23	0,32	0,19
X7	0,18	0,175	0,16

Ahora bien, se dispone de cinco candidatos para ocupar tres funciones, por lo que se tiene un problema de asignación clásico conforme a Alberto y Carignano (2013), el cual puede ser resuelto como un Programa Lineal o mediante el método Húngaro. En el Programa Lineal apropiado que se presenta a continuación, las variables $y_{n,k}$ son del tipo binarias, toman valor uno cuando la persona n se asigna a la tarea k , en tanto que toman valor cero en el caso contrario.

Debido a que la cantidad de personas es mayor que la cantidad de roles a cubrir, se definen dos variables (roles) adicionales, para equilibrar el problema. Estas variables y_{nk} , con $(K + 1) \leq k \leq N$, son de tipo ficticio y se incorporan con beneficio cero.

$$Max \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^N v_{n,k} * y_{n,k} \quad (11.2)$$

s.a.

$$\sum_{n=1}^N y_{n,k} = 1$$

$$\sum_{k=1}^K y_{n,k} = 1$$

Con esta lógica, para el ejemplo las asignaciones realizadas son las siguientes: la persona 1 se asigna al rol de Analista, la persona 5 se asigna al rol de Desarrollador y la persona 2 se asigna al rol de Testeo.

11.6 Consideraciones sobre los contenidos de este Capítulo

En este capítulo se propone un método orientado a seleccionar un grupo de personas que pueda abocarse al desarrollo de proyectos informáticos. El problema es complejo porque la decisión se encuentra afectada por un elevado nivel de incertidumbre y porque es necesario identificar y considerar tanto los valores de la organización donde se opera, como los intereses personales de los participantes.

Por ese motivo, a los fines del análisis se adopta un enfoque multi-metodológico que combina diferentes herramientas de investigación operativa y de estadística. En el primer grupo se incluyen herramientas como la Grilla de Repertorio de Kelly, la *Soft System Methodology* en su versión reconfigurada, y el método de decisión multicriterio denominado Procesos DRV.

Lo interesante de esta combinación de métodos es que resulta posible estructurar un proceso de aprendizaje organizacional, donde los aportes de los participantes se van entramando, vinculando, complementando para mejorar el nivel de conocimiento compartido.

La dinámica que establece la SSM reconfigurada permite determinar que el problema de la selección del grupo de participantes de un proyecto no puede considerarse en forma aislada, sino que es imprescindible generar un contexto organizacional favorable, para lo cual se requiere implementar un conjunto de acciones transformadoras. Por su parte, la Grilla de Repertorio facilita la estructuración del problema de toma de decisiones, simplifica la tarea de procesamiento de las entrevistas y hace posible una derivación natural del conjunto de criterios a utilizar.

De manera complementaria, la aplicación del método Procesos DRV va a permitir la ponderación de los criterios utilizados y la asignación de prioridades a las alternativas a considerar. Pero además, el aporte clave esperable es la posibilidad de recibir contribuciones de todos los interesados, la generación de un verdadero aprendizaje conjunto y la mejora en el nivel de compromiso con la decisión adoptada.

Lo interesante es, en opinión del autor de este documento, es que el uso combinado de métodos que se propone en este trabajo permite no sólo aprovechar los frutos de cada una de estas herramientas, sino que además potencia las ventajas de las mismas.

Esa afirmación se justifica en el siguiente razonamiento. El método multicriterio adoptado para la selección de los miembros del grupo, por ejemplo, adquiere mayor potencia porque el SSM permite identificar la necesidad de acciones adicionales que incrementan las posibilidades de éxito del método. La aplicación de Procesos DRV aumenta su eficiencia y potencia debido a que la Grilla de Repertorio facilitó la identificación de criterios.

Se incrementa también la posibilidad de que la aplicación del método se extienda en el tiempo y que se respete el resultado del programa lineal, debido a que las restantes herramientas permitieron capacitar a los líderes de la organización y a que se generó compromiso y consenso en torno a la solución adoptada.

Más allá de esas consideraciones, el capítulo presenta una nueva experiencia que pone de manifiesto la ductilidad y la potencia de los Procesos DRV.

12. Conclusiones

Estas son las conclusiones de una Tesis donde se propuso el desarrollo y prueba de un método destinado a sustentar ejercicios de toma de decisiones. El problema plantea que es preciso seleccionar una alternativa entre un conjunto finito de elementos y que además, es necesario ordenarlos convenientemente.

Un requisito clave para este método es que debe ser aplicado por un conjunto de personas que conforman un equipo de trabajo, es decir que comparten un objetivo y responden a los valores imperantes en una cierta organización.

Así entonces, en opinión del autor, este objetivo ha sido alcanzado debido a que se diseñó el método en cuestión, se lo aplicó de manera total o parcial en varias oportunidades, con buen nivel de aceptación y se lo publicó en distintas revistas especializadas.

Respecto a los objetivos particulares formulados en la Introducción de esta Tesis, el primero plantea: “se espera que el método aumente la posibilidad de que se reflejen las prioridades o preferencias, de todos los miembros del equipo”. Al respecto, tal como fue diseñado el método exige que cada participante aporte sus valoraciones de manera individual, esto es sin condicionamientos de parte del resto. Esa estrategia hace posible que las opiniones personales afloren con cierta libertad y que se disminuya el efecto del grupo.

Por otro lado, una de las preocupaciones que deben enfrentar este tipo de aproximaciones, es que resulte factible forzar la convergencia de opiniones. Esta situación no deseada es muy difícil en el marco de los Procesos DRV, dado que para expresar sus juicios, los participantes siempre utilizan medidas indirectas. Por otra parte, luego de cada fase el facilitador devuelve información a los miembros del grupo, mediante la presentación de los siguientes elementos de información: Indicador IVR, diagramas de caja y resultados de la pruebas de normalidad. Con esas condiciones, parece difícil que los participantes puedan acomodar sus valoraciones a los resultados del conjunto.

Respecto al segundo objetivo particular: “se espera que el método aumente la posibilidad de reducir el ruido que afecta al proceso de toma de decisiones”, debe tenerse en cuenta que el mencionado ruido se encuentra alimentado por las perturbaciones generadas por la imprecisión, la incertidumbre y el faltante de datos.

Los dos primeros efectos se reducen en la fase de Estabilización de los Procesos DRV, de hecho, esta reducción ha sido evidenciada en todas las aplicaciones reales que se presentan en la Tesis. Por otro lado, las etapas de agregación y ordenamiento pueden realizarse aún cuando no participen todos los integrantes del grupo, en el total de sesiones. Esto es así, porque las estimaciones de parámetros de las distribuciones multivariadas, no requieren que los participantes de cada fase sean exactamente los mismos.

En cuanto al tercer objetivo particular: “se espera que el método aumente la posibilidad de que la decisión sea aceptada y sostenida posteriormente por los participantes”, esto debería ser una consecuencia natural de la estrategia utilizada, debido a que se trata de decisiones que se adoptan en conjunto, después de un proceso de análisis que contribuye a clarificar los fundamentos de esas decisiones y donde los participantes aportan con cierta libertad, debido a que se encuentran parcialmente neutralizadas la presión de grupo y la influencia de los líderes.

Finalmente, el cuarto objetivo particular reza: “se espera que el método aumente la posibilidad de que los procesos de decisión puedan utilizarse como una efectiva herramienta de capacitación para los grupos”. Al respecto cabe señalar que la dinámica de los Procesos DRV verifica los requisitos planteados en los modelos constructivistas de aprendizaje de adultos. De hecho, los participantes realizan diferentes operaciones mentales con los elementos comparados, esto es, por ejemplo, identificar, verbalizar, comparar, ordenar, los elementos en cuestión. Desde ese punto de vista, los Procesos DRV pueden considerarse como una estrategia de construcción de conocimientos conjuntos y se transforman en una potente posibilidad para la capacitación grupal.

Para sostener estas afirmaciones, en los siguientes párrafos se analizan tanto el producto obtenido como algunos subproductos, se recuerdan diversas cuestiones adicionales que debieron ser resueltas de modo complementario y se analizan posibles derivaciones de la actual propuesta.

Cualidades positivas en el método desarrollado.

A los fines de valorar la originalidad de la metodología planteada, es conveniente repasar los supuestos y estructura. Entre diversos aspectos, esta aproximación se diferencia de otras propuestas por la importancia que le asigna a la valoración de los criterios y al establecimiento de acuerdos entre los miembros del grupo. En efecto,

para los Procesos DRV no resulta razonable avanzar hacia una decisión conjunta si el equipo de trabajo no logra establecer consensos respecto a las prioridades de los criterios adoptados.

Por otra parte, el método reconoce tres fases bien definidas, estabilización, agregación y ordenamiento. En la primera etapa, se contempla la asignación de utilidades por parte de cada uno de los integrantes de manera individual. A continuación los participantes acceden a resúmenes estadísticos que devuelven una representación del conjunto de resultados y que no permiten identificar las valoraciones realizadas por cada uno de los miembros.

La estrategia de medición indirecta del nivel de acuerdo alcanzado, tiene algunas ventajas que conviene destacar. En primer lugar, dado que los participantes visualizan la respuesta general, no la de los líderes, se reduce la posibilidad de influencias no deseadas y se disminuye el efecto de la denominada “presión de grupo”.

Además, este es un buen modo de verificar la existencia de un cierto grado de consenso y del nivel de compromiso con la decisión. Es muy frecuente que los integrantes de un equipo de trabajo brinden un acuerdo superficial, al sentir la presión del grupo, pero que posteriormente no sostengan la decisión en la práctica. Precisamente, la fase de estabilización reduce la posibilidad de que este tipo de deformaciones se presente.

De modo adicional, cuando se aplica en organizaciones fuertes, con una cultura organizacional definida y sostenida, los Procesos DRV permiten que la influencia de las políticas imperantes aflore en las valoraciones que asignan los integrantes del grupo y que se incremente la cohesión en torno a esta cultura. En cambio, cuando la entidad que lo aplica no se encuentra suficientemente consolidada, el método puede utilizarse como una efectiva herramienta de capacitación y de hecho, favorece el cambio y desarrollo de la organización.

Otra fortaleza de la fase de estabilización, es que favorece la reducción de la imprecisión y la incertidumbre que en general están presentes en este tipo de problemas. En ese sentido, corresponde precisar que en general los métodos para decidir en grupo se esfuerzan por tomar la decisión de cualquier modo, aún cuando la misma puede estar perturbada porque faltan datos, porque la información es imprecisa o porque, se tiene un alto grado de incertidumbre respecto a las verdaderas preferencias del grupo.

En cambio, los Procesos DRV se mueven sobre el supuesto de que es posible reducir de manera significativa la dispersión presente en la información. De hecho, el método asume que cuando los integrantes del grupo comparten intereses y valores, aún cuando inicien con posturas diferentes, el análisis del problema contribuye a que sus preferencias y juicios converjan hacia un modelo común.

Las experiencias realizadas en el marco del presente trabajo avalan este supuesto. En efecto, si se acepta que el indicador IVR puede utilizarse para verificar si la evolución del proceso es adecuada, los resultados son muy alentadores. Como se evidencia en el Capítulo 9 del presente documento, es posible reducir desde un ochenta o noventa por ciento de variación, hasta un quince o veinte por ciento en condiciones de estabilidad.

Esto es, la imprecisión y la incertidumbre no son inmutables. Muy por el contrario, un adecuado trabajo de análisis permite reducirlas hasta que alcancen niveles aceptables y hasta poder considerar controlado el proceso de análisis. Pero además, es preciso destacar que con el enfoque DRV, la agregación solo es factible cuando se verifica una sustancial reducción de variabilidad. Es decir que el método no sólo permite arribar a una decisión u ordenamiento adecuado, sino que también contribuye a fortalecer la cohesión interna del grupo e incrementar la posibilidad de que la misma sea sostenida por sus integrantes en las aplicaciones posteriores.

Ahora bien, una vez estabilizados los sub procesos, la metodología DRV ofrece dos modalidades de agregación: ponderación lineal y combinación con TODIM. La primera ofrece la ventaja de ser una respuesta natural y por ello mismo, de fácil comprensión para los integrantes, cuando se aplica la Teoría de las Utilidades Multiatributo Aditivas (MAUT).

El tema en este caso fue la elevada dificultad planteada por la necesidad de encontrar un modelo aleatorio multivariado que permita representar las valoraciones globales y que a la vez, se desprenda de modo natural de la fase de estabilización. Pero la solución se encontró y gracias a ello, los usuarios de los Procesos DRV pueden aprovechar esta atractiva posibilidad.

La otra modalidad de agregación ofrecida es la incorporada mediante la adaptación de las fórmulas del método TODIM. La ventaja de esta segunda posibilidad es que permite modelar la actitud que los participantes tienen ante el riesgo, para lo cual incorpora los supuestos de la Teoría de las Perspectivas (Prospect

Theory), que le permitió a Kahneman y Tversky ganar el Premio Nobel de Economía. Claro que también, el desafío en este caso fue obtener las valoraciones globales, sin perder una propiedad fundamental de las mismas, las distribuciones marginales deben ser normales.

La fase de ordenamiento también tiene algunas aristas destacables, dado que al comparar alternativas permite distinguir entre situaciones de preferencia estricta y de indiferencia, sin agotar a los integrantes del grupo con solicitudes de parámetros adicionales. Por supuesto, también este tramo del problema requirió de un notable esfuerzo hasta encontrar una solución apropiada.

Adicionalmente, este documento analiza la posibilidad de uso conjunto con las herramientas de la Investigación Operativa Blanda, posibilidad que actualmente, ostenta un fuerte nivel de desarrollo en los estudios orientados a la toma de decisiones en grupo. En particular, el uso combinado de los DRV con este tipo de herramientas, permite formular un interesante enfoque multimetodológico.

Por otro lado, conviene destacar que la Tesis estudia el modo de utilizar los DRV para facilitar y potenciar el desarrollo de sistemas de gestión, entendiendo por tales a conjuntos de elementos que se utilizan de manera vinculada para resolver problemas de la ingeniería. En particular, este documento incorpora aplicaciones a Sistemas de Gestión de Mantenimiento Preventivo, Sistemas de Gestión de Calidad y Sistemas de Gestión de Persona.

Es decir, en suma, que la presente Tesis propone un método de soporte de las actividades de toma de decisiones grupales que responde de manera plena a los requisitos y objetivos planteados en el Proyecto original. Pero además, la dinámica planteada permite resolver de manera efectiva, algunos problemas clásicos de la DMD aplicada a grupos. Esto es, puede trabajar sin problemas con datos faltantes, permite reducir tanto la imprecisión como la incertidumbre y permite representar la disposición de los decisores frente al riesgo.

Limitaciones del método

La propuesta requiere que los participantes dediquen tiempo a la realización del análisis del problema de toma de decisiones. El tiempo invertido, aún cuando es menor o a lo sumo equivalente al de otras aproximaciones, puede restarle posibilidades de

aplicación. De hecho, en su actual nivel de desarrollo exige presencialidad. De todos modos, parece posible su empleo en reuniones virtuales, si se utilizan las nuevas tecnologías de información.

Por otro lado, el método es aplicable a situaciones donde el grupo participante se encuentra constituido como tal, es decir que tiene objetivos y valores compartidos. Uno de los supuestos de partida es la existencia de tal grupo. Sin embargo, el autor no encuentra motivos evidentes para pensar que el método no puede ser útil cuando coexisten dos o más intereses en juego. Más aún, cabe suponer que en ese caso los DRV pueden agregar información sobre el origen de las diferencias.

Una limitación importante es la dificultad para valorar los impactos obtenidos en las organizaciones, a partir de la aplicación de esta aproximación. Es decir, resulta complicado medir los cambios generados y las mejoras introducidas en los sistemas, que pueden ser consideradas como productos genuinos de los Procesos DRV.

Si se revisan los casos estudiados en la presente Tesis, es posible identificar evidencias que pueden considerarse una valoración indirecta del método. Por ejemplo, la Biblioteca triplicó su número de socios y la planta productora de medicamentos pudo implementar su sistema de mantenimiento preventivo, después de dos intentos frustrados. Pero esas evidencias pueden tener otros orígenes y no hay modo de vincularlas indubitablemente con la metodología DRV.

Una consecuencia negativa de esta cuestión es que se reducen las posibilidades de aplicación de la metodología. En efecto, si fuera posible cuantificar los efectos, entonces las organizaciones tendrían la posibilidad de percibir la importancia de aplicar estas herramientas. En cambio, la falta de mediciones directas hace que los directivos deban decidir confiados en elementos subjetivos.

Sin embargo, cabe resaltar que esta no es una debilidad exclusiva de la metodología propuesta, sino que caracteriza a una gran variedad de aproximaciones. De hecho, a lo largo de la presente Tesis se realizan diversas citas a trabajos que reconocen la preocupación de la comunidad científica ante esta dificultad.

Insumos necesarios para la aplicación de Procesos DRV.

En cuanto a los requerimientos informáticos, el método propuesto tiene exigencias de cálculo que pueden calificarse como reducidas o razonables. Por ese motivo, es posible implementarlo con recursos que en general se encuentran disponibles en

organizaciones de variado nivel, aún en las pequeñas. Al respecto, debe tenerse en cuenta que en las aplicaciones realizadas en el marco de esta Tesis se trabajó con una Hoja de Cálculo y un software Estadístico de libre acceso en Internet.

Un requisito adicional es que el facilitador del proceso de toma de decisiones debe poseer conocimientos básicos de estadística, al menos a nivel descriptivo. De hecho, debe estar en condiciones de explicar algunos resultados a los integrantes cuando estos lo requieran.

Respecto al espacio físico, los Procesos DRV pueden realizarse en cualquier sala que tenga dimensiones compatibles con la cantidad de participantes. Es importante disponer de algunas comodidades adicionales como sillas con apoyo y transportables, que se adapten tanto al trabajo individual como a la actividad en plenario.

Percepción de los participantes en las aplicaciones DRV.

Es conveniente recordar asimismo que, entre los objetivos planteados inicialmente se encontraba la intención de que el método resultara estimulante para las personas que participan en el proceso. En ese aspecto, las experiencias realizadas han resultado satisfactorias, dado que los grupos intervinientes recibieron y comprendieron bien las consignas, realizaron las actividades propuestas con buen nivel de motivación y evidenciaron satisfacción con las decisiones tomadas.

Entre las respuestas positivas de los miembros de los grupos, conviene rescatar algunos comentarios elogiosos sobre la satisfacción que produce esta práctica y sobre los resultados que se obtienen con la misma. Por otra parte, en esas experiencias se evidenciaron también situaciones de no acuerdo e incluso rivalidades iniciales entre los participantes, sin embargo esas condiciones adversas se diluyeron con el avance del proceso.

En cuanto a la formación previa para participar, tampoco es posible plantear a priori grandes requisitos. En este particular, es destacable que en las aplicaciones del método, en un mismo ejercicio, han participado desde personas con sólo estudios de nivel primario hasta otras con doctorado. Sin embargo, corresponde aclarar que no se efectuaron seguimientos posteriores a nivel individual, a fin de identificar posibles impactos ulteriores, tanto positivos como negativos.

Sub productos de este trabajo.

Dentro de la producción generada, hay algunos aspectos que si bien parecen secundarios, son valorados por el autor porque evidencian un fuerte cambio en su nivel académico. Sin la ambición de hacer un ordenamiento de estos aspectos, conviene resaltar los siguientes:

- Compromiso y formación de otras personas: el Proyecto ha sido lo suficientemente interesante para que otros profesores, adscriptos y alumnos, se sumaran en la misma línea o en cuestiones que van en paralelo. Esto parece un mérito destacable, al considerar que si bien la investigación se encuentra consagrada como parte de la actividad docente en los Estatutos de la UNC, no todos sus integrantes tienen formación adecuada para la tarea científica.
- Creación del Laboratorio de Ingeniería y Mantenimiento Industrial (LIMI): la entidad fue planteada por el autor, como consecuencia directa de su crecimiento académico y se orienta a favorecer la adopción de sistemas de gestión apropiados, fundamentados en el aporte grupal. Ha tenido un buen nivel de desarrollo en estos años, al punto que hoy cuenta con cinco profesores con dedicación exclusiva y diez con dedicaciones parciales, atiende a la formación de grado mediante el apoyo a las asignaturas vinculadas, a la realización de PPS por los alumnos y a la ejecución de trabajos finales. Además el LIMI tiene convenios con diversas entidades del medio y participa activamente en algunas políticas de la gestión universitaria (seguridad, mantenimiento de activos, calidad).
- Diseño de una carrera de Posgrado: la Especialización en Productividad Organizacional es resultado directo de este Proyecto, en tanto consagra la conveniencia de trabajar en grupo como recurso clave para mejorar los niveles de producción en bienes o servicios y eliminar retrabajos, rechazos o tiempos improductivos.

Posibles progresos a realizar luego de esta tesis.

Los caminos que se abren a partir de esta aproximación son diversos y a juicio del autor plantean cuestiones que ameritan nuevas investigaciones. Uno obvio, es analizar el modo de flexibilizar la propuesta, de modo que sea aplicable en una gran variedad de situaciones. Esto requiere, además del natural esfuerzo de difusión, la apertura de

canales que permitan combinar las aplicaciones DRV con prácticas habituales en las organizaciones, aún cuando no sea evidente su relación con la ingeniería. Se citan a continuación algunos ejemplos:

- Sistemas de gestión aplicables en Ingeniería: se emplean habitualmente para mejorar por ejemplo, la administración de proyectos, el control de condiciones de seguridad, o la recolección, tratamiento y disposición de residuos. La implementación de estos sistemas suele ser dificultosa debido al elevado nivel de ruido (incertidumbre, imprecisión, carencia de datos), que puede afectar este tipo de iniciativas. En ese aspecto, los DRV pueden proveer de efectiva ayuda para construir una visión compartida y para generar compromiso con el sistema adoptado.
- Acciones correctivas y preventivas en las organizaciones: las mismas se deciden en grupo. Los DRV pueden contribuir a que aumente la participación y la profundidad del análisis. Además es posible alinear las decisiones con las políticas de la organización.
- Construcción de indicadores compuestos: los indicadores de este tipo son requeridos en diversas entidades. Los DRV pueden ser usados para incrementar la representatividad de los mismos y su potencia para detectar variaciones significativas. La aplicación en la Biblioteca, presentada en este documento, abre las perspectivas de análisis.
- Método Delphi: es un recurso de prospección utilizado y valorado en estudios de naturaleza ingenieril o económica. La fase de estabilización de los DRV puede potenciar la actividad de análisis de los expertos, con un beneficio neto sobre los resultados a obtener y una ganancia en eficiencia.

Por otro lado, puede ser conveniente ampliar las posibilidades de los Procesos DRV con nuevos recursos para cada una de sus tres fases: estabilización, agregación y ordenamiento. En la primera, seguramente pueden introducirse otras formas de verificar la estabilidad y la cohesión. Además parece posible incorporar nuevas modalidades de representación de las preferencias, más allá de la MAUT.

En cuanto a las fases de agregación y ordenamiento, es conveniente analizar el modo de abrir otras opciones que agreguen robustez al enfoque. En ese aspecto, una posibilidad que resulta tentadora es apoyar esas fases en los métodos de relaciones de

superación (Promethee, Electre), lo cual puede ofrecer la posibilidad de superar los conocidos inconvenientes de la ponderación lineal. En la tercera fase: ordenamiento, existe la posibilidad de ampliar las opciones, incluso con recursos que ya se experimentaron como el de la simulación.

Un desafío que resulta clave, en opinión del autor, es continuar la exploración de las posibles combinaciones de los DRV, con las aproximaciones enmarcadas en la denominada Investigación Operativa Soft. Por supuesto, parece natural enrolar esas exploraciones en el concepto de Multi metodología, que hoy por hoy, adquiere una posición dominante en el ámbito de la IO.

Por otro lado, es conveniente mejorar las herramientas de software que soportan las aplicaciones del método. Una posibilidad adicional es analizar el modo de incorporar la aproximación Procesos DRV, como parte de un recurso GDSS. Claro que en este caso, conviene plantear un enfoque multi-metodológico.

Otra veta pendiente, es la necesidad de plantear modalidades de valoración de los efectos que se obtienen al aplicar el método. Actualmente se trabaja esa posibilidad, con un enfoque de investigación cualitativa.

Por último, resulta atractiva la posibilidad de extender la utilidad de los DRV a problemas de negociación o de conflicto. Debe recordarse que el formato actual del método propuesto se orienta a verificar si el grupo alcanza niveles mínimos de consenso. Con esa lógica, los DRV pueden facilitar la búsqueda de acuerdos al identificar las cuestiones sobre las que hay compatibilidad y los asuntos sobre los que subsisten diferencias.

Sugerencias para investigadores que desean continuar esta línea.

Es importante que cualquier nuevo desarrollo de la metodología DRV tenga en cuenta los supuestos básicos que fueron planteados en su origen. Entre dichos supuestos, el más importante es a juicio del autor, el hecho de que adoptar una decisión de cualquier modo, aún cuando subsistan diferencias importantes de preferencias en el seno del grupo, puede no ser una buena idea.

Muy por el contrario, el crecimiento en el nivel de conocimiento compartido suele ser más productivo para los integrantes y para la propia organización, que la decisión en sí misma. Aquí está implícito el supuesto de que el modo en que las personas actúan en la actividad cotidiana, el accionar que evidencian en su tarea habitual, se

vincula inevitablemente con las prioridades establecidas durante el trabajo conjunto de decisión.

Dicho de otro modo, los Procesos DRV tienen una fuerte base psicológica y sociológica, que no debe ser descuidada en futuros desarrollos. De hecho, la metodología tiene una buena capacidad potencial para favorecer la realización de capacitaciones y campañas de motivación en las organizaciones.

13. Bibliografía

- Ackermann, F. & Vreede, G. (2010). Special Issue on ‘Advances in Designing Group Decision and Negotiation Processes. *Group Decision and Negotiation*.
Extraído en Enero 2011 de:
<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10726-010-9209-3>
- Agus, A. & Hassan, Z. (2011). Enhancing production performance and customer performance through total quality management (TQM): strategies for competitive advantage. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, N° 24, pp. 1650-1662.
- Alberto, C. y Carignano, C. (2013). *Apoyo cuantitativo a las decisiones. Cuarta edición*. Cooperadora Facultad de Ciencias Económicas, UNC, Argentina.
- Alencar, L. Almeida, A. & Costa Morais, D. (2010). A multicriteria group decision model aggregating the preferences of decision-makers based on ELECTRE methods. *Pesquisa Operacional*, 30, 3, pp. 687-702.
- Alencar, L. & Almeida, A. (2010). A model for selecting project team members using multicriteria group decision maker. *Pesquisa Operacional*, Vol. 30, pp. 221-236.
- Alexander, P. van Loggerenberg, J. Lotriet, H. & Phahlamohlaka, J. (2010) The Use of the Repertory Grid for Collaboration and Reflection in a Research Context. *Group Decision and Negotiation*, N°5, pp. 479-504.
- Alles, M. (2002). *Desempeño por competencias: evaluación de 360°*. Ediciones Granica SA.
- Almeida, A. (2007). Multicriteria decision model for outsourcing contracts selection based on utility function and ELECTRE method. *Computers & Operations Research*, 34, pp. 3569 – 3574.
- Almeida A., Costa Morais d., Cabral Seixas Costa A., Alencar l, Daher S. (2012) “Decisión en Grupo y Negociación. Métodos y aplicaciones”. Editorial Atlas, 227 pgs., Sao Paulo, 2012

- Altuzarra, A. Moreno-Jimenez, J. & Salvador, M. (2007). A Bayesian prioritization procedure for AHP-group decision making. *European Journal of Operational Research*, 182, 367-382.
- Angelis, J. Conti, R. Cooper, G. & Gill, C. (2011). Building a high-commitment lean culture. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22, 5
- Aragonés-Beltrán, P. Chaparro-González, F. Pastor-Ferrando, J. P. & Rodríguez-Pozo, F. (2010). An ANP-based approach for the selection of photovoltaic solar power plant investment projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 249-264.
- Arriola Navarrete, O. (2006). *Evaluación de bibliotecas. Un modelo desde la óptica de los sistemas de gestión de calidad*. Colegio Nacional de Bibliotecarios, México. Serie: Biblioteca Alfagrama p 1-128.
- Behzadian, M. Kazemzadeh, R. Albadvi, A. & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, Vol. 200, 1, pp. 198–215
- Bellman, R. & Zadeh, L. (1970). Decision-Making in a Fuzzy Environment. *Management Science*. 17, pp. B-141-B-164.
- Benjamini, Y. & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to a multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society, Serie B (Methodological)*, 57(1), 289-300.
- Benjamini, Y. & Yekutieli, D. (2001). The control of the false discovery rate in multiple testing under dependency. *The Annals of Statistics*, 29(4), 1165-1188.
- Beynon, M. (2002). DS/AHP method: a mathematical analysis, including an understanding of uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 140(1), 148-164.
- Beynon, M. Curry, B. & Morgan, P. (2000). The Dempster-Shafer theory of evidence: an alternative approach to multicriteria decision modelling. *Omega*, 28, 37-50.
- Bhasin, S. y Burcher, P. (2006). Lean viewed as a philosophy. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17 (1), pp. 56-72.
- Billot, A. (2011). Are Choice Rationality and Social Consistency Two Sides of a Same Coin? *Group Decision and Negotiation*. Extraído en Enero 2011 de: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10726-009-9174-x#page-1>
- Bourdieu, P. (1996). *Cosas Dichas*. Gedisa. Barcelona.

- Bourdieu, P. (1998). *Capital cultural, escuela y espacio social*. Siglo XXI editores, México. p 1-202.
- Brent, A. Rogers, D. Ramabitsa-Siimane, T. y Rohwer, M. (2007). Application of the analytical hierarchy process to establish health care waste management systems that minimise infection risks in developing countries. *European Journal of Operational Research*, 181, pp. 403-424.
- Bustos-González, A. (2007). Bibliotecas universitarias: ¿sabemos medir sus resultados e impactos?. *El Profesional de la Información*, vol. 16, 4, pp. 281-286.
- Cabrera, G. y Zanazzi, J. (2013). Una aproximación multimetodológica al problema de selección de equipos de trabajo. *Revista EPIO*, 35. Artículo sin publicar.
- Cachela, A. Bestani, R. y Zanazzi, J. (2005). La gestión de calidad en las bibliotecas universitarias. *Anales del IV Encuentro de Universidades Nacionales*. Salta, Argentina, pp 1-16.
- Cembranos F y Medina, J (2011) Grupos inteligentes. Teoría y práctica del trabajo en equipo. Editorial Popular, Madrid.
- Chang, C. Wu, C. Lin, H. (2009). Applying fuzzy hierarchy multiple attributes to construct an expert decision making process. *Expert Systems with Applications*, 36, pp. 7363-7368.
- Checkland, P. (2000). Soft Systems Methodology: A Thirty Year Retrospective. *Systems Research and Behavioral Science*, 17, pp S11–S58
- Chen, Y. Lien, H. & Tzeng, G. (2010). Measures and evaluation for environment watershed plans using a novel hybrid MCDM model. *Expert systems with applications*, 37(2), 926-938.
- Chou, S. Chang, Y. & Shen, C. (2008). A fuzzy simple additive weighting system under group decision-making for facility location selection with objective/subjective attributes. *European Journal of Operational Research*, 189, 132-145.
- Chowdary, B. & George, D. (2012). Improvement of manufacturing operations at a pharmaceutical company: a lean manufacturing approach. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 23 (1), pp 56-75.
- Cruz, A., Correia, A., Paredes, H., Fonseca, B., Morgado, L., & Martins, P. (2012). Towards an overarching classification model of CSCW and groupware: a

- socio-technical perspective. In *Collaboration and Technology* (pp. 41-56). Springer Berlin Heidelberg.
- del Mar Alonso-Almeida, M. & Fuentes-Frías, V. (2012). International quality awards and excellence quality models around the world. A multidimensional analysis. *Quality & Quantity*, 46(2), 599-626.
- Deming, W. (1986). *Out of the crisis*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology. Center for Advanced Engineering Study.
- Deming, W. (2000). *The new economics: for industry, government, education*. MIT Press, p 1- 247.
- Deming, W. (2013). *The Essential Deming: Leadership Principles from the Father of Quality*. Orsini, J. & Cahill, D. (Eds). McGraw-Hill.
- Dempster, A. (2008). The Dempster–Shafer calculus for statisticians. *International Journal of Approximate Reasoning*, [Vol. 48 \(2\)](#), pp. 365–377.
- Dias, L. & Clímaco, J. (2000a). Additive aggregation with variable interdependent parameters: The VIP analysis software. *Journal of the Operational Research Society*, 51, pp. 1070-1082.
- Dias, L. & Clímaco, J. (2000b). ELECTRE TRI for groups with imprecise information on parameter values. *Group Decision and Negotiation*, 9, pp. 355-377.
- Dias, L. & Clímaco, J. (2005). Dealing with imprecise information in group multicriteria decisions: a methodology and a GDSS architecture. *European Journal of Operational Research*, 160, pp. 291-307.
- Eden, C. (2004). Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems. *European Journal of Operational Research*, 159, pp. 673–686.
- Elster, J. (1990). *Elección racional, preferencias y creencias. Tuercas y tornillos*. Barcelona, Gedisa.
- Escobar, M. & Moreno-Jiménez, J. (2007). Aggregation of Individual Preference Structures. *Group Decision and Negotiation*, 16(4), pp. 287-301.
- Feingenbaum, A.V. (1963). *Control Total de la Calidad*. CECOSA, México, pp. 1-730.
- Forman E. & Peniwati, K. (1998). Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, Vol. 108 (1), pp. 165-169.

- Franco, L. & Lord, E. (2011). Understanding multi-methodology: Evaluating the perceived impact of mixing methods for group budgetary decisions. *Omega*, 39, pp. 362–372.
- Franco, L. & Montibeller, G. (2010). Facilitated modelling in operational research. *European Journal of Operational Research*, 205, pp. 489–500.
- Franco, L. & Montibeller, G. (2011). “On-The-Spot” Modeling And Analysis: The Facilitated Modeling Approach. *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. Extraído en Enero del 2011 de:
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470400531.eorms0975/abstract;jsessionid=D1F6C803514F1422F7FDB675C092EE4E.f01t01>
- Franco, L. A. (2013). Rethinking soft OR interventions: models as boundary objects. *European Journal of Operational Research*, 231(3), 720-733.
- Fu, C. & Yang, S. (2012). An evidential reasoning based consensus model for multiple attribute group decision analysis problems with interval-valued group consensus requirements. *European Journal of Operational Research*, 223(1), pp. 167-176.
- García-Morales Huidobro, E. (1995). Aportaciones de la gestión de calidad a Bibliotecas y Servicios de Documentación. *Revista española de documentación científica*, Vol. 18, Nº 1, pp. 9-18.
- Garvin, D. Edmonson, A. & Gino, G. (2008). Is yours a learning organization? *Harvard Business School*, 83, pp 109.
- Georgiou, I. (2006). Managerial Effectiveness from a System Theoretical Point of View. *Systemic Practice and Action Research*, 19, pp. 441–459.
- Georgiou, I. (2006). Managerial effectiveness from a system theoretical point of view. *Systemic Practice and Action Research*, 19(5), pp. 441-459.
- Georgiou, I. (2008). Making decisions in the absence of clear facts. *European Journal of Operational Research*, 185, pp. 299–321.
- Georgiou, I. (2012). Messing about in transformations: Structured Systemic Planning for Systemic Solutions to Systemic Problems. *European Journal of Operational Research*, 223, pp. 392-406.
- Gibson, J. Ivancevich, J. & Donnelly, J. (2001). *Organizations: Behavior, Structure, Processes*. Mc Graw Hill, pp. 1-512.

- Gimeno Perelló, J. (2009). *Evaluación de la Calidad en Bibliotecas*. Alfagrama Ediciones, Buenos Aires, pp. 1-462.
- Gomes, L. Araya, M. y Carignano, C. (2004). *Tomada de decisão em cenários complexos*. Pioneira Thomson Learning, São Paulo.
- Gomes, L. Rangel, L. & Maranhão, F. (2009). Multicriteria analysis of natural gas destination in Brazil: An application of the TODIM method. *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 50, pp. 92-100.
- Gomes, L. y Rangel, L. (2009). An application of the TODIM method to the multicriteria rental evaluation of residential properties. *European Journal of Operational Research*, 193, pp. 204-211.
- Gomes, L. y Zanazzi, J. (2013). Análisis multicriterio com multiples decisores: aplicación combinada de los métodos TODIM y procesos DRV. *Revista de Administração do Gestor*, Vol. 2, pp. 105-136.
- Gomes, L. y Zanazzi, J.L. (2010). *Multicriteria Analysis with Multiple Decision Makers: Combining DRV and TODIM*. ALIO-INFORMS, Buenos Aires.
- Gomes, L. F. A. M., Gomes, C. F. S., & de Almeida, A. T. (2009). *Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério*. Atlas.
- Gonzalez-Araya, M. Rangel, L. Estellita Lins, M. & Gomes, L. (2002) Building the additive Utility Functions for CAD_UFRJ Evaluation Staff Criteria. *Annals of operations research*, 116, pp. 271-288.
- Greco, S. Kadzin, M. Mousseau, V. & Słowiński, R. (2011). ELECTREGKMS: Robust ordinal regression for outranking methods. *European Journal of Operational Research*, 214, pp. 118–135.
- Grudin, J. (1988). Why CSCW applications fail: problems in the design and evaluation of organizational interfaces. In Proceedings of the 1988 ACM conference on Computer-supported cooperative work (pp. 85-93). ACM.
- Gryna, F. Chua, R. y Defeo, J. (2007). *Método Juran. Análisis y planeación de la calidad*. Mc Graw Hill, México, pp. 1-770.
- Gutiérrez Pulido, H. y de la Vara Salazar, R. (2004). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. McGraw Hill, México, pp. 1- 636.
- Herrera, F. Herrera-Viedma, E. & Chiclana, F. (2001). Multiperson decision-making based on multiplicative preference relations. *European Journal of Operational Research*, 129(2), pp. 372-385.

- Hindle, G. & Franco, L. (2009). Combining problem structuring methods to conduct applied research: a mixed methods approach to studying fitness-to-drive in the UK. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 60, pp. 1637-1648.
- Hosseiniyan, S. Navidi, H. & Hajfathaliha, A. (2011). A New Linear Programming Method for Weights Generation and Group Decision Making in the Analytic Hierarchy Process. *Group Decision and Negotiation*. Extraído en Enero de 2011 de:
<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10726-009-9182-x>
- Huang, Y. & Li, W. (2011). A Study on Aggregation of TOPSIS Ideal Solutions for Group Decision-Making. *Group Decision and Negotiation*. Extraído en Enero del 2011 de:
<http://link.springer.com/article/10.1007/s10726-010-9218-2#page-1>
- Iyer, A. Saranga, H. & Seshadri, S. (2013). Effect of quality management systems and total quality management on productivity before and after: Empirical evidence from the Indian auto component industry. *Production and Operations Management*, 22(2), pp. 283-301.
- Jharkharia, S. & Shankar, R. (2007). Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach. *Omega*, 35(3), pp. 274-289.
- Johnson, R. & Lipp, A. (2007). Cognitive Mapping: A Process to Support Strategic Planning in an Academic Department. *Group Decision and Negotiation*, 16, pp. 43-60.
- Juran, J. M. (1962). *Quality control handbook*. McGraw-Hill, New York.
- Juran, J. y Gryna, F. (1995) *Análisis y Planeación de la Calidad. 3a ed.* McGraw-Hill. Madrid, España, pp. 1-633.
- Kahneman D. & Tversky A. (1979) Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47 (2), pp. 263-291.
- Kaner, S., Lind, L., Toldi, C., Fisk, S., Berger, D. (2007). *Facilitator's guide to participatory decision-making*. Jossey-Bass (2nd ed.). San Francisco.
- Kaplan, R. y Norton, D. (2011). Poniendo el Balanced Scorecard en acción. *Harvard Business Review America Latina*, 89(11), pp. 52-55.
- Karamouz, M. Zahraie, B. Kerachian, R. Jaafarzadeh, N. & Mahjouri N. (2007). Developing a master plan for hospital solid waste management: A case study. *Waste Management*, 27, pp. 626-638.

- Keeney, R. & Raiffa, H. (1993). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Wiley, New York.
- Keeney, R. (1992). *Value focused thinking. A path to creative decision making*. Harvard College, USA.
- Kelemenis, A. Eergazakis, K. & Askounis, D. (2011). Support managers' selection using an extension of Fuzzy topics. *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, pp. 2774-2782.
- Kelly, G. (1955). *The psychology of personal constructs*. Vol. 1: *a theory of personality*. Vol. 2: *clinical diagnosis and psychotherapy*. New York. Norton.
- Kelly, T. (2013). Fourteen More Points: Successful Applications of Deming's System Theory. *American Journal of Management*. Vol. 13(2), p. 37.
- Kersten, G. (1997). *Support for Group Decision and Negotiations. An Overview*. In: *Multicriteria Analysis*. J. Clímaco (Ed.). Heilderberg, Springer Verlag, pp. 332-346.
- Krantz, D. y Kunreuther, H. (2007). Goals and plans in decision making. *Judgement and Decision Making* 2(3), pp. 137-168.
- Krieger, M. (2001). Sociología de las organizaciones. Una introducción al comportamiento organizacional. México. Editorial Prentice Hall, 293-384.
- Kotiadis, K. & Mingers, J. (2006). Combing PSM with hard methods: the philosophical and practical challenges. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 7, pp. 856-867.
- Lahdelma, R. & Salminen, P. (2001). SMAA-2: Stochastic multicriteria acceptability analysis for group decision making. *Operations Research*, 49(3), pp. 444-454.
- Lahdelma, R. & Salminen, P. (2009). Prospect theory and stochastic multicriteria acceptability analysis (SMAA). *Omega*, 37(5), pp. 961-971.
- Lahdelma, R. Hokkanen, J. & Salminen, P. (1998). SMAA – Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis. *European Journal of Operational Research*, 106, pp. 137-143.
- Lahdelma, R. Miettinen, K. & Salminen, P. (2003). Ordinal criteria in Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis (SMAA). *European Journal of Operational Research*, 147, pp. 117-127.

- Lemke, F. Clark, M. & Wilson, H. (2010). Customer experience quality: an exploration in business and customer contexts using repertory grid technique. *Journal of the Academy of Marketing Science*. Extraído en 2011 de: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11747-010-0219-0>
- Lepeley, M. (2003). *Gestión y calidad en educación: un modelo de evaluación*. McGraw-Hill/Interamericana, México, pp. 1-118.
- Li, D. (2005). Multiattribute decision making models and methods using intuitionistic fuzzy sets. *Journal of Computer and System Sciences*, 70, pp. 73-85
- Lin, H. Lee, H. & Wang, D. (2009). Evaluation of factors influencing knowledge sharing based on a fuzzy AHP approach. *Journal of Information Science*, Vol. 35, pp. 25-44.
- Lin, L. Huang, L. & Yeh, H. (2011). Fuzzy Group Decision-Making for Service Innovations in Quality Function Deployment. *Group Decision and Negotiation*. Extraído en Enero 2011 de: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10726-010-9223-5#page-1>
- Lin, M. Wang, Ch. Chen, M. y Chang, C. (2008). Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process. *Computers in Industry*, 59, pp. 17-31
- Lolli, F., Ishizaka, A., Gamberini, R., Rimini, B., & Messori, M. (2015). FlowSort-GDSS—A novel group multi-criteria decision support system for sorting problems with application to FMEA. *Expert Systems with Applications*, 42(17), 6342-6349.
- Merigó, J. Gil-Lafuente, A. Zhou, L. & Chen, H. (2011). Induced and Linguistic Generalized Aggregation Operators and Their Application in Linguistic Group Decision Making. *Group Decision and Negotiation*, Vol. 21, pp. 531-549.
- Mikhailov, L. (2003). Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgements. *Fuzzy Sets and Systems*, 14, pp. 365-385.
- Mingers, J. y Rosenhead, J. (2004). *Análisis racional reestudiado para un mundo problemático: métodos para estructurar problemas en condiciones de complejidad, incertidumbre y conflicto*. Instituto Venezolano de Planificación, España.

- Mingers, J. Liu, W. & Meng, W. (2009). Using SSM to structure the identification of inputs and outputs in DEA. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 60, pp.168-179.
- Mingers, J. (2011). Soft OR comes of age – but not everywhere!. *Omega*, doi: 10.1016/j.omega. 2011.01.005
- Morais, D. C. & De Almeida, A. T. (2010). Integrated Model of Problem Structuring and Multicriteria Group Decision Making for Social Sustainable Development. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 6(2), pp. 27-49.
- Moreno Jiménez, D. y Calva González, J. (2005). *Interpretación de la norma ISO 9001;2000 para obtener el certificado de calidad en bibliotecas*. Colegio Nacional de Bibliotecarios, México.
- Moreno-Jimenez, J. Aguaron, J. y Escobar, M. (2008). The core of consistency in AHP-Group Decision Making. *Group Decision and Negotiation*, 17, pp. 249-265.
- Munda, G. (2003). Social multi-criteria evaluation: Methodological foundations and operational consequences. *European Journal of Operational Research*, 158, pp. 662-677.
- Navidi, W. (2006). *Estadística para Ingenieros y Científicos*, Mc Graw Hill.
- Nobre, F. Trotta, L. & Gomes, L. (1999). Multi-Criteria Decision Making - An Approach to Setting Priorities in Health Care. *Statistics in Medicine*, E.U.A. Vol. 18, pp. 3345-3354.
- Onut, S. & Sone, S. (2008). Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment. *Waste management*, 28, pp. 1552-1559.
- Padilla Carmona, M. T. (2010). *La rejilla de constructos personales: un instrumento para el diagnóstico y la orientación*.
- Pearson, E. D'Agostino, R. & Bowman, K. (1977). Tests for departure from normality: comparison of powers. *Biometrika*, Vol. 64, pp. 231- 246.
- Pérez, J. Jimeno, J. García, E. (2011). No Show Paradox in Condorcet k -voting Procedures. *Group Decision and Negotiation*. Extraído en Enero del 2011 de: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10726-010-9191-9#page-1>
- Pichòn-Riviere, E. (1975). *Técnica de los grupos operativos*. En *El proceso grupal*. Buenos Aires, Argentina.

- Pinto, M. Balagué, N. y Anglada, L. (2007). Evaluación y calidad en las bibliotecas universitarias: experiencias españolas entre 1994-2006. *Revista Española de Documentación Científica*, V 30, N 3, pp. 360-379.
- Polkowski, Z. (2014). Online GDSS with the AHP Method to Facilitate Decision Making. *Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management*, 72, 50-61.
- Poll, R. (2001). Performance, Process, and Costs: Managing Service Quality with the Balanced Scorecard. *Library trends*, 49(4), pp. 709-17.
- Pollack J. (2009). Multimethodology in series and parallel: strategic planning using Hard and Soft OR. *Journal of the Operational Research Society*. Vol. 60, pp. 156-167.
- Prawda, J. (1976). *Métodos y modelos de la Investigación de Operaciones*. LIMUSA, México.
- Quiroga, A. (1998). *Crisis, procesos sociales, sujeto y grupo. Desarrollos en Psicología Social a partir del pensamiento de Pichòn-Riviere*. Ediciones Cinco, Buenos Aires.
- Radnor, Z. (2010). Transferring Lean into government. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21 (3).
- Rangel, L. & Gomes, L. (2009). Emprego dos métodos Utilité Additive e Utilité Additive - CRiteria na avaliação de imóveis: um estudo de caso. *Gestao e Producao*, vol.16, Nº 2.
- Rangel, L. (2002). *Determinações de funções de utilidade através das preferências dos decisores sobre o conjunto de critérios empregando o Método UTA*. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Rangel, L.A.D. & Gomes, L.F.A.M. (2007) Determinação do Valor de Referência do Aluguel de Imóveis Residenciais Empregando o Método TODIM. *Pesquisa Operacional*, Vol. 27, Nº 2, pp. 357-372.
- Reid, M. M. (2011). Is the balanced scorecard right for academic libraries? *Bottom Line: Managing Library Finances*, The, 24(2), pp. 85-95.
- Rigopoulos G, Psarras J & Askounis D (2008):. Web support system for group collaborative decisions. *Journal of Applied Sciences*, 8, pp: 407-419.
- Robbins, S.P. & Coulter, M. (2000). *Administración*. McGraw-Hill, Méjico.

- Romão X, Delgado R & Costa A (2010). An empirical power comparison of univariate goodness-of-fit tests for normality. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, Vol. 80, No. 5, pg. 545–591.
- Rosenhead, J. (1996). What's the problem? An introduction to Problem Structuring Methods. *Interfaces*, 26, pp. 117-131.
- Rouwette, E, Bastings, I. Blokker, H. (2011). A Comparison of Group Model Building and Strategic Options Development and Analysis. *Group Decision and Negotiation*. Artículo extraído en enero de 2011 de:
<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10726-010-9207-5#page-1>
- Saaty, T. L. & Shang, J. S. (2007). Group decision-making: Head-count versus intensity of preference. *Socio-Economic Planning Sciences*, 41(1), pp. 22-37.
- Saaty, T. L. & Vargas, L. G. (2013). *Criteria for Evaluating Group Decision-Making Methods*. In *Decision Making with the Analytic Network Process*. Springer US, pp. 295-318.
- Saaty, T. L. (2004). Decision making—the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of systems science and systems engineering*, 13(1), pp. 1-35.
- Saaty, T. L. (2005). *The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making*. *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. Springer, New York, pp. 345-405.
- Saaty, T. L. (2005). *Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks*. RWS publications.
- Saaty, T. L. (2006). Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. *European Journal of Operational Research*, 168(2), pp. 557-570.
- Saaty, T. L. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas*, 102(2), pp. 251-318.
- Saaty, T. L. (2013). The Modern Science of Multicriteria Decision Making and Its Practical Applications: The AHP/ANP Approach. *Operations Research*, 61(5), pp. 1101-1118.

- Saaty, T. L., & Begicevic, N. (2012). The analytic hierarchy process applied to complexity. *International Journal of Economics and Business Research*, 4(3), pp. 266-283.
- Saaty, T. L., & Peniwati, K. (2013). *Group decision making: drawing out and reconciling differences*. RWS Publications.
- Saaty, T. L., & Sodenkamp, M. (2008). Making decisions in hierarchic and network systems. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 1(1), pp. 24-79.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2006). *Decision making with the analytic network process*. Springer Science & Business Media, LLC.
- Saaty, T.L. (1978). Exploring the interface between hierarchies. Multiple Objectives and Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), pp. 57-68.
- Saaty, T.L. (1996). *Decision Making for Leaders: the Analytic Hierarchy Process in a Complex World*. RWS Publications, Pittsburgh.
- Safarzadegan Gilan, S. Sebt, M. & Shahhosseini, V. (2012). Computing with words for hierarchical competency based selection of personnel in construction companies-2. *Applied Soft Computing*, Vol. 12, pp. 860-871.
- Schmidt, U. Starmer, C. & Sugden, R. (2008). Third-generation prospect theory. *Journal of Risk and Uncertainty*, 36, 3, pp. 203-223
- Schwartz, A. Goldberg, J. & Hazen, G. (2008). Prospect theory, reference points, and health decision. *Judgment and Decision Making*, 3 (2), pp. 174–180.
- Self, J. (2003). From values to metrics: implementation of the balanced scorecard at a university library. *Performance measurement and metrics*, 4(2), pp. 57-63.
- Senge, P. (2007). *La Quinta Disciplina. El arte y la práctica de la organización abierta al aprendizaje*. Granica, Buenos Aires.
- Senge, P. M. (1990). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. Currency Doubleday, NY.
- Shahhosseini, V. & Sebt, M. (2011). Competency-based selection and assignment of human resources to construction projects. *Scientia Iranica* Vol. 18, pp. 163-180.
- Shafer, G. (1976). *A Mathematical Theory of Evidence*. Princeton University Press.
- Siskos, Y. Grigoroudis, E. & Matsatsinis, N. (2005). UTA Methods. Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys. *International Series in Operations Research & Management Science*, Volume 78, pp. 297-334.

- Sorensen Vidal, R. (2003). The anatomy of soft approach. *Pesquisa Operacional*, 24 (2).
- Sorensen, L. y Valqui Vidal, R. (2003). The Anatomy of Soft Approaches. *Pesquisa Operacional*, 24, pp. 173-188.
- Spaseska, T. y Vitanova, G. (2012). Balanced scorecard as a strategic management instrument. *Strategic Management*, 17(1), pp. 13-18.
- Tervonen, T. (2007). *New directions in Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis*. Doctoral dissertation, Department of Information Technology, University of Turku, Finlandia.
- Thakkar, J. Deshmukh, S. Gupta, A. & Shankar, R. (2006). Development of a balanced scorecard: an integrated approach of interpretive structural modeling (ISM) and analytic network process (ANP). *International Journal of Productivity and Performance Management*, 56(1), pp. 25-59.
- Turban, E., Sharda, R., Delen, D., & Efraim, T. (2007). Decision support and business intelligence systems. Pearson Education India.
- Trovato, G. y Pacheco, L. (2013). Exploración de tendencias en estructuración de problemas multicriterio. *EPIO*, Vol. 34, pp. 91-108.
- Valqui Vidal, R. (2006). Operational Research: a multidisciplinary field. *Pesquisa Operacional*, 26, 1, pp. 69-90.
- Wang, T. & Chang, T. (2007). Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. *Expert Systems with Applications: An International Journal*, 33, pp. 870-880.
- Wang, Y. Parkan, C. (2008). Optimal aggregation of fuzzy preference relations with an application to broadband internet service selection. *European Journal of Operational Research*, 187, pp. 1476-1486.
- Wilson, M. Roy, R. (2009). Enabling lean procurement: a consolidation model for small- and medium-sized enterprises. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20, 6, pp. 817 – 833.
- Womack, J. Jones, D. & Roos, D. (1990). *The machine that changed the world*. Ed. Scribner. USA.
- Wu, Z., & Xu, J. (2012). A consistency and consensus based decision support model for group decision making with multiplicative preference relations. *Decision Support Systems*, 52(3), 757-767.

- Yang, C. Chuang, S. Huang, R. & Tai, C. (2008). *Location selection based on AHP/ANP approach. Industrial Engineering and Engineering Management. IEEM*, pp. 1148-1153.
- Ye, J. (2011). Multicriteria Group Decision-Making Method Using Vector Similarity Measures For Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Numbers. *Group Decision and Negotiation*. Artículo extraído en 2011 de:
<http://www.ajol.info/index.php/ijest/article/viewFile/67654/55758>
- Yeh, Ch. Chang, Y. (2009). Modeling subjective evaluation for fuzzy group multicriteria decision making. *European Journal of Operational Research*, 194, pp. 464-473.
- Yu, L. Wang, S. Lai, K. (2009). An intelligent-agent-based fuzzy group decision making model for financial multicriteria decision support: the case of credit scoring. *European Journal of Operational Research*, 195(3), pp. 942-959.
- Yüksel, İ. & Dağdeviren, M. (2010). Using the fuzzy analytic network process (ANP) for Balanced Scorecard (BSC): A case study for a manufacturing firm. *Expert Systems with Applications*, 37(2), pp. 1270-1278.
- Zanazzi, J. Carignano, C. y Boaglio, L. (2005). Discusiones sobre el método de toma de decisiones de Saaty. *Revista EPIO*, 23. Zanazzi, J. y Gomes, L. (2009). La búsqueda de acuerdos en equipos de trabajo: el método Decisión con Reducción de Variabilidad (DRV). *Pesquisa Operacional*, 29, pp. 195-221.
- Zanazzi, J. Carignano, C. Boaglio, L. Dimitroff, M. Conforte, J. (2006). Metodología para apoyar la toma de decisiones en equipo. *Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*, 27 pp. 61-74.
- Zanazzi, J. y Cámara, C. (2006). *Equipos de trabajo: métodos para organizar la tarea y mejorar los servicios*. Anales del Quinto encuentro de Universidades Nacionales. Mendoza.
- Zanazzi, J. Carignano, C. Boaglio, L. Dimitroff, M. y Conforte, J. (2006). Metodología para apoyar la toma de decisiones en equipo. *Revista EPIO*, N. 27, pp. 61-74.
- Zanazzi, J. Cámara, C. y Zanazzi J. F. (2007). *Planificación, seguimiento y enfoque de procesos en la mejora de la UNC*. Actas del VII Coloquio de Gestión Universitaria de América del Sur, Mar del Plata, pp. 1-16.

- Zanazzi, J. y Gomes, L. (2009). La búsqueda de acuerdos en equipos de trabajo: el método decisión con reducción de la variabilidad (DRV). *Pesquisa Operacional*, 29 (1), pp. 195-221.
- Zanazzi, J. Conforte, J. Dimitroff, M. Boaglio, L. Salamon, A. (2010). Procesos DRV: la Toma de Decisiones como entrenamiento para equipos de trabajo. *Revista Ingeniería Industrial*, ISSN 0717-9103. Vol. 9-1, pp. 53-66.
- Zanazzi, J. Pedrotti, B. Arias, F. Dimitroff, M. y Blázquez, M. (2010). Enfoque de procesos en la gestión de servicios: estrategias para lograr aplicaciones exitosas. *Revista Ciencia y Tecnología*, UNM, Año 12, N° 13.
- Zanazzi, J. Gomes, L. Boaglio, L. (2011). *Procesos DRV: nuevo método para la toma de decisiones en grupo*. XLIISBPO, RED-M, Ubatuba, Sao Paulo. Extraído de: <http://www.xliisbpo.iltc.br/autores-z.html>.
- Zanazzi, J. Salamon, A. Cabrera, G. Pedrotti, B. Cámara, C. (2011). *La Investigación Operativa Soft en la estructuración de problemas vinculados con la Orientación Vocacional*. Ponencia presentada en ENDIO 24. Río Cuarto. Argentina.
- Zanazzi, J. Dimitroff, M. Pontelli, D. y Pedrotti, B. (2013). Métodos para tomar decisiones en grupo: comparación entre Procesos DRV y SMAA. *Revista EPIO*, 34, pp. 45-61. Argentina.
- Zanazzi, J. Boaglio, L. Carignano, C. Conforte, J. y Zanazzi, J.F. (2013). Indicadores ponderados en una Biblioteca universitaria, construidos con un método de decisión grupal. *Journal of Chilean Institute of Operacional Research (JCIOR)*, 1, pp. 1-10.
- Zanazzi, J. Alberto, C. Carignano, C. (2013). *Aplicación de multi-metodologías para la gestión y evaluación de sistemas socio-técnicos*. Asociación Cooperadora de la Facultad de Ciencias Económicas, UNC. Extraído de: <http://hdl.handle.net/11086/481>
- Zanazzi, J. Autran Monteiro Gomes y L. Dimitroff, M. (2014). Group Decision Making applied to Preventive Maintenance System. *Pesquisa Operacional*, 34, 1, Brasil. ISSN, pp. 0101-7438.
- Zoroa, N. Zoroa, P. & Fernandez-Saez, M. (2009). Weighted search games. *European Journal of Operational*

Anexo 1. Análisis de los métodos de Saaty

Se dedica un Anexo al tratamiento de este método, en virtud de que el mismo fue propuesto de manera explícita en la formulación original del presente Proyecto de Investigación. Corresponde recordar que en la oportunidad se planteó por ejemplo, un objetivo como el siguiente: “*Analizar las características generales de los métodos de Decisión Multicriterio Discreta y en particular el denominado ‘Proceso Analítico de Jerarquías’ (AHP), a fin de posibilitar su adaptación para el trabajo en equipo.*”

De modo adicional, se comprometieron acciones específicas en ese sentido, en expresiones como la que se reproduce a continuación: “*Determinar las propiedades estadísticas de las respuestas individuales ante el estímulo del método AHP: sin dudas existirá una variabilidad en las opiniones, con propiedades diferentes según los elementos de decisión y será necesaria una caracterización estadística de la misma*”.

Es decir, la idea original fue trabajar con el método de Saaty y de hecho, en esa dirección se orientó inicialmente la tarea. Sin embargo, la revisión bibliográfica sobre el método condujo al análisis de las múltiples controversias que dicha aproximación ha desatado y de hecho, tanto el doctorando como algunos de los miembros de la Comisión Asesora, coincidieron con las posturas en contra. Esto condujo a la decisión de descartar el AHP y continuar el avance con una aplicación directa de la Teoría de la Utilidad Multiatributo Aditiva.

En el presente capítulo se reproducen algunas de las consideraciones oportunamente realizadas. Corresponde señalar que la tarea de análisis que aquí se presenta, se encuadró metodológicamente como aplicación del curso de Filosofía de la Ciencia, dictado por el Doctor Luis Godoy, durante el año 2003.

En ese trabajo se utiliza el enfoque planteado por Lakatos, para analizar el elevado nivel de conflicto generado por las propuestas de Saaty. La misma se encuentra disponible desde ese año, en Internet, referenciada del modo que se especifica a continuación:

- Zanazzi, J. (2003). Anomalías y Supervivencia en el Método de Toma de Decisiones de SAATY. En Godoy: *Problemas del Conocimiento en Ingeniería y Geología*, Vol.1. pp. 148-170

Posteriormente, una variación de ese documento fue sometida a la revista EPIO y publicada bajo la siguiente referencia:

- Zanazzi J., Carignano C y Boaglio L (2005) “Discusiones sobre el método de toma de decisiones de Saaty”. Revista EPIO, Vol 23. ISSN: 0329-7322.

Lo interesante es que el primero de esos trabajos ha tenido un interesante nivel de difusión. De hecho, registra múltiples citas en revistas especializadas en ingeniería y en ciencias. Seguramente, el interés se explica por el tema analizado, el controversial AHP.

Anexo 1.1 Descripción de la controversia

Los modelos de apoyo multicriterio a la decisión, también denominados como decisión multicriterio discreta (DMD), han despertado un notable interés en la comunidad científica desde los años setenta. Sucede que desde ese momento, son muchos los investigadores que se abocan a la resolución de ese tipo de problemas y cuantiosas las contribuciones realizadas al conocimiento del tema.

Sin embargo, este elevado nivel de actividad se ha sobrellevado hasta el momento con pocos temas de controversia. En las cuestiones que generan conflicto, se destaca un método que concentra la doble condición de ser tanto el más utilizado y difundido, cómo el más discutido y descalificado. Se trata del Proceso Analítico de Jerarquías (AHP, siglas en inglés), propuesto por Thomas Saaty, en dos publicaciones de 1976 y 1977 y reforzado posteriormente por varios libros presentados entre 1980 y el presente.

Desde la década de los ochenta hasta la actualidad, diversos artículos se han orientado a plantear incongruencias en la metodología, encontrando las correspondientes respuestas de Saaty y sus seguidores. Más aún, es frecuente presenciar en reuniones científicas encendidos debates entre partidarios y detractores.

Además, pese a las objeciones, el método continúa aplicándose en lo que puede calificarse como procesos de decisión de elevado impacto. Entre los antecedentes de este nivel, que referencia el propio autor, pueden citarse su utilización para programas financieros, en la elección de alternativas de saneamiento y de transporte urbano, o en la ubicación de grandes obras hidráulicas.

En estas condiciones, surge el interrogante acerca de cuáles son los motivos por los cuales es tan contrariado el referido método y por qué subsiste, pese a la enconada resistencia de muchos científicos. A fin de responder estas cuestiones, se analiza la problemática con un enfoque propio de la Filosofía de la Ciencia. Esto es, se realiza una definición de los aspectos centrales de los programa de investigación en decisión multicriterio y se lo contrasta con los supuestos y propiedades del mencionado método.

Con el objeto de identificar las leyes, conceptos y actividades que son universalmente aceptados por la comunidad científica abocada al tema, se adoptan las recomendaciones aportadas por Roy (1985) y por Barba Romero y Pomerol (1997), destinados precisamente a introducir una cierta normativa en el trabajo científico de la especialidad.

Con base en la anterior definición del programa de investigación, se efectúa una revisión bibliográfica de los artículos publicados en torno al método de Saaty. Ello se logra mediante un agrupamiento de las publicaciones, en torno a los diferentes aspectos de la metodología que se abordan.

Anexo 1.2 El Programa de Investigación de los métodos de Decisión Multicriterio Discreta

Siguiendo a Lakatos (1970) y en particular a la interpretación que sobre el mismo realiza Chalmers A (2002), en un Programa de Investigación es posible distinguir los siguientes elementos: núcleo central, cinturón protector; heurísticas positivas y negativas relacionadas con el trabajo científico de la especialidad. Cabe destacar que en el mencionado núcleo se engloban los supuestos fundamentales del campo del conocimiento de que se trate.

A fin que la caracterización del programa sea lo más ajustada posible al punto de vista de los científicos, se adoptan los fundamentos normativos aportados por Roy (1985). En el nivel de conocimiento del autor de estas notas, en dicho libro se realiza el primer intento por delinear en qué consiste esta rama de la ciencia.

Por otra parte, a favor de la elección mencionada, debe considerarse que Roy es uno de los científicos de mayor reconocimiento y actividad en el área temática, que las definiciones de tipo normativo que estableció en su texto de 1985 no han sido

rebatidas o discutidas por otros autores y que finalmente, en artículos y textos posteriores se han realizado múltiples referencias y transferencias de sus conceptos.

Realizada esta observación, es posible avanzar sobre la definición del núcleo central, en el cual se reconocen ante todo, algunos supuestos básicos. Uno de ellos es que el decisor es racional, en el sentido de que puede identificar todas y cada una de las alternativas de decisión y expresar sus preferencias sobre las mismas.

Otro supuesto importante es que el decisor se encuentra en condiciones de especificar los criterios que son relevantes para el proceso a desarrollar y que luego es capaz de valorar el nivel de preferencia de las alternativas usando como regla precisamente a los criterios. En ese aspecto, se asume que el decisor puede establecer relaciones binarias entre los elementos de decisión, que expresan sus preferencias conforme a cada criterio.

Las relaciones binarias permitidas son Preferencia Estricta, entre Preferencia e Indiferencia y por último Equivalencia. Un esfuerzo especial se dedica a la relación intermedia, particularmente por la dificultad relacionada con la transitividad de los juicios. Por ello, suelen definirse umbrales para representar hasta que punto una alternativa es indiferente de otra, o hasta cuanto se la considera preferible.

Otro supuesto importante es que las preferencias pueden representarse con ayuda de los números reales. Ello puede hacerse, por ejemplo, mediante el concepto de Función de Utilidad planteado por Fishburn (1970). Con este enfoque, cada alternativa comparada se relaciona con una función de utilidad $U(x)$, tal que el elemento a es preferible al elemento b , si y sólo si, $U(a) > U(b)$.

Estas funciones de utilidad pueden ser ordinales o cardinales. Las ordinales sólo se preocupan por reflejar el ordenamiento de las alternativas. Por ejemplo, la función de utilidad ordinal denominada canónica, plantea que: $U(a) = m + 1 - r(a)$; donde m es la cantidad de alternativas comparadas y $r(a)$ es el rango o posición en la cual quedó la alternativa considerada.

En cuanto a los métodos que aplican estas relaciones, se denominan ordinales o cardinales, según sean las funciones de utilidad que aplican. Ahora bien, los métodos ordinales están sujetos a dos estigmas. Se trata del problema de reversión de rangos planteado por Borda y de la paradoja de Condorcet (Gomes, Araya y Carignano, 2004).

El primero se manifiesta cuando las preferencias relativas de dos alternativas pueden variar por la acción u omisión de una tercera. Esto es, en el método ordinal de Borda, en ciertas situaciones es posible que al considerar tres alternativas: a, b, c; la opción a se considere preferible a la opción b. En cambio, si se descarta la alternativa c, puede ocurrir que b sea preferible a la opción a.

Por su parte, la paradoja de Condorcet se evidencia en una falta de transitividad de los juicios aportados por el decisor. Es decir, al comparar tres alternativas: a, b, c, si a se considera preferible a b y b se considera preferible a c, entonces cabe esperar como natural, que a sea preferible a c.

La gran debilidad de los métodos ordinales, como lo plantean los Teoremas de Arrow (Barba Romero y Pomerol, 1997), reside en que no pueden garantizar que estos problemas se presenten. Por ese motivo, durante los años sesenta y setenta, los científicos trabajaron duramente para desarrollar las denominadas aproximaciones cardinales, preocupadas por no incurrir en las fallas de Borda y Condorcet.

Para salvar ese problema, las utilidades cardinales procuran captar y representar las intensidades en las preferencias del decisor. Es decir que, no sólo es importante que un cierto elemento a sea preferible a otro b, sino también cuánto más importante es.

En este segundo grupo de métodos es imprescindible realizar transformaciones numéricas de los juicios aportados por los decisores, para expresar sus preferencias en escalas. Por supuesto, se espera que los juicios no resulten distorsionados por dichas transformaciones. De allí surgen algunas reglas fundamentales como la siguiente: sean a,b,c,d, cuatro elementos comparados mediante una función de utilidad cardinal, entonces la relación:

$$\begin{aligned} U(a) - U(b) / U(c) - U(d) & \text{ debe ser invariante} \\ U(a) / U(b) & \text{ debe ser invariante} \end{aligned}$$

Esto quiere decir que si el decisor apunta que el elemento a es cinco veces preferible al elemento b, entonces ese orden de magnitud en las preferencias debe ser conservado, en cualquier operación aritmética que el método requiera.

En lo que respecta a las heurísticas de los métodos multicriterio, hay algunas que se relacionan con la secuencia de operaciones necesarias para el desarrollo del proceso

de decisión. Concretamente, según Roy (1985), los pasos que deben desarrollarse con estas herramientas son:

1 - Discriminar las alternativas de decisión: en algunos problemas las alternativas están explícitamente definidas, en tanto que en otros pueden no ser para nada evidentes. Esta definición condiciona las actividades posteriores, dado que la elección del método depende del conjunto de alternativas.

2 - Especificar el tipo de problema a resolver: se trata de la decisión, elección o asignación que se desea realizar. Al respecto, se reconocen tres tipos de problemas, los que se identifican del siguiente modo: $P\alpha$; $P\beta$ y $P\gamma$ (Roy, 1985), (Gomez, Araya y Carignano, 2004).

La primera clase, identificada como problemas $P\alpha$, consiste en identificar la o las alternativas que resultan preferibles para el decisor. El muy transitado ejemplo de la compra de un automóvil, entre varias alternativas posibles, utilizando criterios como Precio, Confort, etc; es un caso de este tipo.

En cambio los problemas $P\gamma$ se proponen ordenar las alternativas de decisión de la mayor a la menor preferencia. Vale la pena destacar que, como lo señala el mismo Roy(1985), un modelo capaz de resolver un problema de la segunda clase, también puede resolver uno de la primera.

El tercer grupo, identificado como $P\beta$, tiene como meta la clasificación de los elementos de decisión en un grupo de categorías. Para ejemplificar esta situación se puede acudir al problema de una planta industrial nueva, que debe distribuir sus recientes empleados en tres funciones diferentes: líderes de producción; líderes de tareas no productivas y operadores básicos. Seguramente las funciones tienen especificados sus requisitos, esto es: estudios secundarios, experiencia previa, etc. Esos requisitos pueden ser utilizados como criterios para realizar la asignación deseada.

3 - Definir los criterios de análisis: esto es, especificar, definir lo mejor que se pueda, aquellos objetivos que se espera cumplir, comprender qué es lo que se espera lograr. Se trata de un paso fundamental. Abre la puerta a la comprensión del problema. Determina con qué varas se van a medir las alternativas.

4 - Valorar las alternativas de acuerdo a cada criterio: para ello se asignan utilidades a cada uno de los elementos entre los que se debe escoger. Las utilidades

representan la satisfacción que genera cada alternativa respecto a los diferentes criterios. Obviamente esta representación impone diferentes dificultades, una de las cuales radica en que puede haber criterios valorables en escala cuantitativa, como por ejemplo la inversión, en tanto que otros requieren una valoración cualitativa, como puede ser el impacto en el cliente.

5 - Normalizar las utilidades: consiste en transformar las valoraciones anteriores, de modo que todas se expresen en la misma escala. Generalmente se transforma a una definida en el intervalo que va de cero a uno.

6 - Agregar los juicios establecidos sobre los diferentes criterios: obtiene una apreciación única de cada alternativa, comprendiendo a todas las valoraciones aportadas por el decisor.

En el enfoque de Filosofía de la Ciencia de Lakatos, los integrantes de un Programa de Investigación consideran válidas a las actividades científicas orientadas a fortalecer o mejorar las diferentes etapas de la metodología general, en tanto que se rechaza cualquier posibilidad de que el núcleo del Programa sea discutido. De este modo se logra fortalecer el cinturón protector del Programa.

Así entonces, los investigadores que pretenden participar del Programa de Investigación de la Decisión Multicriterio Discreta, deben por ejemplo, abocarse a encontrar formas de medir las preferencias de manera cada vez más confiable, a proponer modalidades de estandarización que aseguren la invariancia de los juicios o a plantear formas de agregación que eviten las trampas propias de los métodos ordinales. En el otro extremo, deben rechazar propuestas que atenten contra aspectos claves del núcleo central, como la posibilidad de que se distorsionen los juicios aportados por el decisor.

Anexo 1.3 Bibliografía considerada en esta revisión

A continuación se enumeran los artículos que, de manera directa o indirecta, son considerados en la presente revisión.

Bana e Costa y Vansnick [2001] *“Une critique de base de l’approche de Saaty mise en question de la methode de la valeur propre maximales”*. Cahier du Lamsade. 175.

- Barba Romero S y Pomerol J [1997] “Decisiones Multicriterio: Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica”. Col. de Economía. Universidad de Alcalá, España.
- Barlizai J. y Golany B. (1994) “AHP rank reversal, normalization and aggregation rules”. *INFOR*, 32.
- Bartoszynski y Puri [1981] “A note on predicting the results of chess championship matches”. *Behavioral science*,. Vol 26,1.
- Belton y Gear [1983] “On a short-coming of Saaty’s method of analytic hierachies“. *Omega*,. Vol 11,3.
- Belton V. y Gear A. (1985) “The legitimacy of rank reversal – a comment”. *Omega*, 13,3.
- Cogger y Yu [1983] “Eigen weight vectors and lest distance aproximation for revealed preference in pairwise weight ratios”. University of Kansas. School of Business. Working paper, Lawrence, Kansas.
- Chalmers A (2002) “¿Qué es esa cosa llamada ciencia?”. Siglo XXI Editora.
- Dennis [1985] “A probabilistic model of analyzing hierarchically structure multi-criterion decision problems”. Paper presentado en Joint National Meeting ORSA / TIMS, Boston.
- Dyer [1990a] “Remarks on the analytic hierarchy process“. *Management sciences*. Vol 36,3.
- Dyer(1990b) “A clarification of ‘Remarks on the Analytic Hierarchy Process’”. *Management Science*, 36,3.
- Dyer y Wendell [1985] “A critique of the analytic hierarchy process“. Working papers 84/85-4-24. Department of Management, University of Texas at Austin.
- De Graan [1980] “Extensions of the multiple criteria analysis method of Saaty”. Thecnical reports m.f.a 80-3, National Institute for Water Supply, Leidshendam. England July 22-25.
- Epstein y King [1982] “An experimental study of the value of information”. *Omega*, 10,3.
- Fichtner [1983] “Some thoughts about the mathematics of the analytic hierarchy process”. Working papers, Hochschule der Bundeswehr Munchen, September.
- Gehrlein W [1983] “Condorcet’s paradox”. *Theory and Decision*, Vol 15.

- Harker [1987] "Incomplete pairwise comparison in the analytic hierarchy process".
Mathematical modelling. Vol 9,11.
- Holder [1990] "Some comments on the analytic hierarchy process". Journal of the
Operational Research Society. Vol 41,11.
- Kamenetzky[1982] "The relationship between the analytic hierarchy process and the
additive value function". Decision Sciences. Vol 13,4.
- Jensen [1984] "An alternative scaling method of priorities in hierarchical structures".
Journal of mathematical Psychology, Vol 28,3.
- Jong [1984] "A statistical approach to Saaty's scaling method for priorities". Journal
of mathematical Psychology, Vol 28,4.
- Johnson [1979] "*Anote on wright-left asymmetry in an eigen vector ranking
procedure*". Journal of Mathematical Psychology. Vol 19,1.
- Lootsma [1992] "*Saaty's priority theory and the denomination of a senior professor
in operations research*". European Journal of Operational Research. Vol 4,6.
- Lakatos I. [1970] "Falsification and the methodology of scientific research
programmes". En I Lakatos y A Musgrave (1970). North Holland.
Amsterdam.
- Mc Meekin [1979] "The pairwise comparison approach to the stimation of a ratio
scale: a stochastics interpretations of the best priorities weight ratio scale
estimator". Artículo presentado en Atlantic Economic Society Meeting
Washington.
- Pérez J.[1994] "*Theoretical elements of comparison among ordinal discrete
multicriteria methods*". Journal of Multicriteria Decision Analysis, Vol 3, 3.
- Pérez J.[1995] "*Some comments on Saaty's AHP*". Managements Science. Vol 41,6.
- Roy B [1985] "*Méthodologie Multicritère d'Áide á la Decision*". Economica, París.
- Saaty [1977] "A scaling method for priorities in hierarchical structures". Journal of
Mathematical Psychology. Vol 15,3
- Saaty [1978] "Exploring the interface between hierarchies multiple objectives and
fuzzy sets". Fuzzy sets and Systems. Vol 1,1.
- Saaty T. [1980] "*The Analytic Hierarchy Process*". McGraw Hill.
- Saaty T. [1987] "*Rank generation, preservation and reserval in the analytic hierarchy
process*". Decision Science, Vol 18.

- Saaty T. [1990] “*An exposition of the AHP in reply to the paper “Remarks on the analytic hierarchy process”*”. Interfaces, Vol 24, 6.
- Saaty T. [1994] “*How to make a Decision: The analytic hierarchy process for decision in a complex world*“. RWS Publications, 3^d Edition, Pittsburgh, USA.
- Saaty T. [1995] “*Decision making for leaders : The analytic hierarchy process for decision in a complex world*“. RWS Publications, 3^d Edition, Pittsburgh, USA.
- Saaty T. y Vargas L. [1984 a] “*Inconsistences and Rank Preservation*“. Journal of Mathematical Psychology, Vol 28, 2.
- Saaty T. y Vargas L. [1984 b] “*Comparisons of eigenvalue, logarithmic least squares and least squares methods in estimating ratios*“. Journal of Mathematical Modeling, Vol 5.
- Saaty [1983] “*Conflict resolution and the falkland islan invasions*”. Interfaces, Vol 13,6
- Saaty, Vargas y Wendell [1983] “*A feedback: assessing atritute weight by ratios*”. Omega, 11,1.
- Salo A y Hämäläinen R (1997) “*On the measurement of preferences in the Analytic Hierarchy Process*”. Journal of Multicriteria Decision Analysis, 6.
- Shoner y Wedley [1989] “*On a short-coming of Saaty’s method of analytic hierachies*“. Omega,. Vol 11,3.
- Takeda [1987] “*Estimating criterion weights using eigenvectors: a comparative study*“.European Journal of Operational Research. Vol 29.
- Vargas [1982] “*Reciprocal matrices with random coefficients*”. Mathematical modelling. Vol3,1.
- Vargas L(1990) “*An overview of the Analytic Hierarchy Process (AHP)*”. European Journal of Operational Research, 48.
- Watson y Freeling [1982] “*A comment: assessing atribute weight*”. Omega, Vol 10,6.
- Watson y Freeling [1983] “*A rejoinder: comment on assessing atribute weight by ratios*”. Omega, Vol 11,1
- Zahedi F. [1986] “*The Analytic Hierarchy Process. A survey of the method and its applications*“. Interfaces, Vol 16.

Anexo 1.4 Análisis de las discusiones planteadas en torno al AHP

A los fines del presente trabajo, se han clasificado los ámbitos de discusión según la etapa del método que se encuentra bajo análisis. Así entonces, los tópicos analizados son los siguientes:

- Estructura jerárquica del proceso de decisión.
- Valoración de las preferencias.
- Estandarización.
- Agregación.
- Reversión de rangos

Cabe destacar que los cuatro primeros títulos, fueron originalmente utilizados por Zahedi (1986). A dicha clasificación se le adiciona la reversión de rangos, por tratarse de un problema que comienza a preocupar a los científicos en la década de los 90.

Debido a que esta forma de abordar las discusiones no facilita el seguimiento temporal de las opiniones y artículos, y considerando que este seguimiento es un componente importante en el enfoque de Lakatos(1970), el presente apartado cierra con una breve cronología de los aportes mencionados.

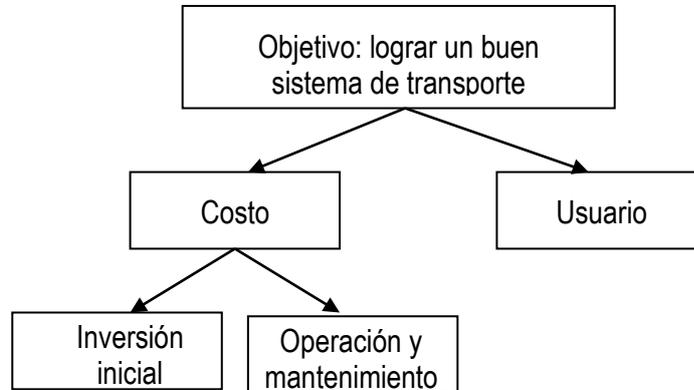
Anexo 1.4.1 Estructura jerárquica del proceso de decisión.

La estructura jerárquica del AHP es una de las particularidades del método, al punto que está reflejada en su nombre. De hecho, no hay otras propuestas que permitan una discriminación tan acabada del proceso de decisión, mediante la representación de tantos criterios y subcriterios como sea necesario.

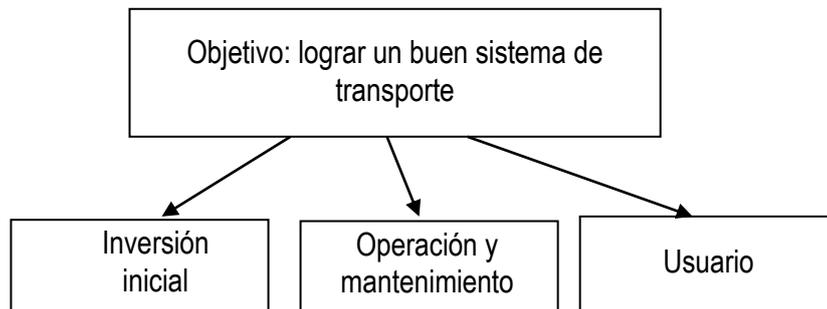
Respecto a las objeciones recibidas, en Johnson (1979) se advierte que si la jerarquía es incompleta, pueden distorsionarse los pesos. El inconveniente señalado puede explicarse a través de un ejemplo, sea un problema de decisión donde es preciso elegir entre diferentes alternativas, una solución adecuada al problema de transporte de cierta localidad.

El grupo que analiza el problema encuentra que es preciso considerar las alternativas a la luz de los criterios: Costo y Beneficios para el Usuario. Claro que las estructuras de costo son totalmente diferentes en cuanto a inversión inicial y a

operación y mantenimiento. Con este razonamiento, es posible plantear la siguiente estructura jerárquica para el proceso de decisión:



Pero, otra posibilidad es asumir que estas dos componentes del costo presentan problemáticas absolutamente diferentes, por lo que no conviene tratarlas juntas sino del siguiente modo:



Lo interesante es que la importancia asignada a estos elementos es totalmente diferente en ambas jerarquías. En la primera hay dos objetivos que se contraponen, reducir los costos e incrementar la satisfacción del usuario. En cambio en la segunda, el interés del usuario debe competir no con uno, sino con dos elementos y ello conduce inevitablemente a que pierda importancia.

Si bien no hubo una respuesta directa al planteo de Johnson (1979), el comentario fue recogido e incluso reproducido posteriormente en los libros de Saaty. Al respecto, este recomienda que la o las personas que deben tomar la decisión, diseñen cuidadosamente la estructura jerárquica, conscientes de esta posible dificultad.

Por otra parte, Epstein y King (1982) señalan que al incorporar la posibilidad de estructurar el proceso de decisión a través de una jerarquía, las diferencias de

información en cada uno de los elementos de dicha jerarquía, deben introducir distorsiones en las valoraciones de sus elementos. Dicho en relación al ejemplo anterior, es muy distinto valorar el criterio Inversión Inicial que el de Operación y Mantenimiento o el de Satisfacción del Usuario. En el primero se dispone de presupuestos brindados por los oferentes, en tanto que en los restantes es preciso realizar estimaciones.

En este caso hubo respuestas explícitas, por ejemplo en Saaty (1983) el autor señala que el problema es de disponibilidad de información, no es del método; más aún, sostiene que se trata de un problema general de los modelos multicriterio. Posteriormente, la extensa revisión de Zahedi (1986) alude al tema, explicando que en todo el ámbito de las ciencias de la administración, se tropieza con este inconveniente.

Ahora bien, desde el punto de vista de Lakatos (1970), estas cuestiones parecen tener naturaleza diferente. El aporte de Johnson (1979) se resume en comentarios y recomendaciones sobre el método, no hace referencia a posibles transgresiones del núcleo central. Por lo tanto puede considerarse como parte del trabajo típico de los científicos, para reforzar el escudo protector.

En cambio el comentario de Epstein y King (1982), refiere no sólo a un aspecto propio del AHP, sino que como bien lo señaló el mismo Saaty, roza tangencialmente uno de los supuestos claves para los científicos de la especialidad. Es razonable pensar que este es uno de los motivos por el que los trabajadores científicos del programa de investigación multicriterio, no se hicieron eco de este aporte.

Anexo 1.4.2 Valoración de las preferencias.

Como se precisó en el Capítulo 2 de esta Tesis, el método AHP requiere hacer comparaciones por parejas entre todas las alternativas y valora el nivel de preferencia con una escala definida en el intervalo que va desde 1 (equivalencia), hasta 9 (preferencia extrema).

El primer comentario al respecto es de Watson y Freeling (1982), se trata de una breve reflexión en la cual sostiene que la mente humana no opera al modo AHP, sino que realiza siempre comparaciones y ordenamientos globales. Esta opinión, proveniente del campo de la psicología, atenta contra la estrategia general del AHP. De hecho, si esto es cierto, deben descartarse además del de Saaty, diversos métodos que

utilizan este tipo de comparaciones (Electre, Promethee, por ejemplo), en beneficio de otros que, como el UTA, parten de las preferencias globales.

Esta objeción generó un amplio esfuerzo de respuesta que inicia en Saaty, Vargas y Wendell (1983), recordando experimentos iniciales de Saaty, anteriores a la presentación formal de su método. Estas mismas experiencias son citadas posteriormente en artículos como Saaty (1994), o en libros de texto como Saaty (1995).

Uno de estos experimentos consiste en proponer la comparación de cinco figuras geométricas (círculo, cuadrado, rectángulo, triángulo y rombo), con diferentes áreas; luego, utilizando la escala (1, 9) deben compararse de a dos por vez, respondiendo la pregunta de cuánto mayor es el área de una figura respecto de la otra. En los trabajos citados, se asegura que esta mecánica arrojó muy buenas estimaciones de las relaciones verdaderas, en personas con diferentes niveles de edad o de educación.

Otro experimento consistió en pedir a una persona que valore el consumo de bebidas en EEUU, comparando productos de diferente tipo como té o whisky. Nuevamente se asegura que las estimaciones fueron muy ajustadas a la realidad. En Saaty (1995), se reproducen tanto los verdaderos consumos como las estimaciones realizadas por el individuo en cuestión, a fin de exaltar la bondad de los resultados.

Claro está que leer sobre este tipo de verificaciones experimentales, invita a preguntar sobre las condiciones en que se desarrollaron las mismas, en particular aquellos que utilizan figuras geométricas. Por ejemplo sería interesante conocer qué factores experimentales se identificaron y de qué modo se los controló, cómo fueron seleccionadas las unidades experimentales (personas participantes), o cuál fue el tratamiento posterior de los residuos o errores cometidos.

Esa información es indispensable para posibilitar la repetición de la experiencia y de hecho, permitir la extrapolación de sus resultados. Sin embargo, este autor no la ha encontrado hasta el momento, aunque presume su existencia debido a que tampoco se registran controversias al respecto.

En respuesta al argumento de la experimentación, Watson y Freeling (1983) aseguran que diversos experimentos realizados en sicometría, no coinciden en cuanto a la ventaja de hacer comparaciones por parejas en vez de un análisis global. Curiosamente algunos científicos (no sicólogos sino especialistas en decisión multicriterio), que en ese momento se encuentran trabajando sobre métodos de

valoración global como los de utilidad multiatributo, no suman sus opiniones al respecto.

Antes bien, parece que se aceptan los argumentos del AHP. En particular Zahedi (1986) se refiere a la discrepancia usando una curiosa expresión, que se reproduce en inglés para destacar su estilo: “*Since the method of data collection separates AHP from methods of multiattribute utility estimation, more crossfire is expected in this area in the future*”.

También en el aspecto de la valoración de preferencias, se realizan otros aportes. Por ejemplo en Saaty (1977) y (1978), se utilizan conjuntos difusos para representar los errores inevitables en las observaciones. El mismo argumento se rescata y profundiza posteriormente en la fundamentación axiomática del AHP, presentada en Saaty (1986).

Complementariamente otros científicos proponen modos de controlar los errores de medición, al aceptar que estos no pueden ser definitivamente eliminados con el recurso de chequear la consistencia y mejorar los juicios, si esta no es aceptable. En esta línea puede citarse a Mc Meekin (1979); Vargas (1982); Jong (1984), Demis (1985) y Zahedi (1985).

Respecto a la escala utilizada, en Jensen (1984) se sugiere que la escala no debería estar acotada al intervalo que va desde $(1/9)$ hasta 9. Es conveniente reflejar esta idea a través de un ejemplo. Sea un conjunto formado por los elementos a, b, c. Los juicios del decisor indican que a es tres veces preferible a b, en tanto que b es cuatro veces preferible a c. Entonces, aceptando que los juicios deben ser transitivos, es razonable esperar que el decisor asegure que a le resulta doce veces preferible a c. Sin embargo, esto no es posible en la escala del AHP.

Este defecto se hace cada vez más evidente con el incremento de la cantidad de elementos comparados. Por otra parte, este sólo detalle introduce una obligada inconsistencia. Entonces surge una pregunta natural: ¿por qué mantener acotada la escala?. Lamentablemente nunca hubo una respuesta precisa a este aporte de Jensen.

Otro aspecto señalable en el AHP, es que su aplicación resulta excesivamente laboriosa, por la necesidad de comparar todas las parejas posibles de elementos. Al respecto, tanto en Takeda (1987), como en Harker (1987), se realizan propuestas tendientes a reducir la cantidad de comparaciones.

Por último corresponde recordar la contribución de Lootsma (1992). Este trabajo propone cambiar la escala de medición, por la secuencia (-8), (-4), (-2), 0, 2, 4, 8, es decir, duplicando las valoraciones; las razones argumentadas son de origen sicométrico.

Claro está que dicha modificación impide construir la matriz recíproca de Saaty, con lo cual ya no es posible utilizar el vector propio como estrategia de estandarización. Por ese motivo, el referido trabajo propone estandarizar utilizando una regresión logarítmica. Es decir que el cambio de escala genera una variación profunda en el método.

En resumen, en el tópico de la medición de las preferencias se han realizado diversas observaciones entre las que se destacan:

- La estrategia no es la mejor, es preferible un ordenamiento global.
- Las escalas no son adecuadas, además no deben estar acotadas.
- Las comparaciones por parejas inducen a errores e inconsistencias.
- Los errores no pueden eliminarse completamente con el estudio de la inconsistencia.
- Las comparaciones por parejas tornan muy laborioso el método.

La única cuestión central que aparece aquí es la primera, ordenamiento global o comparaciones por parejas. Las restantes no ponen en discusión el método en sí, en todo caso procuran hacerle aportes, mejorarlo. Parecen estar reforzando el cinturón protector particular del AHP.

Lo llamativo es que en torno a la cuestión central no se generó una encendida polémica, no suscitó la participación masiva de los expertos. Pero esto puede explicarse recordando que en el núcleo central de la decisión multicriterio, no hay una definición acerca de cuál de las estrategias es válida, ordenamiento global o comparaciones específicas.

Anexo 1.4.3 Estandarización

Es sin dudas uno de los aspectos atractivos del AHP, dado que el recurso del vector propio se percibe como una solución elegante. Sin embargo, también es uno de los aspectos más discutidos, dado que diversos autores señalan que dicha estrategia genera

distorsiones en los pesos obtenidos, con lo que se quiebra la exigencia de que en los métodos cardinales, los juicios del decisor deben ser invariantes.

El origen de estas discusiones puede verse a través del siguiente ejemplo. Se realiza la comparación de 3 elementos: a, b, c; estando vigentes las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} \Rightarrow b &= 2 a && \text{(el elemento b es dos veces preferible al elemento a)} \\ \Rightarrow c &= 3 b && \text{(el elemento c es tres veces preferible al elemento b)} \end{aligned}$$

Si se asume consistencia en los juicios, la valoración esperable para la relación de c con a es la siguiente: $c = 6 a$. Estos valores se vuelcan en la siguiente matriz

Tabla Anexo 1.1
Ejemplo de matriz AHP consistente

Matriz	a	B	c
A	1	0.5	0.16666
B	2	1	0.33333
C	6	3	1
W_i	0.111111	0.222222	0.666666

Al calcular el vector propio de la matriz, se tiene: $W = \{0,111, 0,222, 0,666\}$. Como se advierte, es un resultado inobjetable, dado que los ponderadores obtenidos después de normalizar para los diversos elementos comparados, cumplen con las especificaciones planteadas a priori. De hecho:

$$w_c = 3 w_b = 6 w_a$$

Pero si se introduce algo de inconsistencia en los juicios, la calidad del vector normalizado ya no es tan buena como antes. Por ejemplo, si el decisor incurre en una inconsistencia al comparar el primer y el tercer elemento, anunciando que el elemento c es ocho veces preferible al elemento a, la tabla de comparaciones resulta:

Tabla Anexo 1.2
Ejemplo de matriz AHP inconsistente

Matriz	A	b	c
A	1	0,5	0,125
B	2	1	0,3333
C	8	3	1
w_i	0,096	0,21	0,694

A pesar que la inconsistencia de esta matriz es baja (de acuerdo al Expert Choice el valor del Ratio es 0,01), las proporciones entre ponderadores ya no son idénticas a las de los juicios originales. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla Anexo 1.3

Pesos y relaciones obtenidas en el ejemplo

Preferencia de	Ponderadores	Original
c sobre a	7.229	8
c sobre b	3.304	3
b sobre a	2.187	2

Ahora bien, cabe preguntarse sobre el verdadero significado de los valores normalizados. A fin de buscar una respuesta se debe considerar que en realidad el decisor no hace una sola comparación de cada pareja de elementos.

Por ejemplo, los elementos c y a se comparan por dos caminos distintos, uno directo y otro indirecto, según el siguiente detalle:

- Directo: se compara **c** con **a**, obteniendo $c = 8a$
- Indirecto: se compara **c** con **b**, y luego **b** con **a**, obteniendo: $c = 3b$; luego $b = 2a$ y $c = 6a$.

Lo que surge como evidente es que el vector propio no se ajusta a ninguna de estas valoraciones. Por supuesto el problema se complica a medida que es mayor el número de elementos comparados, con cuatro elementos, por ejemplo, se realizan seis valoraciones indirectas y la dispersión de resultados crece muy rápidamente.

Debe notarse que este problema contradice una de las verdades adoptadas en el núcleo central de los programas de investigación AHP, aquella que exige que la estandarización no distorsione los juicios emitidos por el decisor. Una explicación aceptada como válida es que las personas son naturalmente inconsistentes y que todos sus juicios, tanto el directo como los indirectos deben ser considerados.

Más aún, la posibilidad de reflejar esas inconsistencias naturales ha sido reiteradamente presentada como una de las virtudes del AHP. A fin de aprovechar esa ventaja, la comunidad científica acepta una relajación en la siempre rígida exigencia de que los juicios no deben ser distorsionados.

Incluso es el padre del AHP, quien en Saaty(1980) propone la primera corrección, esto es calcular con auxilio computacional todas las valoraciones de preferencias y utilizar el promedio de las mismas como medida confiable. Dicha propuesta es, no sólo aceptada sino mejorada por De Graan (1980) y por Fichtner (1983), quienes proponen el empleo de la media geométrica como medida representativa.

Por otra parte, en Cogger y Yu (1983), se sugiere que el estimador apropiado debe obtenerse aplicando el método de los mínimos cuadrados. En la misma línea, el ya citado trabajo de Jensen (1984), propone complementar su propuesta de no acotar la escala de valoración de preferencias con la minimización de los cuadrados mínimos.

Por su parte, Kamenetzky (1982) y Belton y Wendell (1985), proponen utilizar iterativamente el vector propio. Esto es, aplicar sucesivas normalizaciones hasta obtener la estabilidad de los ponderadores.

Como se advierte, la situación es similar a la planteada con la valoración de las preferencias. Esto es, la comunidad científica detecta una debilidad en el método, problema que en este caso puede comprenderse como una heurística negativa en la visión de Lakatos(1970), dado que afecta el núcleo central, pero en vez de condenar la propuesta se abocan a protegerla y mejorarla.

Incluso se repiten en los artículos algunas afirmaciones curiosas, que no son inmediatamente rechazadas. Un ejemplo notable se da en la ya mencionada revisión de Zahedi (1986), que nuevamente se reproduce en inglés a fin de no traicionar el estilo. El comentario reza: *“No consensus exists on the choice of estimators, although the eigenvalue method has the great advantage of a relatively long history of use and of a support of a soft”*.

De todos modos, esta discusión se prolongó durante la década de los noventa, relacionada con el problema de reversión de rangos, por lo que sus fundamentos se tratan en el apartado 13.3.5. Un aporte decisivo en este sentido, al menos para el autor de esta Tesis, es el de Bana e Costa y Vansnick (2001). Los autores aceptan que puede ser razonable que las intensidades de las preferencias no se conserven invariantes, debido a la inconsistencia. Pero aducen que si realmente el método de Saaty opera con utilidades cardinales, al menos debería reflejar las diferencias entre esas intensidades.

Tabla Anexo 1.4
Ejemplo utilizado por Saaty

1	2,5	4	9,5
0,25	1	3	6,5
0,25	0,33	1	5
0,105	0,154	0,2	1

Luego, dicho trabajo demuestra con diferentes ejemplos, que la transformación basada en el Vector Propio, no consigue tampoco cumplir con esa condición. Para ilustrarlo, se recuerda uno de los casos utilizados por el propio Saaty en sus libros y artículos, donde la matriz resultante es la que se presenta en la Tabla 13.4. Para la cual el Expert Choice, software diseñado y avalado por Saaty, devuelve las ponderaciones que se presentan en la Tabla 13.5.

Tabla Anexo 1.5
Pesos para la matriz anterior

$$w(X_1) = 0.533$$

$$w(X_2) = 0.287$$

$$w(X_3) = 0.139$$

$$w(X_4) = 0.041$$

A continuación se pueden contrastar las relaciones binarias, establecidas por el decisor en las comparaciones directas, con los cocientes entre los pesos obtenidos después de la estandarización, con el resultado que se presenta en la Tabla 13.6.

Tabla Anexo 1.6
Pesos y relaciones entre los mismos

	W_{ij}	$W(X_i) / W(X_j)$
{X ₁ , X ₂ }	2.5	1.86
{X ₁ , X ₃ }	4	3.83
{X ₁ , X ₄ }	9.5	13
{X ₂ , X ₃ }	3	2.06
{X ₂ , X ₄ }	6.5	7
{X ₃ , X ₄ }	5	3.39

Un problema mayor que se deduce de la Tabla anterior es que, además de que no se mantienen las relaciones, en algunos casos hasta se invierten, como ocurre en el siguiente ejemplo:

$$3,39 = w(x_3)/w(x_4) < w(x_1)/w(x_3) = 3,83$$

En los juicios originales del decisor, la intensidad de la preferencia de X_3 sobre X_4 (cinco veces), es mayor que la de X_1 sobre X_3 (cuatro). En cambio, luego de estandarizar, la intensidad de la preferencia en la primera relación, pasa a ser menor que la obtenida para la segunda.

Nuevamente debe tenerse en cuenta que estos números están muy alejados de los juicios que originalmente emitió el decisor en las comparaciones directas. Más aún, este problema conduce a cuestionar el sentido de las expresiones sugeridas por Saaty: “fuertemente más preferible”; “extremadamente más preferible”; etc.

Anexo 1.4.4 Agregación.

La última fase metodológica está destinada a agregar las valoraciones obtenidas a lo largo de todo el proceso de análisis. En este aspecto, Saaty utiliza un recurso compartido con una parte de los modelos de apoyo Multicriterio, la aplicación de una función de utilidad lineal aditiva.

De todos modos, también este aspecto del método ha recibido diferentes aportes. Por ejemplo, en Bartoszynski y Puri (1981), se propone salvar el problema de la variabilidad de los juicios, planteando estimaciones por intervalo de las verdaderas ponderaciones. Además se realiza una deducción de las propiedades estadísticas de los estimadores puntuales, condición imprescindible para obtener intervalos.

Por su parte, en Vargas (1982), se analiza el efecto de la variabilidad sobre las matrices recíprocas que son típicas en el AHP. Con el mismo enfoque, en Dennis (1985) se deducen las distribuciones de probabilidad de los ponderadores y se proponen formas de agregación compatibles con dichas distribuciones. Pero estos aportes pueden ser considerados como actividades tendientes a fortalecer el método. Nuevamente la comunidad científica que adhiere a la propuesta del AHP, reacciona ante las debilidades buscando formas de salvarlas.

Anexo 1.4.5 Reversión de rangos.

Una de las primeras referencias a la reversión de rangos se encuentra en Belton y Gear (1983), al advertir que el AHP parece tener dificultades para cumplir con el axioma de

las alternativas irrelevantes. Esto es, el ordenamiento relativo de un par de alternativas cambia de acuerdo a la valoración de una tercera totalmente independiente.

El problema puede evidenciarse analizando un ejemplo, traducido de Saaty (1994):

“El planteo es que dos productos A y B son evaluados considerando dos criterios igualmente importantes, P y Q, como se muestra en las siguientes matrices:

Crit P	A	B	Prioridades
A	1	5	0,83
B	0,2	1	0,17

Crit Q	A	B	Prioridades
A	1	0,3333	0,25
B	3	1	0,75

Con estos valores, se obtienen las siguientes prioridades:

$W_a = 0,542$; $W_b = 0,458$; donde A es preferido a B. Pero si un tercer producto C es introducido y comparado con A y B, como sigue:

Crit P	A	B	C	Prioridades
A	1	5	1	0,455
B	0,2	1	0,2	0,09
C	1	5	1	0,455

Crit Q	A	B	C	Prioridades
A	1	0,3333	2	0,222
B	3	1	6	0,666
C	0,5	0,1666	1	0,111

La síntesis conduce a $W_a = 0,338$; $W_b = 0,379$ y $W_c = 0,283$. Aquí B es preferible respecto de A y por lo tanto se manifiesta la reversión de rangos”.

Ahora bien, esta cuestión puede enmarcarse como referida al núcleo central del programa, donde se asume que las escalas cardinales deben poder superar los

problemas de las ordinales, entre los que se destaca el axioma de las alternativas irrelevantes originado en Borda. Por ese motivo, este asunto particular adquirió cada vez mayores dimensiones.

En principio se suceden artículos orientados a proteger el método, como el de Dyer y Wendell (1985), tendiente a preservar los rangos, o como el de Jensen (1984), quien sugiere realizar la agregación comparando los resultados con un ordenamiento global previamente obtenido. Posteriormente la actividad se transforma en debates y de algún modo, enfrentamientos.

En Shoner y Wedley (1989), se señala por ejemplo que los pesos son ambiguos. Otros artículos como Dyer (1990), Holder (1990); Holder y Saaty (1990); Tversky, Slovic y Kahneman (1990) o Tversky y Simonson (1993); participan en esta abierta discusión. En Saaty y Vargas (1993), se relativiza el problema aduciendo que puede llegar a presentarse en sólo un ocho por ciento de las aplicaciones (porcentaje obtenido por simulación).

Algunas expresiones de Saaty (1994), reflejan el modo en que el autor del AHP intenta discutir cuestiones centrales de la metodología multicriterio. Por ejemplo plantea:

“Early developers of utility theory axiomatically ruled that introducing alternatives particularly irrelevant ones, should not cause rank reversal (Luce and Raiffa 1957). A theory that rates alternatives one at a time ..., assumes the existence of past standards established by experts for every decision problem But if past standards are inapplicable to new problems and if experts are not sufficiently familiar with the domain of a decision to establish standards and the environment changes rapidly, an insistence on making decisions based on standards will only force the organization to shift its efforts from solving the problem to updating standards” (1994).

También en ese artículo, Saaty apela al principio de autoridad al asegurar que el AHP se desarrolla después de una década de intentos infructuosos, de representar correctamente los procesos de decisión utilizando teorías normativas. Y al respecto, anuncia que dichos intentos se hicieron *“with the assistance of some of the world’s*

best minds, to deal with negotiation and trade-off in the strategic political and diplomatic arena at the Arms Control and Disarmament Agency in the Department of State” (1994).

Parece que todo este despliegue no consigue eludir la cuestión fundamental, para qué hacer tantas comparaciones, escalas y operaciones matriciales, si no se consigue salvar el problema clave del sencillo método de Borda. Todo indica que la comunidad científica no es convencida por este tipo de argumentos, dado que de allí en más se encuentran múltiples referencias a que el método puede ser considerado como ordinal. Aseveraciones como esa pueden encontrarse por ejemplo, en Perez (1995); Barba Romero y Pomerol (1997); Bana e Costa y Vansnick (2001).

Anexo 1.5 Evolución del método posterior al año 2003

Corresponde señalar que las controversias mencionadas se han mantenido en la última década. Sin embargo, el AHP definitivamente se ha consolidado como la propuesta más utilizada a nivel mundial y eso es evidente incluso en el campo de la ingeniería.

Por un lado, el propio Thomas Saaty ha continuado la publicación de artículos que incorporan interesantes novedades a su método. Una de las que requiere mayor atención es el desarrollo de una variante denominada Analytic Network Process (ANP), la que se caracteriza por aceptar que los criterios utilizados en el proceso de toma de decisiones no siempre son independientes. El autor ha realizado diversos aportes en esta dirección, entre los que se encuentran los que a continuación se mencionan.

- Saaty, T. L., & Sodenkamp, M. (2008). Making decisions in hierarchic and network systems. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 1(1), 24-79.
- Saaty, T. L. (2004). Decision making—the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of systems science and systems engineering*, 13(1), 1-35.
- Saaty, T. L. (2005). The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making. In *Multiple*

criteria decision analysis: state of the art surveys (pp. 345-405). Springer New York.

- Saaty, T. L. (2013). The Modern Science of Multicriteria Decision Making and Its Practical Applications: The AHP/ANP Approach. *Operations Research*, 61(5), 1101-1118.

Adicionalmente, ha planteado la posibilidad de valorar a las alternativas en función de un conjunto finito de criterios, pero con escalas de tipo ordinal. Esta posibilidad se presenta en diversos artículos publicados por Saaty, con la intención de proteger los fundamentos de su propuesta frente a las observaciones y críticas recibidas. Las siguientes son ejemplos de estos aportes.

- Saaty, T. L. (2006). Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. *European Journal of Operational Research*, 168(2), 557-570.
- Saaty, T. L. (2008). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas*, 102(2), 251-318.
- Saaty, T. L., & Begicevic, N. (2012). The analytic hierarchy process applied to complexity. *International Journal of Economics and Business Research*, 4(3), 266-283.

También produjo una importante cantidad de libros, destinados a presentar sus metodologías, adaptaciones de sus métodos a diferentes problema y a recopilar información sobre aplicaciones realizadas por otros investigadores. Entre los principales títulos se encuentran los siguientes:

- Saaty, T. L. (2005). *Theory and applications of the analytic network process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks*. RWS publications.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2006). *Decision making with the analytic network process*. Springer Science+ Business Media, LLC.
- Saaty, T. L., & Peniwati, K. (2013). *Group decision making: drawing out and*

reconciling differences. RWS Publications.

Parece evidente el hecho de que en los últimos diez años, la metodología AHP / ANP se ha fortalecido y difundido de un modo que no resultaba fácil de predecir en el año 2003, cuando se abandonó la idea de apoyar esta Tesis en los métodos de Saaty. Por supuesto, el nombrado autor ha realizado sus propios aportes en cuanto a los problemas de toma de decisiones en grupo. Entre las referencias que se pueden rescatar, se encuentran las siguientes:

- Saaty, T. L., & Shang, J. S. (2007). Group decision-making: Head-count versus intensity of preference. *Socio-Economic Planning Sciences*, 41(1), 22-37.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2013). Criteria for Evaluating Group Decision-Making Methods. *In Decision Making with the Analytic Network Process (pp. 295-318)*. Springer US.

La problemática grupal en la perspectiva AHP / ANP, también ha sido considerada en líneas de investigación desarrolladas por otros autores, como es el caso del grupo de Decisión Multicriterio de la Universidad de Zaragoza. Entre los aportes de ese equipo, se encuentran los que se enumeran a continuación.

- Altuzarra, A.; Moreno-Jimenez, J.; Salvador, M. (2007) A Bayesian prioritization procedure for AHP-group decision making. *European Journal of Operational Research*, 182, 367-382.
- Escobar, M.; Moreno-Jiménez, J. (2007) Aggregation of Individual Preference Structures. *Group Decision and Negotiation*, 16(4), 287-301.
- Moreno-Jimenez, J.; Aguaron, J.; Escobar, M. (2008) The core of consistency in AHP-Group Decision Making. *Group Decision and Negotiation*, 17, p. 249-265.

Por otro lado, en el marco de esta Tesis se efectuaron diferentes recopilaciones de artículos publicados en los últimos diez años, en revistas de primer nivel. Esas recopilaciones permitieron identificar al menos ciento cincuenta trabajos que utilizan el AHP en distintos campos de la ciencia. Lo curioso es que muchas de esas aplicaciones utilizan el método tal como fue planteado en los años setenta, esto es, sin incorporar las múltiples mejoras introducidas posteriormente. Algunos de estos artículos se mencionan a continuación.

- Thakkar, J., Deshmukh, S. G., Gupta, A. D., & Shankar, R. (2006). Development of a balanced scorecard: an integrated approach of interpretive structural modeling (ISM) and analytic network process (ANP). *International Journal of Productivity and Performance Management*, 56(1), 25-59.
- Jharkharia, S., & Shankar, R. (2007). Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach. *Omega*, 35(3), 274-289.
- Brent A, Rogers D, Ramabitsa-Siimane T, Rohwer M (2007) Application of the analytical hierarchy process to establish health care waste management systems that minimise infection risks in developing countries. *European Journal of Operational Research* 181 (2007) 403–424.
- Yang, C. L., Chuang, S. P., Huang, R. H., & Tai, C. C. (2008). Location selection based on AHP/ANP approach. In *Industrial Engineering and Engineering Management. IEEM 2008. IEEE International Conference on*(pp. 1148-1153). IEEE.
- Aragonés-Beltrán, P., Chaparro-González, F., Pastor-Ferrando, J. P., & Rodríguez-Pozo, F. (2010). An ANP-based approach for the selection of photovoltaic solar power plant investment projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 249-264.
- Chen, Y. C., Lien, H. P., & Tzeng, G. H. (2010). Measures and evaluation for environment watershed plans using a novel hybrid MCDM model. *Expert systems with applications*, 37(2), 926-938.
- Yüksel, İ., & Dağdeviren, M. (2010). Using the fuzzy analytic network process (ANP) for Balanced Scorecard (BSC): A case study for a manufacturing firm. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1270-1278.
- Ekmekçioğlu M, Kaya T, Kahraman C (2010) Fuzzy multicriteria disposal method and site selection for municipal solid waste. *Waste Management*, 30, 1729–1736

Anexo 1.6 Conclusiones del Anexo 1

En este capítulo se analiza la evolución del más conocido de los métodos de la denominada Decisión Multicriterio Discreta, el AHP de Saaty. A lo largo del trabajo se identifican diferentes motivos de controversia y se encuentra que algunos pueden

considerarse como referidos a supuestos periféricos o menores, en tanto que otros atentan contra supuestos fundamentales de la modelización multicriterio discreta.

En definitiva, a los efectos de la presente Tesis, surgen algunas cuestiones fundamentales. Por una parte el AHP es naturalmente laborioso, lo cual complica la aplicación con un grupo de trabajo. Claro que este esfuerzo adicional resulta razonable si permite obtener información muy confiable sobre las preferencias y posturas de los integrantes.

Pero el AHP no ofrece esa seguridad, antes bien, es virtualmente inevitable que los juicios se vean distorsionados. Esto es natural, la estrategia de comparaciones pareadas y la escala utilizada, entran inevitablemente en colisión en este aspecto.

Por la otra, el método no resguarda de algunos inconvenientes típicos y desagradables en la DMD. Resalta en este aspecto la reversión de rangos, también inevitable dado que en definitiva utiliza Ponderación Lineal en el momento de agregar. Por otro lado, cae en el problema bien señalado por el artículo de Bana e Costa y Vansnick (2001), dado que no conserva tampoco la intensidad de las relaciones. Por el otro lado, utilizar el AHP, en la realidad del año 2003, cuando se realiza este análisis, hacía posible que la publicación posterior de los trabajos fuera dificultosa, dado que el método era discutido.

En resumen, el método es laborioso pero no brinda buenos resultados. Además genera resistencias y controversias. Dos motivos fuertes para que en el marco de esta Tesis se decidiera cambiar el rumbo y no continuar el trabajo a partir del método de Saaty. Visto en perspectiva fue una excelente decisión, porque esa prescindencia de un método particular hace que los Procesos DRV posean una flexibilidad, que no tendrían si se hubiera conservado la dirección original.

Anexo 2. Series aleatorias utilizadas para estudiar la Distribución de Vi

Nro	Prod 1	Prod 2	Prod 3	Prod 4	Prod 5	Prod 6
1	0,1165	0,2448	0,2059	0,2557	0,2811	0,2617
2	0,2835	0,2372	0,2620	0,2181	0,2492	0,3036
3	0,2028	0,2091	0,1369	0,2660	0,2284	0,2568
4	0,2432	0,1526	0,2697	0,2391	0,2747	0,2230
5	0,2979	0,1962	0,2911	0,1924	0,3521	0,1928
6	0,1886	0,2297	0,2790	0,3142	0,2032	0,2911
7	0,2594	0,3286	0,2928	0,2555	0,2601	0,3090
8	0,2190	0,2782	0,2845	0,2501	0,3001	0,2119
9	0,2222	0,2535	0,2471	0,2505	0,2433	0,2089
10	0,1356	0,1695	0,2625	0,2188	0,2688	0,2180
11	0,2301	0,2643	0,1487	0,3019	0,2347	0,3926
12	0,1717	0,3021	0,2301	0,1659	0,2721	0,1616
13	0,2844	0,3831	0,2218	0,2840	0,3187	0,1705
14	0,2721	0,1951	0,2510	0,1887	0,2851	0,3494
15	0,1821	0,3513	0,1855	0,1939	0,2682	0,2909
16	0,1158	0,2749	0,2654	0,1894	0,2786	0,1745
17	0,2088	0,1828	0,2350	0,2014	0,3003	0,2297
18	0,2741	0,2685	0,1644	0,2026	0,1475	0,2102
19	0,2840	0,2705	0,2316	0,2555	0,2380	0,2358
20	0,3169	0,2262	0,2826	0,2840	0,2186	0,2866
21	0,2009	0,2901	0,2519	0,2603	0,1984	0,2704
22	0,2802	0,2931	0,3074	0,2208	0,1907	0,2392
23	0,2258	0,2848	0,3085	0,1999	0,2264	0,2157
24	0,2336	0,2283	0,2937	0,2851	0,3781	0,2677
25	0,2274	0,2482	0,3125	0,2243	0,3428	0,3100
26	0,1569	0,3254	0,2094	0,3046	0,2065	0,1676
27	0,2741	0,1411	0,3097	0,3654	0,1451	0,2535
28	0,2801	0,2742	0,1805	0,2030	0,2179	0,2965
29	0,4035	0,1893	0,1892	0,2315	0,2368	0,2578
30	0,3048	0,2362	0,1828	0,2021	0,2885	0,3154
31	0,1563	0,3219	0,2514	0,2005	0,1918	0,2582
32	0,3204	0,1983	0,2281	0,3186	0,2302	0,1832
33	0,2317	0,1728	0,2547	0,2920	0,3563	0,3674
34	0,2690	0,2642	0,2823	0,1644	0,3412	0,2393
35	0,2762	0,3048	0,2093	0,3624	0,2302	0,2283

Continúa Anexo 2: Series aleatorias utilizadas para estudiar la Distribución de Vi

Nro	Prod 1	Prod 2	Prod 3	Prod 4	Prod 5	Prod 6
36	0,2158	0,2662	0,2188	0,1993	0,1513	0,3442
37	0,1659	0,3060	0,2418	0,2622	0,1655	0,2700
38	0,2603	0,1496	0,3378	0,3129	0,2601	0,2973
39	0,2284	0,2362	0,1985	0,4212	0,2698	0,1603
40	0,4050	0,1699	0,2586	0,2392	0,2925	0,2001
41	0,2873	0,2153	0,3021	0,1332	0,1540	0,4260
42	0,1809	0,2894	0,1954	0,3772	0,3641	0,2824
43	0,2652	0,2844	0,2880	0,1999	0,1032	0,3643
44	0,2102	0,3220	0,2128	0,2692	0,2123	0,2219
45	0,3657	0,2627	0,2102	0,1539	0,2532	0,2213
46	0,3205	0,2385	0,2161	0,2635	0,3443	0,2177
47	0,4517	0,2501	0,3023	0,2097	0,3457	0,2780
48	0,3400	0,2525	0,2424	0,1585	0,2147	0,2702
49	0,2710	0,2481	0,2264	0,3188	0,3276	0,2943
50	0,2245	0,2499	0,4228	0,2053	0,2935	0,1611
51	0,2041	0,1815	0,2422	0,3369	0,1816	0,3102
52	0,2645	0,3219	0,2373	0,1634	0,1776	0,0978
53	0,2355	0,2613	0,2947	0,2710	0,2417	0,3041
54	0,2248	0,2470	0,1776	0,2840	0,1316	0,3247
55	0,2547	0,2403	0,3498	0,2823	0,2266	0,2978
56	0,2589	0,2347	0,2354	0,2501	0,2211	0,2464
57	0,1879	0,2263	0,2129	0,2404	0,3106	0,1802
58	0,2749	0,2710	0,2010	0,2501	0,1899	0,1996
59	0,1866	0,2089	0,2018	0,1979	0,3088	0,2269
60	0,2150	0,1707	0,1534	0,2675	0,3118	0,2012
61	0,1981	0,3041	0,2651	0,2054	0,2799	0,4061
62	0,2866	0,2267	0,2570	0,2891	0,2171	0,1990
63	0,2643	0,2896	0,3222	0,2696	0,3205	0,3337
64	0,2512	0,1896	0,3306	0,3362	0,4001	0,2431
65	0,3012	0,3410	0,2074	0,2663	0,2455	0,3356
66	0,1641	0,2369	0,1506	0,1990	0,1845	0,3158
67	0,2645	0,2175	0,2799	0,2430	0,2134	0,1329
68	0,2730	0,2001	0,2539	0,2366	0,1996	0,2343
69	0,2676	0,2945	0,2196	0,2356	0,2008	0,2368
70	0,2152	0,2137	0,1797	0,2707	0,2930	0,2613

Continúa Anexo 2: Series aleatorias utilizadas para estudiar la Distribución de Vi

Nro	Prod 1	Prod 2	Prod 3	Prod 4	Prod 5	Prod 6
71	0,2707	0,3775	0,2565	0,3323	0,3085	0,3291
72	0,2066	0,2505	0,1983	0,2204	0,3697	0,2859
73	0,2101	0,2834	0,2212	0,1620	0,2503	0,2638
74	0,3288	0,3270	0,3225	0,2502	0,2745	0,3445
75	0,2910	0,2884	0,1353	0,2670	0,1293	0,1903
76	0,2645	0,2126	0,2424	0,3257	0,3509	0,2194
77	0,2171	0,2694	0,2297	0,2847	0,2394	0,2276
78	0,2022	0,2429	0,2315	0,2064	0,2608	0,2505
79	0,2243	0,1484	0,1476	0,2205	0,1965	0,2657
80	0,3081	0,3087	0,2525	0,2514	0,3526	0,3011
81	0,1732	0,3525	0,2820	0,3126	0,2342	0,2028
82	0,2532	0,2250	0,2150	0,3032	0,1229	0,2657
83	0,2980	0,3217	0,2521	0,2378	0,2318	0,2088
84	0,2913	0,3084	0,2815	0,2476	0,3189	0,1981
85	0,3189	0,3014	0,2732	0,2735	0,2568	0,1971
86	0,3011	0,1731	0,3305	0,2415	0,1429	0,2991
87	0,3423	0,2577	0,3750	0,2153	0,1598	0,1848
88	0,3888	0,2139	0,3151	0,2109	0,2848	0,1676
89	0,2487	0,2621	0,1644	0,1641	0,1511	0,2843
90	0,3425	0,3091	0,2245	0,1193	0,2224	0,2751
91	0,2262	0,2126	0,2437	0,3157	0,3129	0,2420
92	0,2561	0,2704	0,2357	0,2388	0,2486	0,2883
93	0,1648	0,3893	0,1767	0,2841	0,2220	0,2452
94	0,1212	0,2102	0,2708	0,2771	0,2248	0,3102
95	0,3053	0,2755	0,1748	0,1543	0,2740	0,2042
96	0,1876	0,2176	0,1689	0,2132	0,3126	0,2130
97	0,1502	0,3464	0,2191	0,3565	0,2928	0,2276
98	0,2460	0,2199	0,2188	0,1792	0,3031	0,1993
99	0,2209	0,2418	0,2188	0,2396	0,2335	0,1940
100	0,2618	0,1815	0,3062	0,2438	0,1638	0,2479

Continúa Anexo 2: Series aleatorias utilizadas para estudiar la Distribución de Vi

Nro	Prod 7	Prod 8	Prod 9	Prod 10	Prod 11	Prod 12	Suma
1	0,0920	0,1074	0,1189	0,0536	0,0905	0,0543	0,5167
2	0,1380	0,0729	0,1121	0,1163	0,1201	0,1731	0,7325
3	0,0884	0,1227	0,0898	0,1219	0,1457	0,0635	0,6319
4	0,0863	0,0799	0,0442	0,1259	0,2045	0,0990	0,6398
5	0,1107	0,1356	0,0894	0,0940	0,0869	0,0789	0,5955
6	0,0843	0,0640	0,0708	0,0856	0,1327	0,1356	0,5731
7	0,0689	0,0935	0,0739	0,0527	0,1238	0,0905	0,5033
8	0,0661	0,1071	0,1231	0,0593	0,0576	0,0627	0,4760
9	0,1112	0,1501	0,0591	0,0950	0,1768	0,0883	0,6805
10	0,0418	0,0704	0,1675	0,0489	0,1034	0,0356	0,4675
11	0,1057	0,1295	0,0654	0,1530	0,0610	0,1264	0,6410
12	0,0509	0,1419	0,1026	0,0868	0,1401	0,0956	0,6179
13	0,0800	0,0770	0,0962	0,1384	0,0395	0,0899	0,5210
14	0,0868	0,0666	0,0811	0,0479	0,0507	0,0839	0,4169
15	0,1248	0,0669	0,0258	0,1232	0,0894	0,1406	0,5706
16	0,1206	0,1158	0,0710	0,0760	0,1073	0,1627	0,6534
17	0,0761	0,1421	0,1187	0,0988	0,0888	0,0623	0,5868
18	0,0709	0,1592	0,1277	0,0579	0,0621	0,0633	0,5412
19	0,1004	0,1315	0,1221	0,0837	0,1416	0,1157	0,6951
20	0,1006	0,0436	0,0723	0,1311	0,0566	0,1250	0,5291
21	0,1111	0,0796	0,0688	0,1031	0,1167	0,1607	0,6400
22	0,0904	0,1210	0,1525	0,0763	0,0817	0,1464	0,6684
23	0,0592	0,0849	0,1081	0,0939	0,0751	0,0598	0,4810
24	0,0944	0,1220	0,0887	0,1673	0,0343	0,0934	0,6000
25	0,1280	0,1155	0,0914	0,1243	0,0680	0,0085	0,5357
26	0,1164	0,1504	0,1061	0,0572	0,0856	0,0990	0,6147
27	0,1032	0,0531	0,1593	0,0449	0,1798	0,0975	0,6378
28	0,0882	0,0957	0,1067	0,0677	0,1501	0,0799	0,5883
29	0,0385	0,0787	0,1062	0,0647	0,0860	0,0839	0,4580
30	0,1083	0,0411	0,0854	0,0525	0,0558	0,1136	0,4568
31	0,0791	0,1231	0,0847	0,0758	0,1374	0,1422	0,6422
32	0,0815	0,1044	0,1389	0,1161	0,1050	0,1268	0,6726
33	0,0763	0,0657	0,0790	0,1525	0,0914	0,0850	0,5499
34	0,0771	0,1687	0,1022	0,1023	0,1099	0,0864	0,6466
35	0,0684	0,0469	0,0383	0,0549	0,0598	0,0626	0,3310

Continúa Anexo 2: Series aleatorias utilizadas para estudiar la Distribución de Vi

Nro	Prod 7	Prod 8	Prod 9	Prod 10	Prod 11	Prod 12	Suma
36	0,0757	0,1052	0,1400	0,1422	0,0932	0,1551	0,7114
37	0,0703	0,1557	0,1131	0,1433	0,0669	0,0905	0,6399
38	0,1411	0,1011	0,1186	0,1217	0,0701	0,1129	0,6655
39	0,1384	0,0846	0,1358	0,1336	0,1290	0,1111	0,7325
40	0,0753	0,1858	0,1432	0,0967	0,1535	0,0520	0,7065
41	0,1265	0,0863	0,0740	0,0607	0,0793	0,1772	0,6040
42	0,0520	0,1124	0,0447	0,1035	0,0963	0,1132	0,5221
43	0,0414	0,1195	0,0952	0,0770	0,0619	0,0739	0,4690
44	0,0693	0,0545	0,0998	0,0550	0,1075	0,1349	0,5210
45	0,0614	0,1999	0,0945	0,0704	0,1156	0,0986	0,6404
46	0,0891	0,0823	0,0586	0,1014	0,1031	0,0588	0,4934
47	0,1508	0,0828	0,1146	0,1075	0,0891	0,0856	0,6303
48	0,0772	0,1098	0,0676	0,1235	0,0794	0,1453	0,6027
49	0,1452	0,0626	0,0577	0,1207	0,0891	0,0967	0,5720
50	0,0920	0,1032	0,0827	0,1067	0,1089	0,1008	0,5943
51	0,1365	0,0996	0,0736	0,1393	0,0757	0,1315	0,6561
52	0,1031	0,1246	0,0592	0,1480	0,0996	0,1289	0,6634
53	0,1921	0,1136	0,1221	0,0814	0,0625	0,0787	0,6504
54	0,1251	0,1440	0,0444	0,1338	0,0865	0,1382	0,6720
55	0,0881	0,0720	0,1473	0,0983	0,0667	0,1240	0,5964
56	0,0845	0,1637	0,1037	0,2069	0,1255	0,0969	0,7812
57	0,1220	0,0978	0,0507	0,0358	0,1543	0,1290	0,5896
58	0,0866	0,0887	0,1321	0,0911	0,0617	0,1029	0,5630
59	0,1543	0,0275	0,1463	0,1207	0,1381	0,1828	0,7697
60	0,0856	0,1228	0,0740	0,1356	0,1017	0,0845	0,6044
61	0,1110	0,0559	0,1473	0,0996	0,0809	0,0467	0,5415
62	0,0940	0,0745	0,0932	0,1160	0,0967	0,0923	0,5667
63	0,1572	0,0845	0,0702	0,0712	0,1413	0,1248	0,6491
64	0,0553	0,1001	0,1536	0,1029	0,1351	0,0561	0,6031
65	0,0531	0,0287	0,1113	0,1014	0,1572	0,0683	0,5200
66	0,1391	0,1115	0,1004	0,1208	0,1190	0,0612	0,6520
67	0,1260	0,1013	0,1097	0,0836	0,0684	0,1664	0,6553
68	0,1174	0,1377	0,1300	0,0868	0,1197	0,0471	0,6386
69	0,1498	0,0398	0,0501	0,1304	0,1862	0,0747	0,6310
70	0,0623	0,0836	0,0620	0,0844	0,1361	0,0739	0,5023

Continúa Anexo 3: Series aleatorias utilizadas para estudiar la Distribución de Vi

Nro	Prod 7	Prod 8	Prod 9	Prod 10	Prod 11	Prod 12	Suma
71	0,1039	0,1708	0,1242	0,0516	0,0979	0,0889	0,6374
72	0,1387	0,0896	0,0819	0,0676	0,0841	0,0700	0,5319
73	0,1050	0,0950	0,0926	0,1478	0,1229	0,0575	0,6208
74	0,0751	0,1152	0,0593	0,1178	0,1288	0,0954	0,5916
75	0,1001	0,0530	0,1221	0,0388	0,0987	0,0661	0,4787
76	0,1349	0,0875	0,1087	0,1251	0,0576	0,0287	0,5425
77	0,0443	0,0988	0,0874	0,1462	0,1185	0,1086	0,6037
78	0,1204	0,0796	0,0431	0,0670	0,0874	0,1775	0,5750
79	0,1137	0,1260	0,0693	0,0879	0,0857	0,0716	0,5542
80	0,0696	0,0960	0,1227	0,1462	0,1055	0,0829	0,6229
81	0,1093	0,0759	0,0418	0,1007	0,1352	0,0506	0,5136
82	0,0635	0,1173	0,1474	0,0929	0,1040	0,0941	0,6193
83	0,1351	0,1502	0,1208	0,1356	0,0975	0,0896	0,7288
84	0,0462	0,0824	0,1047	0,0837	0,1272	0,0671	0,5113
85	0,1254	0,0819	0,0892	0,1213	0,1231	0,0715	0,6125
86	0,0695	0,0769	0,1120	0,0734	0,1165	0,0999	0,5481
87	0,1029	0,0615	0,1182	0,0418	0,1006	0,0893	0,5142
88	0,1000	0,0481	0,1355	0,1155	0,0744	0,0489	0,5223
89	0,1528	0,1627	0,0771	0,1417	0,1820	0,0804	0,7967
90	0,0894	0,0772	0,0717	0,0614	0,1961	0,0729	0,5686
91	0,0862	0,1161	0,0943	0,0840	0,1150	0,1018	0,5974
92	0,1421	0,1155	0,0957	0,1071	0,0830	0,1174	0,6610
93	0,1008	0,0777	0,0534	0,1363	0,1911	0,1278	0,6871
94	0,0923	0,0618	0,0746	0,0898	0,0780	0,0779	0,4744
95	0,1147	0,0559	0,1789	0,1186	0,0953	0,1054	0,6686
96	0,0974	0,0847	0,1259	0,1275	0,0739	0,0798	0,5892
97	0,1034	0,1043	0,0723	0,1040	0,0831	0,1514	0,6185
98	0,1607	0,0953	0,0748	0,0836	0,1100	0,0675	0,5919
99	0,0779	0,1142	0,1150	0,1417	0,0819	0,1095	0,6402
100	0,0998	0,1413	0,0908	0,1193	0,0988	0,0961	0,6462