

TESIS DOCTORAL

AÑO 2023

**PROPUESTA DE ABORDAJE INTEGRAL EN LA
GESTIÓN DE PROYECTOS COMPLEJOS DE
INGENIERÍA.**

**APLICACIÓN A LAS MISIONES DE PAZ DE LA
ONU.**

Juan Manuel Álvarez Espada

**PROGRAMA DE DOCTORADO
EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES.**

Directora: Dra. Dña. Cristina González Gaya

Director: Dr. D. José Luis Fuentes Bargues

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis directores de tesis, Cristina González y José Luis Fuentes, el tiempo que me han dedicado y la paciencia que han tenido para la consecución de este trabajo de investigación. Sin ellos no hubiera sido posible.

Agradecer al profesor Francisco Sancho, el haberme hecho simple el conocimiento de la complejidad, al profesor Álvaro Jarillo por transmitirme su inmenso conocimiento sobre la ONU y las misiones de paz, al profesor Francisco Martín por sus explicaciones sobre la coevolución en un sistema no lineal y los algoritmos genéticos, al profesor Stefan Thurner y al *Complexity Science Hub* de Viena, por sus amables respuestas a mis dudas razonables sobre las multirredes de pequeño mundo, y el modelo Watts – Strogatz, y por último, al profesor David Hillson por hacerme ver que los riesgos complejos son también riesgos.

Gracias Antonia, por tu paciencia y tu ayuda. Gracias a mis amigos por sus ánimos.

Quiero, por último, dedicar este trabajo a mis padres. Se que estarán orgullosos de mí.

“Y en el caos no hay error... ¡eso me dijo el doctor!”

(Radio futura, A cara o cruz).

“When written in Chinese the word crisis, is composed of two characters – one represents danger, and the other represents opportunity”.

(John Fitzgerald Kennedy).

“I think the next [21st] century will be the century of complexity. We have already discovered the basic laws that govern matter and understand all the normal situations. We don't know how the laws fit together, and what happens under extreme conditions. But I expect we will find a complete unified theory sometime this century. There is no limit to the complexity that we can build using those basic laws”.

(Stephen Hawking).

RESUMEN

Tal como se indica en las diferentes guías de PMI, un proyecto es un esfuerzo temporal para conseguir un resultado único. Una operación de mantenimiento de la paz (OMP) de la ONU es, de igual manera, un proyecto y obtiene un resultado único, la paz. Además, en un mundo donde el ambiente VUCA (Volatilidad, Incertidumbre, Complejidad y Ambigüedad) es el fiel reflejo de un aumento de la variabilidad de la gestión, y también de la toma de decisiones, tanto en empresas como en países, se hace necesario desde un marco estratégico, poder abordar como hacer frente a esta situación de incertidumbre.

Un elemento transcendental a la hora de gestionar un proyecto es adoptar el enfoque adecuado para tener éxito en conseguir ese resultado único. Para ello, se debe integrar en el ámbito de decisión del tipo de enfoque, la complejidad y el riesgo.

La hipótesis central de este trabajo de investigación es relacionar un enfoque elegido para gestionar un proyecto, con el éxito conseguido, a través de las herramientas que se encuentran en la gestión de proyectos y aplicarlos, en este caso, a una OMP para una mejor gestión, incluyendo la complejidad y los riesgos. Se confronta dicha herramienta con la necesidad de confirmar que la aplicación de un determinado enfoque puede determinar el éxito o no de una misión de paz. Se realiza una revisión de los conceptos de complejidad, riesgo y éxito de un proyecto.

Se aplican los resultados teóricos obtenidos a tres misiones de paz de la ONU, UNMISS en la República de Sudán del Sur, MONUSCO en la República Democrática del Congo, y MINUSTAH en la República de Haití.

Palabras Clave:

Gestión de proyectos, Complejidad, Gestión de riesgos, Operaciones de mantenimiento de la paz, UNMISS, MONUSCO, MINUSTAH.

ABSTRACT

As stated in the different PMI guides (PMBok), a project is a temporary effort to achieve a unique result. A UN peacekeeping operation (PKO) is also a project and obtains a unique result, peace. In addition, in a world where the VUCA environment (Volatility, Uncertainty, Complexity and Ambiguity) is a faithful reflection of an increase in management variability, and in decision-making, both in companies and in countries, it is necessary from a strategic framework, to be able to address how to deal with this situation of uncertainty.

A transcendental element when managing a project is adopting the right approach to succeed in achieving that unique result. To do this, the type of approach, complexity and risk must be integrated into the decision area.

The central hypothesis of this research work is to relate a chosen approach to manage a project, with the success achieved, through the tools found in project management and apply them, in this case, to a PMO for better management, including complexity and risks. Said tool is confronted with the need to confirm that the application of a certain approach can determine the success or not of a peace mission. A review of the concepts of complexity, risk and success of a project is carried out. The theoretical results obtained are applied to three UN peacekeeping missions, UNMISS in the Republic of South Sudan, MONUSCO in the Democratic Republic of Congo, and MINUSTAH in the Republic of Haiti.

Keywords:

Project management, Complexity, Risk management, Peacekeeping operations, UNMISS, MONUSCO, MINUSTAH.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Antecedentes teóricos.....	1
1.2.	Objetivos.....	3
1.3.	Estructura de la tesis doctoral.....	5
2.	GESTIÓN DE PROYECTOS PREDICTIVOS.....	8
2.1.	Conceptos de gestión de proyectos.....	8
2.2.	Proyectos predictivos.....	10
2.3.	Metodologías para dirigir un proyecto predictivo.....	11
2.3.1.	PMBok / PMI.....	11
2.3.2.	PRINCE2.....	14
2.3.3.	PM ²	16
2.3.4.	ISO21500.....	18
2.3.5.	Características de las metodologías en proyectos convencionales.....	18
3.	GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS CONVENCIONALES.....	20
3.1.	Incertidumbre y riesgo.....	20
3.2.	Fuentes y categorías del riesgo.....	21
3.3.	Componentes del riesgo.....	23
3.4.	Herramientas para la gestión del riesgo.....	24
3.5.	Metodologías de gestión de riesgos.....	25
3.5.1.	PMBok / PMI.....	26
3.5.2.	PRINCE2.....	27
3.5.3.	PM2.....	28
3.5.4.	UNE-ISO 31000:2018 y UNE 31010:2011.....	28
3.5.5.	Características de metodologías de riesgos convencionales.....	29
4.	SISTEMAS COMPLEJOS.....	31
4.1.	Conceptos básicos de complejidad.....	31
4.2.	Probabilidad y aleatoriedad en sistemas complejos.....	39
4.2.1.	Axiomas de Kolgomorov. Teorema de Bayes.....	40
4.2.2.	Teorema del límite central.....	41
4.2.3.	Funciones de distribución de cola gruesa.....	43
4.2.4.	Procesos estocásticos.....	44
4.3.	Escalamiento y criticidad.....	45

4.3.1.	Escalado.....	46
4.3.2.	Criticidad.....	47
4.3.3.	Criticidad autoorganizada.....	49
4.3.4.	Procesos multiplicativos.....	50
4.3.5.	Procesos preferenciales.....	51
4.3.6.	Procesos de reducción del espacio muestral.....	51
4.4.	Redes e interrelaciones.....	52
4.4.1.	Conceptos básicos de redes. Grafos.....	53
4.4.2.	Redes aleatorias.....	56
4.4.3.	Comunidades.....	59
4.4.4.	Redes dinámicas.....	61
4.4.5.	Redes generalizadas.....	63
4.4.6.	Riesgo sistémico.....	64
4.4.7.	Corolario sobre redes.....	65
4.5.	Coevolución.....	67
4.5.1.	Algoritmo de la evolución.....	68
4.5.2.	Aptitud en la evolución.....	74
4.5.3.	Modelos de evolución lineal y no lineal.....	77
4.5.4.	Corolario sobre coevolución.....	79
4.6.	Entropía y equilibrio de sistemas complejos.....	80
4.6.1.	Entropía y sistemas convencionales.....	80
4.6.2.	Entropía para sistemas complejos.....	83
4.6.3.	Principio de máxima entropía.....	84
4.6.4.	Corolario sobre entropía.....	85
5.	GESTIÓN DE PROYECTOS COMPLEJOS.....	86
5.1.	Proyectos con alta incertidumbre.....	86
5.1.1.	Proyectos con ciclo de vida iterativo.....	86
5.1.2.	Proyectos con ciclo de vida incremental.....	87
5.1.3.	Proyectos con ciclo de vida ágil.....	87
5.1.4.	Proyectos con ciclo de vida híbrido.....	91
5.2.	Adaptación y resiliencia.....	94
5.3.	El éxito de un proyecto.....	96
5.4.	Herramientas para determinar proyectos complejos.....	99

5.4.1.	Contingencia y sistemas complejos.....	101
5.4.2.	Análisis de redes sociales y sistemas complejos.	103
6.	GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS COMPLEJOS.....	118
6.1.	Acercamiento a riesgos en proyectos complejos.	118
6.2.	Identificación de riesgos en proyectos complejos.	120
6.2.1.	Identificación dinámica de riesgos.....	121
6.2.2.	Riesgos compuestos y en cascada. Interrelaciones.	124
6.3.	Evaluación dinámica de riesgos.....	126
6.3.1.	Análisis por árbol de fallos. Limitaciones.....	126
6.3.2.	Análisis de riesgos complejos por métodos estocásticos.....	128
6.4.	Gestión de riesgos corporativos.....	131
6.5.	Modelo Bow-Tie para riesgos complejos.....	133
6.6.	Herramienta para establecer el riesgo en un proyecto complejo.	135
7.	HERRAMIENTA ENFOQUE – COMPLEJIDAD – RIESGO.	136
7.1.	Herramienta de idoneidad de enfoque.	136
7.2.	Introducción de la complejidad en la herramienta de idoneidad de enfoque.	138
7.3.	Introducción del riesgo en la herramienta de idoneidad de enfoque.....	140
7.4.	Estructura final de la herramienta.....	141
8.	OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE LA PAZ DE LA ONU.....	152
8.1.	Desarrollo histórico de las misiones de paz de la ONU.	152
8.2.	Características de las operaciones de mantenimiento de la paz.	157
8.2.1.	Sistema de paz y seguridad de las Naciones Unidas.	157
8.2.2.	Alerta temprana y los conflictos sociales persistentes de Azar.....	161
8.2.3.	Enfoque integrado en las misiones de paz.....	163
8.2.4.	Componentes civiles y militares de las operaciones de paz.	164
8.2.5.	Inicio, implantación y despliegue de las misiones de paz.	165
9.	ÉXITO EN UNA MISIÓN DE PAZ.....	169
9.1.	Enfoque y complejidad en una misión de paz.....	169
9.1.1.	Complejidad y conflicto.....	170
9.1.2.	Atractores extraños en los conflictos complejos.....	171
9.1.3.	Interrelaciones y complejidad.	174
9.1.4.	Construir la paz en un conflicto complejo.....	174
9.2.	Medición de éxito de una misión de paz.	176

9.2.1.	Principios de una misión de paz.....	178
9.2.2.	Aplicar un mandato a una misión de paz.	179
9.2.3.	Tratados de paz.....	180
9.2.4.	Criterio de éxito en una misión de paz.	181
9.2.5.	Consideración de nuevos factores de éxito.....	187
10.	CASOS ESTUDIO	189
10.1.	Sudán del Sur.....	189
10.1.1.	Antecedentes.....	189
10.1.2.	Enfoque en UNMISS.	190
10.1.3.	Análisis de éxito en UNMISS.....	198
10.2.	República Democrática del Congo.....	202
10.2.1.	Antecedentes.....	202
10.2.2.	Enfoque en MONUSCO.....	204
10.2.3.	Análisis de éxito en MONUSCO.....	211
10.3.	Haití	217
10.3.1.	Antecedentes.....	217
10.3.2.	Enfoque en MINUSTAH.....	219
10.3.3.	Análisis de éxito en MINUSTAH.....	224
11.	CONCLUSIONES.	230
12.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	234
	BIBLIOGRAFÍA	235

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 2-1. Ejemplo de proyecto predictivo (Fuente: PMI).....	10
Imagen 2-2. De izq. a dcha. EDAR Marismas del Odiel (Huelva, ESP.), EDAR El Cuervo (Sevilla, ESP.) (Fuente: Autor).....	11
Imagen 2-3. Interesados/coste de cambios durante el ciclo de vida del proyecto. (Fuente: PMI).....	13
Imagen 2-4. Curva de aprendizaje. (Fuente: PMI).....	14
Imagen 4-1. Sistema complejo como red multicapa (Fuente: Thurner et al)	35
Imagen 4-2. Resultado de la convolución de una distribución finita (Fuente: Thurner et al)	42
Imagen 4-3. Tres familias de distribuciones y su transformación en lineales (Fuente: Thurner et al).....	43
Imagen 4-4. En (a) se representa la red con la probabilidad P y en (b) el conglomerado que se forma en función de Cmax y P (Fuente: Thurner et al)	49
Imagen 4-5. Criticidad autoorganizada (Fuente: Christensen et al).....	50
Imagen 4-6. Red dirigida compuesta por SCC (Fuente: Dobson et al).....	55
Imagen 4-7. Centralidad de cercanía y de intermediación (Fuente: Dobson et al).....	56
Imagen 4-8. Red ER con 100 nodos y probabilidad de 0.03 (Fuente: Babat)	57
Imagen 4-9. Redes aleatorias de pequeño mundo (Fuente: Watts-Strogatz).....	59
Imagen 4-10. Red comunitaria (Fuente: Fortunato).....	60
Imagen 4-11. Red generalizada con dos niveles e interacción entre ambas (Fuente: Boccaletti et al).....	63
Imagen 4-12. Evoluciones en sistemas complejos. (Fuente: Thurner et al)	70
Imagen 4-13. Paisajes de aptitud (Fuente: Wright).....	75
Imagen 4-14. Dinámica del modelo NK (Fuente: Wikipedia)	76
Imagen 5-1. Ciclo de vida predictivo con partes iterativas (Fuente: PMI).....	87
Imagen 5-2. Ciclo de vida incremental en un proyecto (Fuente: PMI).....	87
Imagen 5-3. Ciclo de vida ágil basado en iteración. (Fuente: PMI).	89
Imagen 5-4. Ciclo de vida ágil basado en flujo. (Fuente: PMI)	89
Imagen 5-5. Enfoque ágil básico (Fuente: SG).....	90
Imagen 5-6. Proyecto con ciclo de vida ágil disciplinada (Fuente: SG).	90
Imagen 5-7. Ciclo de vida híbrido. Algunos ejemplos (Fuente: PMI)	93
Imagen 5-8. Proceso de adaptación en un proyecto. (Fuente: PMI)	95
Imagen 5-9. Matriz Stacey de complejidad (Fuente: Palacios).....	100
Imagen 5-10. Red contractual EDAR Marismas del Odiel (Fuente: Autor).....	110
Imagen 5-11. Red suministros EDAR Marismas del Odiel (Fuente: Autor).	111

Imagen 5-12. Red información EDAR Marismas del Odiel (Fuente: Autor).....	112
Imagen 5-13. Métricas nivel proyecto EDAR (Fuente: Autor).....	112
Imagen 5-14. Red de Petri de un proceso de suministro (Fuente: Lassen & Van der Aalst)....	115
Imagen 5-15. Variación del parámetro de coevolución g con N. (Fuente: Iñiguez y Barrio).....	117
Imagen 6-1. Representación del árbol de fallo de una estructura serie (Fuente: AENOR).	127
Imagen 6-2. Representación del árbol de fallo en paralelo (Fuente: AENOR).	127
Imagen 6-3. Modelo "Bow-Tie" (Fuente: Khakzad et al).	133
Imagen 6-4. Ejemplo de árbol de sucesos (Fuente: Bestratén Belloví).	134
Imagen 7-1. Tabla de introducción de datos en la herramienta para EDAR Marismas (Fuente: Autor).....	138
Imagen 7-2. Resultado en herramienta de idoneidad de enfoque para EDAR Marismas (Fuente: Autor).....	138
Imagen 7-3. Red de interesados del proyecto EDAR Marismas (Fuente: Autor).	143
Imagen 7-4. Red de información de interesados. Centralidad de grado (Fuente: Autor).	144
Imagen 7-5. Red de información de interesados. Centralidad de cercanía (Fuente: Autor)....	144
Imagen 7-6. Red de información de interesados. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor).	145
Imagen 7-7. Algunos parámetros de estructura de la red de información interesados (Fuente: Autor).....	145
Imagen 7-8. Número de componentes fuertemente conectados (Fuente: Autor).....	146
Imagen 7-9. Estructura de desglose de riesgos para un proyecto tipo (Fuente: PMI).....	147
Imagen 7-10. Red de riesgos no exhaustiva de EDAR Marismas (Fuente: Autor).....	147
Imagen 7-11. Tabla de riesgos no exhaustiva en la EDAR Marismas (Fuente: Autor).....	148
Imagen 7-12. Red de riesgos no exhaustiva. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor)..	149
Imagen 7-13. Algunos parámetros de estructura de la red de riesgos (Fuente Autor).	149
Imagen 7-14. Ejemplo de tabla de introducción de datos en la herramienta (Fuente: Autor)...	150
Imagen 7-15. Idoneidad de enfoque EDAR de Marismas (Fuente: Autor).	151
Imagen 8-1. Diferentes tipos de misiones (Fuente: ONU).	161
Imagen 8-2. Participación externa en las fases de operaciones de paz de la ONU (Fuente: ONU).....	161
Imagen 8-3. Composición de las misiones de mantenimiento de paz (Fuente: ONU).	167
Imagen 8-4. Autoridad, mando y control multidimensional en Operaciones de paz (Fuente: ONU).....	168
Imagen 8-5. Similitudes en el alcance de la influencia entre directores de proyectos y directores de misiones de paz (Fuentes: PMI, ONU).....	168
Imagen 9-1. Atractores en un conflicto complejo (Fuente: Willy et al).....	173

Imagen 10-1. Diagrama de idoneidad de enfoque de la misión UNMISS (Fuente: Autor).	191
Imagen 10-2. Tabla de interesados del conflicto en Sudán del Sur (Fuente: Autor).	191
Imagen 10-3. Red de interesados e interrelaciones de UNMISS (Fuente: Autor).	192
Imagen 10-4. Red de interesados de UNMISS. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor).	192
Imagen 10-5. Red de interesados de UNMISS. Nodos y enlaces (Fuente: Autor).	193
Imagen 10-6. Red de interesados de UNMISS. Componentes fuertemente conexos (Fuente: Autor).	193
Imagen 10-7. Tabla de principales riesgos de la misión UNMISS (Fuente: Autor).	194
Imagen 10-8. Red de riesgos de la misión UNMISS (Fuente: Autor).	195
Imagen 10-9. Red de riesgos de UNMISS. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor).	195
Imagen 10-10. Red de riesgos de UNMISS. Datos generales red (Fuente: Autor).	196
Imagen 10-11. Tabla de evaluación de idoneidad de la misión UNMISS (Fuente: Autor).	197
Imagen 10-12. Diagrama de idoneidad de enfoque modificada de la misión UNMISS (Fuente: Autor).	197
Imagen 10-13. Índice de gobernanza en Sudán del Sur (Fuente: Day et al.).	198
Imagen 10-14. Análisis de éxito de la misión UNMISS por estudio de dimensiones (Fuente: Autor).	201
Imagen 10-15. Relación de personal de la misión MONUC/MONUSCO respecto de la situación política de la RDC (Fuente: Novosseloff et al.).	204
Imagen 10-16. Diagrama de idoneidad de enfoque de la misión MONUSCO. (Fuente: Autor).	204
Imagen 10-17. Tabla con los principales interesados en el conflicto de RDC (Fuente: Autor).	205
Imagen 10-18. Red de interesados e interrelaciones de MONUSCO (Fuente: Autor).	206
Imagen 10-19. Red de interesados de MONUSCO. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor).	206
Imagen 10-20. Red de interesados de MONUSCO. Nodos y enlaces (Fuente: Autor).	207
Imagen 10-21. Red de interesados de MONUSCO. Componentes fuertemente conexos (Fuente: Autor).	207
Imagen 10-22. Tabla de riesgos de la misión MONUSCO (Fuente: Autor).	208
Imagen 10-23. Red de riesgos de la misión MONUSCO (Fuente: Autor).	209
Imagen 10-24. Red de riesgos de MONUSCO. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor).	209
Imagen 10-25. Red de riesgos de MONUSCO. Datos generales red (Fuente: Autor).	210
Imagen 10-26. Tabla de idoneidad de enfoque de la misión MONUSCO (realizada por autor).	210

Imagen 10-27. Diagrama de idoneidad de enfoque reformada de la misión MONUSCO. (Fuente: Autor).	211
Imagen 10-28. Número de muertos en la zona oriental de RDC (Fuente: ONU).	212
Imagen 10-29. Focos rebeldes en la zona oriental de la RDC y actuaciones de MONUC/MONUSCO (Fuente: ONU)	213
Imagen 10-30. Relación de la MONUC/MONUSCO con los interesados de la misión. (Fuente: ONU).....	215
Imagen 10-31. Análisis de éxito de la misión MONUSCO por estudio de dimensiones (Fuente: Autor).	217
Imagen 10-32. Despliegue de la misión MINUJUSTH (Fuente: ONU).	218
Imagen 10-33. Tabla con los principales interesados en el conflicto de Haití	219
Imagen 10-34. Red de interesados e interrelaciones de MINUSTAH (Fuente: Autor).	219
Imagen 10-35. Red de interesados de MINUSTAH. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor).	220
Imagen 10-36. Red de interesados de MINUSTAH. Nodos y enlaces (Fuente: Autor).	220
Imagen 10-37. Red de interesados de MINUSTAH. Componentes fuertemente conexos (Fuente: Autor).	220
Imagen 10-38. Tabla de riesgos de la misión MINUSTAH (Fuente: Autor).	221
Imagen 10-39. Red de riesgos de la misión MINUSTAH (Fuente: Autor).....	222
Imagen 10-40. Red de riesgos MINUSTAH. Centralidad de intermediación. (Fuente: Autor)..	222
Imagen 10-41. Tabla de idoneidad de enfoque de la misión MINUSTAH (Fuente: Autor).	223
Imagen 10-42. Diagrama de idoneidad de enfoque modificado de la misión MINUSTAH (Fuente: Autor).	224
Imagen 10-43. Tabla de éxito de la misión MINUSTAH en Haití (Fuente: Autor).....	229

LISTADO DE ACRÓNIMOS UTILIZADOS EN ESTA TESIS.

AAF	Análisis de árbol de fallos.
ADM	Responsable de la administración económica de un proyecto.
AE	Árbol de sucesos.
APRONUC	Autoridad provisional de las Naciones Unidas en Camboya.
AR	Árbol de riesgos.
CASCEFF	Modelling of dependencies and cascading effects for emergency management in crisis situations. FP-7 UE.
CCC	Modelo Coevolutivo, Combinatorio y Crítico.
CIA	Cross Impact Analysis.
CIPRNET	Critical Infrastructures Preparedness and Resilience Research Network. FP-7 UE.
CIRLG	Conferencia internacional sobre la región de los grandes lagos.
CPAS	Comprehensive Planning and Performance Assessment System. Organismo de la ONU.
CSP	Conflictos sociales persistentes
DA	Disciplined Agile.
DFS	Department of Field Support of Unites Nations
DO	Director de obra.
DOS	Department of operational support of United Nations.
DPKO	Departamento de operaciones de mantenimiento de la paz de las Naciones Unidas.
DPO	Departamento de Operaciones de Paz de las Naciones Unidas.
DPPA	Department of PeaceBuilding and Political affairs of United Nations
DSRSG	Deputy Special Representative of the Secretary General of United Nations
DyPASI	Procedimiento dinámico para identificación de escenarios atípicos.
ECyM(PN)	Extended Cyclomatic Metric (Petri Network).
EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales.
ER	Red Erdos - Rényi
ERM	Enterprise Risk Management.
FCM	Fuzzy Cognitive Maps.
FDLR	Fuerzas democráticas para la liberación de Ruanda. Fuerzas de oposición al gobierno de Ruanda. Formada por Hutus.
FINUL	Fuerza interina de las Naciones Unidas en el Líbano.
FORTRESS	Foresight Tools for Responding to Cascading Effects in a Crisis. FP-7 UE
FPNUL	Fuerza provisional de las Naciones Unidas para el Líbano.
FTA	Fault Tree Analysis
GANUPT	Misión de ayuda en el proceso de transición política de Namibia.

HAZID	Hazard Identification.
HIPPO	High-Level Panel on Peace Operations. Report.
IGAD	Intergovernmental Authority on Development. Organismo regional de 8 países del cuerno de África.
IPMA	International Project Management Association
ISM	Interpretive Structural Modeling
JO	Jefe de obra.
JPM	Jefe de Puesta en Marcha de un proyecto.
KPI	Key Performance Indicator
M23	Movimiento 23 de Marzo. Grupo rebelde que opera al este de RDC.
MINOPUH	Misión de policía civil de las Naciones Unidas en Haití.
MINUSCA	Misión multidimensional integrada de las Naciones Unidas para la Estabilización en la República Centroafricana.
MINUSTAH	Misión de estabilización de las Naciones Unidas en Haiti.
MONUC	Misión de organización de las Naciones Unidas en República Democrática del Congo.
MONUSCO	Misión de estabilización de las Naciones Unidas en la República Democrática del Congo.
MOR	Management Of Risk.
NK	Modelo NK, donde N es la longitud de la cadena y K es el nivel de rugosidad del paisaje.
NKCS	Modelo. Ampliación del modelo NK. S es el número de especies en simbiosis y C el número de rasgos de cada especie S
NN.UU.	Naciones Unidas.
NUPI	Instituto Noruego de Política Exterior.
OMP	Operación de mantenimiento de la paz.
ONU	Organización de las Naciones Unidas.
PKO	PeaceKeeping Operation.
PLS-SEM	Partial Least Squares - Structural Equation Modeling.
PM2	Project Management Methodology
PMBok	Project Management Book of Knowledge.
PMI	Project Management Institute, Inc.
PRINCE2	Project in controlled Environment. Ed. 2.
QIP	Quick-Impact Projects. Proyectos especiales de la ONU.
RBS	Risk Breakdown Structure
RDC	República Democrática del Congo.
SADC	Comunidad internacional de desarrollo de África Austral.
SAFe	Scaled Agile Framework.
SCC	Strongly Connected Components

SFDRR	Sendai Framework Disaster Risk Reduction.
SK	Modelo Shannon - Khinchin sobre entropía en la producción de la información.
SNA	Social Network Analysis.
SNOWBALL	Snowball effect. Specific cascading effect. FP-7 UE.
SPLM/A	Sudán People's Liberation Movement Army.
SSR	Sample Space Reduction.
STREST	Earthquakes, Tsunamis, Geotechnical effects, and floods Vulnerability. FP-7 UE
TAM	Technical Assessment Mission of United Nations
UA	Unión Africana.
UNAMID	Misión de asistencia de las Naciones Unidas a Darfur.
UNAMIL	Misión de las Naciones Unidas en Liberia.
UNAMIR	Misión de asistencia de las Naciones Unidas a Ruanda.
UNAMIS	Misión de asistencia de las Naciones Unidas a Sudán.
UNAMSIL	Misión de las Naciones Unidas en Sierra Leona.
UNAVEM II	Misión de asistencia de las Naciones Unidas en Angola.
UNEF	United Nations Emergency Forces.
UNGOMAP	Misión de buenos oficios en Afganistan y Pakistan de las Naciones Unidas.
UNIMOG	Misión de observación del conflicto Irak-Irán de las Naciones Unidas.
UNITAF	Unified Task Force of United Nations and United States in Somalia.
UNMIH	Misión de estabilización de las Naciones Unidas en Haití.
UNMIL	Misión de asistencia de las Naciones Unidas en Liberia.
UNMIS	Misión de asistencia de las Naciones Unidas en Sudán.
UNMISS	Misión de asistencia de Naciones Unidas en la República de Sudán del Sur.
UNOSOM I/II	Misión de asistencia de las Naciones Unidas a Somalia.
UNPROFOR	Fuerza de protección de las Naciones Unidas en Croacia y Bosnia.
UNSMIH	Misión de apoyo de las Naciones Unidas en Haití.
UNTMIH	Misión de transición de las Naciones Unidas en Haití.
VUCA	Volatilidad, Incertidumbre, Complejidad, Ambigüedad.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Antecedentes teóricos.

Muchas de las actividades que se realizan día a día obedecen a acciones repetitivas, como por ejemplo, coger un transporte público diariamente para ir al trabajo, realizar la cesta de la compra semanalmente, o ver una determinada película los fines de semana. No se necesitan muchos procesos, técnicas o herramientas para su realización, y normalmente aportan poco valor.

En el mundo de la ciencia, la técnica o la empresa, también ocurre lo mismo. Se realizan actividades repetitivas que aportan poco valor. Son acciones que, casi siempre, son llevadas a cabo con gran efectividad, y que sirven, en la mayoría de los casos, al objeto de mantener las estructuras de los departamentos de investigación, o proseguir con la continuidad de la empresa en marcha, o bien prestar servicios a clientes intermedios o finales. Es lo que se denominan *operaciones*.

En algunas ocasiones es preciso cambiar o crear nuevas operaciones, elaborar nuevos productos, o bien establecer protocolos distintos, porque se deban crear, mejorar o modificar procesos o servicios para transformar tecnologías, satisfacer ciertas solicitudes de interesados, o cumplir nuevos requisitos. En todos estos casos, se necesita aportar valor, y para ello, se requiere aplicar, de forma conjunta, metodologías y herramientas específicas para crear lo que a menudo resulta ser algo único o diferente. Es lo que se denomina proyecto.

Un proyecto es un esfuerzo temporal para lograr un único resultado. Esta definición también se debe aplicar a las Operaciones de Mantenimiento de la Paz (OMP o PKO en inglés), las cuales se abordará en este trabajo de investigación, como ejemplo de proyecto complejo.

La gestión de proyectos es el conjunto de metodologías donde se aplican el conocimiento, las habilidades y las técnicas necesarias para organizar y gestionar los recursos de modo que el trabajo de investigación requerido para la realización de este pueda ser completado en un período finito de tiempo, con los recursos asignados y con un coste prefijado (PMI, 2017).

Las Operaciones de Mantenimiento de la Paz de las Naciones Unidas también son proyectos. Su único fin es la paz, y esta se logrará gradualmente, utilizando recursos materiales y humanos de orden finito, en un tiempo limitado de actuación.

Las operaciones de paz previenen la aparición o reanudación de guerras civiles (Walter, 2002), extienden la duración de los acuerdos de paz (Fortna, 2008), contribuyen a poner fin a la violencia (Doyle & Sambanis, 2000), fortalecen la cooperación regional (Ruggeri et al., 2013) y dan asistencia en la reconstrucción posconflicto (Gilligan & Sergenti, 2008).

Por tanto, se analizan, las similitudes entre la gestión de proyectos y la gestión de las operaciones de paz, para inferir características comunes y de buenas prácticas que podrían mejorar la gestión de estas últimas. Una premisa central de este trabajo de investigación es determinar, si cabe,

cuál puede ser el mejor enfoque para acometer la gestión de una operación de mantenimiento de la paz, teniendo en cuenta el riesgo como factor principal, y cuáles pueden ser las posibilidades de éxito, para así contribuir a mejorar la evaluación y seguimiento de las misiones de paz.

El aspecto más importante para iniciar un proyecto es el contrato, en el que se definen las metas, y el alcance, en función de los requisitos específicos para crear las metas, los recursos que se deben implementar y los parámetros de tiempo y costo, que definen la finalización con éxito de un este. Una operación de mantenimiento de la paz se inicia con el mandato, donde se incluyen los objetivos a alcanzar, las restricciones a cumplir, y los recursos materiales y humanos con los que contará y su finalidad es la consecución de la paz.

Cuatro elementos se van a revisar en este trabajo de investigación. El primer elemento en la gestión de proyectos será el enfoque de gestión para llevar a cabo este y completarlo hasta el final. Hay varios tipos de enfoques. El enfoque predictivo se utiliza cuando se tiene un alto nivel de certidumbre durante la ejecución del proyecto, por ejemplo, la construcción de una estación de ferrocarril; el enfoque adaptativo se utiliza cuando existe una gran incertidumbre, ya sea porque se desconocen los requisitos iniciales, o porque el desarrollo puede cambiar inesperadamente, por ejemplo, la elaboración de un medicamento.

La diferencia entre los enfoques predictivo y adaptativo no siempre es clara y exige determinarse mediante análisis de ciertos parámetros, además del binomio certidumbre/incertidumbre, pudiéndose llegar a situaciones en las que se puede combinar de diferente forma ambos enfoques en un determinado proyecto. Es lo que denomina enfoque híbrido.

En las misiones de paz, también pueden existir diferentes tipos de enfoque en su gestión. Como se explicará posteriormente, las misiones de paz denominadas “misiones de 1ª y de 2ª generación”, en los que los requisitos y objetivos de la tarea estaban bien definidos, establecer una interposición entre partes contendientes en una determinada zona en conflicto, el enfoque utilizado era eminentemente predictivo. Pero también existían y existen enfoques adaptativos, por ejemplo, en las denominadas “misiones de 3ª y 4ª generación” donde el conflicto suele ser, con carácter general, intraestatal.

En la mayoría de estos casos se combinan una variedad de requisitos y objetivos, incluidos la protección de civiles, la ayuda humanitaria, la acción contra quienes no quieren la paz, la celebración de elecciones y el establecimiento de un gobierno estable. Al igual que con los proyectos, las misiones de paz deben construir una gobernanza que requiera enfoques híbridos: predictiva al comienzo, cuando se debe proporcionar una zona segura con interposición o suministrar una ayuda necesaria, y luego migrar hacia opciones más adaptativas, cuando es necesario una gran coordinación entre componentes civil y militar o construir una gobernanza con la inclusión del mayor número de interesados.

El segundo elemento será la complejidad, que no la complicación. Un proyecto complejo es aquel que opera sobre sistemas complejos, con una alta interconexión, formando redes autoorganizadas, de las cuales pueden surgir factores nuevos e inesperados. Las OMP también son sistemas complejos, donde existes redes autoorganizativas y dinámicas a nivel local, regional o internacional, interactuando entre sí de manera dinámica y generando nuevos factores que pueden afectar a la misión de paz. Para ello se revisará los conceptos básicos de complejidad.

Un tercer elemento será el riesgo, siempre presente a lo largo de cualquier proyecto que se lleve a cabo y que además nunca desaparece. La gestión de riesgos permite garantizar la entrega del alcance establecido en los requerimientos, dentro de las restricciones que se deben cumplir en el proyecto. Los enfoques adaptativos, por definición, tienen un mayor nivel de incertidumbre y por ende de riesgo. Para hacer frente a esto, este tipo de enfoque utiliza la revisión continua de los requerimientos como resultado del enfrentamiento continuo entre alcance/interesados. Al igual que la complejidad, se revisará el tratamiento de los riesgos tanto en proyectos convencionales como en proyectos complejos.

Generalmente, en un proyecto existen múltiples fuentes de riesgo que deben ser evaluadas para evitar sus consecuencias. Estos riesgos pueden incluso asociarse, provocando un riesgo mayor de consecuencias no esperadas. Pero no solamente existen riesgos en el proyecto que se gestiona, sino que dicho proyecto puede verse afectado por el resultado de riesgos a nivel corporativo, y el nivel corporativo de igual forma, verse afectado, a su vez, por los riesgos del proyecto. En el caso de una misión de paz, la gestión de riesgos, sobre todo a nivel de interrelación y dinámica de estos, es todavía más necesaria, dado que las consecuencias de estos suelen ser más graves, llegando incluso a la pérdida de vidas humanas.

Un último elemento, clave, de la gestión de proyectos, que también lo es para la continuidad de una misión de paz, será medir el éxito de esta. Un proyecto tiene éxito cuando se completa su alcance dentro del tiempo y del coste asignado. Cuando un proyecto es complejo, medir su éxito se vuelve difícil. Las auto emergencias y las nuevas conexiones resultantes pueden agregar tiempo y costo a su proyecto, y por ello, es posible que no cumplan con sus objetivos. En cualquier proyecto complejo, la clave del éxito es un análisis cuidadoso de los requisitos básicos para poder modelar los objetivos y el enfoque adecuado para alcanzarlos.

1.2. Objetivos.

Este trabajo de investigación tiene tres objetivos: el primero es analizar los enfoques para gestionar las operaciones de mantenimiento de la paz; el segundo, estudiar la complejidad y el riesgo e integrarlos dentro del ámbito de decisión del enfoque a utilizar, y el tercero, encontrar un procedimiento que pueda medir cuán de exitosa puede ser una operación de mantenimiento de la paz en función del enfoque, la complejidad y el riesgo. Los métodos utilizados en este trabajo de investigación de carácter multidisciplinar, combina técnicas de gestión de proyectos y

ciencias sociales, son, en general, cualitativos, aunque también se utiliza el análisis matemático para calcular la complejidad y riesgos.

Para el primer objetivo, encontrar un enfoque adecuado, se utiliza una herramienta, de idoneidad de enfoque, aplicada a la gestión de proyectos permite encontrar, analizando una serie de factores predeterminados, de qué manera se puede gestionar mejor el proyecto.

Para el segundo objetivo, se emplean varias herramientas. Para el análisis de la complejidad se utiliza estudio de redes mediante el programa de análisis de redes UCINET. Con esta herramienta se analiza aspectos de composición de la red (nodos y enlaces) y medidas estocásticas como la centralidad o los componentes fuertemente conexos en redes de pequeño mundo. Para el análisis riesgos, se utiliza, también, redes para estudiar sus interrelaciones y su relación con el error sistémico y se propondrá la herramienta “Bow-Tie”, o técnica de la parajita, donde el riesgo principal, suma o producto de los errores que están relacionados con él, actúa como disparo en el árbol causa/efecto. Tanto la complejidad como el riesgo se integran en la herramienta de idoneidad de enfoque.

Una dificultad añadida para este objetivo es que, en enfoques adaptativos, este estudio de riesgos debe aunar a la herramienta indicada una evaluación dinámica que actualice el nivel de riesgo para saber si este pudiera haber cambiado.

Para el tercer objetivo, medir el éxito, se revisa la cuestión en la bibliografía existente y se realiza posteriormente un análisis de qué dimensiones que pueden tomarse como elementos clave para medir ese éxito.

La hipótesis de partida es averiguar qué tipo de enfoque es el más adecuado para gestionar una misión de paz y qué relación tiene este con la consecución de su éxito.

Una vez establecidos los objetivos del estudio y las herramientas a utilizar, se realiza una aplicación a tres OMP de la ONU, la UNMISS en la República de Sudán del Sur, la MONUSCO en República Democrática del Congo (RDC) y la MINUSTAH en la República de Haití. Todas las operaciones son de 4ª generación y llevan trabajando sobre el terreno un período de tiempo suficientemente largo para poder analizar su trabajo en esta investigación. En el caso concreto de MINUSTAH, concluyó en 2017 por lo que puede ser analizada a posteriori.

De los resultados obtenidos se determina si el enfoque encontrado para la misión, incluyendo en él los factores de complejidad y riesgo, tiene relación con el posible éxito de la misión de paz.

En esta relación entre la gestión de proyectos y las OMP, es relevante destacar, que los puestos de especialista o de ejecutivo de operaciones de mantenimiento de la paz de las Naciones Unidas, requieran experiencia con los principales sistemas estándares de gestión de proyectos como PMP®, PM2® o PRINCE2®. Esto subraya el vínculo entre la gestión de proyectos y la gestión de las OMP, y la necesidad de poseer herramientas que favorezcan la toma de

decisiones sobre qué enfoque es el más adecuado, si se necesita cambiar y, sobre todo, si la OMP va a lograr el éxito en su misión.

1.3. Estructura de la tesis doctoral.

El trabajo de investigación realizado en esta tesis doctoral se presenta en doce capítulos, incluido el presente capítulo introductorio, así como las conclusiones y las líneas de investigación futuras.

El **capítulo 2** se inicia con un acercamiento al concepto de proyecto, a través de bibliografía publicada. Se indica qué son los proyectos convencionales, también denominados predictivos, y se realiza un recorrido por los estándares más conocidos de dirección de proyectos convencionales. Se finaliza el capítulo haciendo hincapié en tres conceptos comunes a todas las metodologías: la gestión del proyecto a través de un ciclo de vida secuencial; el seguimiento de los proyectos a través de tres parámetros de control (coste, planificación y alcance), y que su éxito es perfectamente medible, dado que su entorno es de gran certidumbre.

En el **capítulo 3** se revisa parte de la bibliografía reciente sobre incertidumbre, riesgo y su gestión. Se indican las fuentes de riesgo habituales que existen en el proyecto, según la categorización del Project Management Institute (PMI) y otros autores. Se revisan cuales son los componentes del riesgo tradicionales, así como el nuevo concepto de “apetito del riesgo” y del riesgo general de proyecto. Se enumeran cuales son las herramientas del riesgo, y se finaliza realizando, nuevamente, un recorrido por los principales estándares de la gestión del riesgo.

El **capítulo 4** recorre el concepto de complejidad, a través de la bibliografía existente. Se diferencia entre sistemas complicados y complejos, dado que habitualmente se genera confusión a la hora de definirlos. Se continúa indicando cuales son las principales características de los sistemas complejos, destacando la adaptabilidad, la no inferencia en estos sistemas, y de como un proyecto es un sistema limitado y que, como sistema, también un proyecto puede ser complejo. Para estudiar la complejidad se aplican conceptos de red coevolutiva para estudiar, cuan de complejo es un proyecto y si se necesita optar por una gestión adaptativa de este.

El **capítulo 5** comienza definiendo aquellos proyectos que no son predictivos (iterativos, progresivos y ágiles), pero sobre todo los proyectos híbridos, cuyo ciclo de vida puede ser la unión o modificación de diferentes ciclos de vida, ya sean predictivos o no, como paradigma de proyecto adaptativo, indicando cuales son las principales características del enfoque híbrido. Se termina analizando el concepto de adaptación, tal como lo presenta la séptima edición del PMBoK y el concepto de resiliencia como contrapunto a la complejidad, aunque este concepto está siendo objeto de estudio actualmente.

El **capítulo 6** recorre la gestión de riesgos en proyectos complejos, y se abordan aquellos riesgos que pueden surgir por la autoorganización, la emergencia y la covarianza, entre otros, de procesos que forman parte del proyecto. Se hace hincapié en el dinamismo de este tipo de proyectos, en cuanto a la identificación de riesgos, los nuevos tipos de riesgos que pueden darse, y la evaluación dinámica de riesgos, basado este último, en el modelo Bow-Tie que favorece la

actualización continua. Se incluye, finalmente, el concepto de gestión de riesgo integral, utilizado por grandes organizaciones para la gestión de sus proyectos, como por ejemplo la ONU.

El **capítulo 7** recoge la metodología usada en esta tesis, compuesta por una herramienta de idoneidad de enfoque, una herramienta de gestión de riesgos. Respecto de la herramienta de idoneidad, busca la mejor adaptación de la gestión de un proyecto a tres tipos de enfoque (convencional, híbrido y ágil), mediante el análisis cualitativo de nueve parámetros agrupados en tres grupos: Proyecto, Equipo de proyecto, y “cultura” del proyecto analizado.

En el **capítulo 8** se aborda un tipo especial de proyecto complejo, que sirve para comprobar si la metodología presentada en el capítulo 7 puede aplicarse a estos. Se trata de las misiones de paz de la ONU. Se realiza una revisión histórica de lo que son las misiones de paz a través de un recorrido cronológico de las mismas, y, en segundo lugar, se revisan las particularidades de las misiones de paz, analizando en primer lugar el sistema de paz y seguridad de la ONU, basado en tres premisas: el consentimiento de las partes, la imparcialidad y el no uso de la fuerza salvo en legítima defensa y el mantenimiento del mandato y la prevención de conflictos.

Se analizan posteriormente los esfuerzos de algunos autores, entre ellos Azar, por establecer un sistema de alerta temprana para evitar los conflictos, y cómo actuar rápidamente ante ellos, sobre todo, a través de labores de inteligencia, entendida como capacidad de entender los hechos que ocurren en la zona de conflicto y un carácter integrador de las misiones. Todo ello, como anticipo del carácter adaptativo que debe tener la misión de paz en la gestión de un sistema complejo como es un conflicto.

Se analiza también el enfoque integral que utiliza, desde hace poco tiempo, la ONU a través del CPAS, y que consiste en la unión de efectivos civiles y militares con carácter unificador, y se finaliza con tres aspectos importantes en la fase de inicio y planificación de una misión de paz: la decisión de ponerla en marcha, el despliegue adaptativo, y la puesta en marcha de una misión, con el mandato y nombramiento del responsable de esta.

El **capítulo 9** aborda la manera en que se puede medir el éxito de una misión de paz. Si en el capítulo 5 se abordaba de forma inicial el concepto de éxito de un proyecto, en este capítulo se profundiza en el mismo, a través del estudio, y de la bibliografía, en primer lugar, de la complejidad y enfoque de una misión de paz, y en segundo lugar, sobre la manera de medir su éxito.

Se analiza la complejidad de un conflicto, como ejemplo de un sistema complejo, la importancia de las interrelaciones que se crean y de su autoorganización, y cómo se puede construir la paz en un conflicto.

Respecto de la capacidad de medir el éxito de una misión de paz, se analizan dos aspectos clave en una misión de paz: el primero, la aplicación del mandato, su importancia a la hora de aplicar los medios y recursos de esta; el segundo, mediante bibliografía, se analiza cómo medir el éxito.

Se termina el capítulo indicando el marco que se va a utilizar a la hora de medir dicho éxito de una misión a través de las ocho dimensiones de la NUPI (Norsk Utenrikspolitisk Institutt, Instituto Noruego de Política Exterior). Se sugiere además que, aunque todavía no estén consideradas como tal a través de la bibliografía consultada, deben incluirse aspectos tan importantes como cambio climático, medio ambiente y disposición de recursos naturales, a la hora de analizar el éxito de una misión.

El **capítulo 10** presenta los tres casos estudio donde se aplica la herramienta de idoneidad de enfoque, y se analizan el éxito de la misión de paz a través de las ocho dimensiones de la NUPI para encontrar el tipo de enfoque más adecuado para conseguir dicho éxito. Los tres casos estudio son las misiones de paz UNMISS, realizada en Sudán del Sur, la misión MONUSCO, realizada en la República Democrática del Congo, y la misión MINUSTAH desarrollada en Haití.

En el **capítulo 11** se exponen las conclusiones finales sobre los objetivos planteados inicialmente y se presentan, también, un resumen de los datos obtenidos de los casos estudio.

Por último, en el **capítulo 12**, se indican posibles extensiones y futuras líneas de investigación a partir de lo investigado en esta tesis.

2. GESTIÓN DE PROYECTOS PREDICTIVOS.

En este capítulo se resumen brevemente los conceptos del proyecto, la gestión de este, los tipos existentes y los problemas del proyecto. El propósito es establecer conceptos básicos para su posterior aplicación. Obviamente, esta sección trata los aspectos básicos de la gestión de proyectos, pero a lo largo de los siguientes capítulos, muchos conceptos enumerados serán conectados y ampliados en relación con las operaciones de mantenimiento de la paz.

2.1. Conceptos de gestión de proyectos.

Un proyecto es un resultado único obtenido mediante la aplicación de un conjunto de recursos, generalmente determinados de forma progresiva durante un período de tiempo establecido. Es singular, porque el desarrollo de un proyecto, a partir de una serie de ideas, produce generalmente un resultado denominado alcance. Es progresivo, porque el proyecto evoluciona a su vez a través de procesos paralelos y/o continuos. Finalmente, decimos que es limitado, porque tiene un comienzo y una terminación establecidos en la planificación del proyecto.

Ejemplos de proyectos son: desarrollo de un nuevo producto o servicio; implementación de un cambio estructural en una organización; desarrollo o adquisición de nuevos conocimientos y su aplicación posterior; construcción de un edificio o una infraestructura o, también, efectuar los pasos necesarios para establecer un entorno de paz en una zona en conflicto.

Una cierta incertidumbre siempre está presente cuando se lleva a cabo un proyecto, lo cual es un aspecto importante y, por lo tanto, esencial de entender. La incertidumbre es inherente a los proyectos. La razón es que no siempre se conocen todos los detalles al inicio de este, y aunque se tengan los mismos procesos, entre proyectos similares nunca se dan los mismos resultados en cuanto a tiempo empleado, coste gastado y alcance conseguido (Skitmore et al., 1989).

Es importante recalcar la diferencia entre proyecto y operación. Un proyecto finaliza cuando se alcanzan determinadas metas planteadas inicialmente. En una operación, el trabajo se realiza, mediante un procedimiento que es analizado en un determinado entorno temporal, normalmente al inicio de ciclo económico de una empresa (Ibbs & Kwak, 2000)

Sobre el concepto "Proyecto" se encuentran innumerables definiciones en bibliografía general o específica, destacando, en todas ellas, que el resultado siempre es único. Su uso, obviamente técnico, se extiende a otras áreas del conocimiento humano. Se habla entonces de proyectos de vida, proyectos ambientales, proyectos económicos, etc....

La gestión de proyectos es el método en el que se aplican los conocimientos, las habilidades y las técnicas necesarias para organizar y gestionar los recursos, de manera que todo el trabajo requerido para un proyecto pueda completarse con objetivos definidos, plazos establecidos y dentro de los costes inicialmente acordados (AENOR ISO-UNE 21500, 2013, p. 50).

Tal como indican en los últimos años las revistas especializadas del sector de proyectos, las empresas que tienen una estructura empresarial orientada a proyectos, o bien tienen un gestor de proyectos o una metodología o un conjunto de herramientas, llegan al 70% (Anthony & et al, 2014), de ahí que se destaque la importancia de la gestión de proyectos en el ámbito no solo empresarial, sino social.

La gestión de proyectos, como cualquier otra actividad humana, se rige por un conjunto de normas, estándares y reglamentos, de los que los más importantes son:

- **PMI** (Project Management Institute, la asociación profesional más grande del mundo que promueve la profesión del director de proyectos). Este estándar se basa en las conocidas directrices redactadas en el PMBoK® (Project Management Knowledge Book) y certificaciones de reconocimiento de los conocimientos sobre esta gestión, como por ejemplo la certificación PMP® (Project Management Professional).
- **PRINCE2®** (PRoject IN Controlled Environment, ed.2). Fue desarrollado por la CCTA (Central Computer and Telecommunications Agency) británica, y está destinado a gestionar la incertidumbre en entornos controlados. Utilizado por varios países y empresas multinacionales, este estándar internacional es utilizado, también, por las Naciones Unidas, en proyectos de desarrollo, controlando de forma coordinada objetivos e incertidumbre.
- **PM2®** (Project Management Methodology). Desarrollada por la Comisión Europea, para proveer de una herramienta de gestión de proyectos y que pueda ser utilizada por todos los estados miembros de la Unión Europea.
- **ISO-UNE 21.500**. Un estándar establecido por la Organización internacional de Normalización (ISO) para gestionar y dirigir proyectos. Los estándares de PMP®, PRINCE2® y de PM2® cumplen la Norma ISO-UNE 21.500.

Para gestionar proyectos, hay un equipo dirigido por un director de proyecto. Este último asumirá toda o parte de la responsabilidad final del mismo, dependiendo de los estándares utilizados. La gestión de proyectos aplica la supervisión en tres fases: Establecer objetivos realistas; Evaluar continuamente el logro de los objetivos establecidos, y tomar medidas correctivas apropiadas en el momento adecuado para lograr resultados acordados (Johns, 2008; P. Murray & Thomas, 2008).

Un proceso es un conjunto de acciones y actividades interrelacionadas que se deben realizar para lograr un objetivo de desempeño específico. En un proyecto hay dos tipos de procesos: los llamados procesos de producción, destinados a crear un producto, servicio o resultado que demuestren la ejecución del proyecto, y un proceso de gestión, dedicado a coordinar todo el trabajo que debe realizar un equipo de proyecto para lograr sus objetivos. Ambos tipos de procesos pueden ser secuenciales, paralelos, o pueden interactuar a lo largo del proyecto en

diferentes fases. Este tiempo de actividad del proyecto se denomina ciclo de vida del proyecto (Alghail et al., 2021).

Se puede definir que hay dos tipos de controles en un proyecto. Uno es sobre “cómo se hace el proyecto” y el otro es sobre “el resultado del proyecto”. Se verá más adelante que es importante esta distinción cuando se habla del mantenimiento de la paz (Vega Mancera, 2012).

2.2. Proyectos predictivos.

Los proyectos predictivos, convencionales, predecibles, o en cascada, aprovechan la poca incertidumbre de los requisitos u objetivos requeridos en la fase de inicio y planificación, para centrarse sobre todo en gestionar los costes, para no incurrir en pérdidas económicas, y que el proyecto cumpla el cronograma establecido. Este tipo de proyectos suele estar dirigido por un equipo de dirección estable, conjuntado, técnicamente competente, y que no se suele relacionar con otros equipos de otros proyectos, salvo cuando una vez terminado el proyecto sean destinados a otros distintos.

Este tipo de proyecto tiene varias ventajas, beneficiándose de la poca incertidumbre que tiene, y de la poca adaptabilidad que presenta: son eficientes si se controla estrictamente el proceso de gestión; y si se sabe, de antemano, qué tipo de productos o servicios creará el proyecto, y los procesos que lo componen se realizan uno detrás de otro, siguiendo un cronograma de tipo secuencial.



Imagen 2-1. Ejemplo de proyecto predictivo (Fuente: PMI)

Como se puede ver en la *imagen 2-1*, el ciclo de vida del proyecto es simple. Se trata de ir superando cada uno de los procesos de los que consta para comenzar el siguiente, y así hasta llegar a la entrega del alcance. El equipo de dirección de proyecto trabaja con objetivos claros y no modificables, en reuniones con los interesados en la fase de planificación del proyecto. El control temporal y de coste es estricto

Como se puede ver en la imagen anterior, referido en este caso a un proyecto de producto, el ciclo de vida es muy simple. Se fundamenta en realizar una serie de procesos fundamentales: comienzo, diseño, construcción, prueba y entrega del producto. El equipo de gestión del proyecto crea un plan detallado de las partes interesadas clave del proyecto con objetivos claros. Esta claridad permite saber dónde se van a realizar los posibles cambios y los hitos para controlar tiempos y costes.

Ejemplos de este tipo de ciclo de vida de proyecto es la realización de una urbanización, una carretera, un avión, una batidora, etc...

Estos proyectos se caracterizan por su “reproducibilidad”, es decir, su desarrollo prácticamente es el mismo, si se tiene una planificación de requisitos y alcances prácticamente iguales, y solamente se tiene que cambiar algunos parámetros de los proyectos (analíticos, geométricos, costes, etc...).



*Imagen 2-2. De izq. a dcha. EDAR Marismas del Odiel (Huelva, ESP.), EDAR El Cuervo (Sevilla, ESP.)
(Fuente: Autor)*

Como se puede apreciar por la *imagen 2-2*, las dos EDAR (Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales) tienen una disposición geométrica parecida y sólo cambian por su implantación en el terreno y por el caudal de vertido que deben tratar cada una de ellas. Así la EDAR Marismas del Odiel está preparada para depurar las aguas residuales de 145.000 habitantes equivalentes. En cambio, la EDAR El Cuervo está preparada para tratar el agua residual de 9.600 habitantes equivalentes. Por tanto, los requisitos y el alcance fueron los mismos, pero cambió la ubicación y el caudal debido a la diferencia del número de habitantes entre ambas poblaciones.

2.3. Metodologías para dirigir un proyecto predictivo.

Para poder realizar una gestión de un proyecto predictivo, existen diferentes metodologías, ampliamente utilizadas. Se realiza a continuación un repaso de estas.

2.3.1. PMBoK / PMI.

En este método, los procesos se agrupan en grupos que afectan directamente el ciclo de vida del proyecto. En general, hay cinco grupos de procesos que a menudo se alinean con el ciclo de vida del proyecto (PMI, 2017, pp. 598–673):

- **INICIO.** En este proceso se reúnen las expectativas de los interesados y el propósito real del proyecto, se informa a dichos interesados sobre el alcance y los objetivos, analizando su participación en el proyecto. Se definen el alcance inicial, los recursos necesarios, incluyendo, si es posible, el gestor de proyectos. Todo ello se plasma en el acta de constitución del proyecto.
- **PLANIFICACIÓN.** Se establece el alcance total del esfuerzo, se definen de forma refinada los objetivos, y se desarrolla la línea de acción requerida. Se determinan en esta

fase los componentes del plan para la dirección del proyecto y los documentos en que se sustentan, incluyendo la gestión de riesgos. Se establece la línea de base.

- **EJECUCIÓN.** Se coordinan los recursos, se gestiona la inclusión de los interesados, y se integran y realizan las actividades del proyecto conforme al plan para su dirección. Todas las solicitudes de cambio aprobadas conducen a un plan de gestión de documentación modificada. Se gestiona el equipo, la calidad, la implementación de la respuesta a los riesgos, se efectúan las adquisiciones y se gestionan los interesados.
- **SEGUIMIENTO.** Realiza el monitoreo de las actividades del proyecto, comparándolas con el plan para la dirección del proyecto y las líneas base establecidas, se aprueban las solicitudes de cambio que se estimen. También se recomiendan las acciones correctivas o preventivas para anticipar posibles problemas. Por último, se verifican los entregables, validándose posteriormente.
- **CIERRE.** Se realiza la transferencia del producto, servicio o resultado final al cliente, y se realizan los procesos necesarios para cerrar el proyecto.

De igual forma, se establecen materias o grupos de conocimiento, en los cuales se agrupan los procesos, que son áreas de gestión de proyectos definidos de acuerdo con los requerimientos del cliente, y que están compuestas por actividades, planteamientos prácticos, insumos, productos realizados, herramientas o técnicas

PMBok en su sexta edición establece 10 áreas de conocimiento definidas por sus requisitos, prácticas, datos iniciales, resultados, herramientas y técnicas que los componen, sumando 49 procesos (PMI, 2017, pp. 60–61):

- **INTEGRACIÓN.** Establece, a raíz de la planificación creada al inicio del proyecto, la coordinación de todos los procesos que estarán relacionados con la gestión del proyecto a realizar.
- **ALCANCE.** Incluye la completa definición del resultado del proyecto a elaborar.
- **CRONOGRAMA.** Desarrollo de la planificación temporal del proyecto y, a partir de esta, la monitorización y seguimiento de los hitos que establecen los diferentes procesos que componen el proyecto, comparando estos con una línea base.
- **COSTES.** Crea el presupuesto del proyecto, y la posterior monitorización, comparando, al igual que en el cronograma, la evolución de dichos costes con una línea base.
- **CALIDAD.** Establece procesos de monitorización y control, para garantizar que los proyectos se realicen según la planificación establecida, y los resultados del proyecto sean los establecidos en los requisitos inicialmente planteados. Se responsabiliza de

establecer los KPIs (Indicadores clave de rendimiento), para poder medir el desempeño de las actividades que se realizan.

- **RECURSOS.** Establece cuáles serán los medios necesarios, tanto materiales como humanos, para la realización del proyecto.
- **COMUNICACIONES.** Incluye los procesos necesarios para asegurar la generación, recogida, distribución, almacenamiento, recuperación y archivo de la información del proyecto, utilizando los medios adecuados.
- **RIESGOS.** Conjunto de procesos que permiten la identificación, el análisis, la planificación y la implementación de la respuesta y el monitoreo de los riesgos de un proyecto.
- **ADQUISICIONES.** Conjunto de procesos necesarios para comprar o adquirir productos, servicios, o resultados que es necesario obtener fuera del ámbito del equipo del proyecto.
- **INTERESADOS.** Incluye los procesos para identificar a las personas u organizaciones que puedan afectar o verse afectadas por el proyecto, analizando sus expectativas, y midiendo el impacto que pudieran realizar en el proyecto.

Dos conceptos serán útiles más adelante cuando se afronten los proyectos complejos.

El primer concepto es la influencia que pueden tener los interesados identificados en un proyecto y los cambios que pueden inducir en este. Como cualquier cambio, este implica una serie de recursos a aplicar para su realización. Por tanto, es importante saber relacionar la influencia de los interesados con el coste del cambio que pueden plantear durante el transcurso del proyecto, como se puede observar en la *imagen 2-3*:

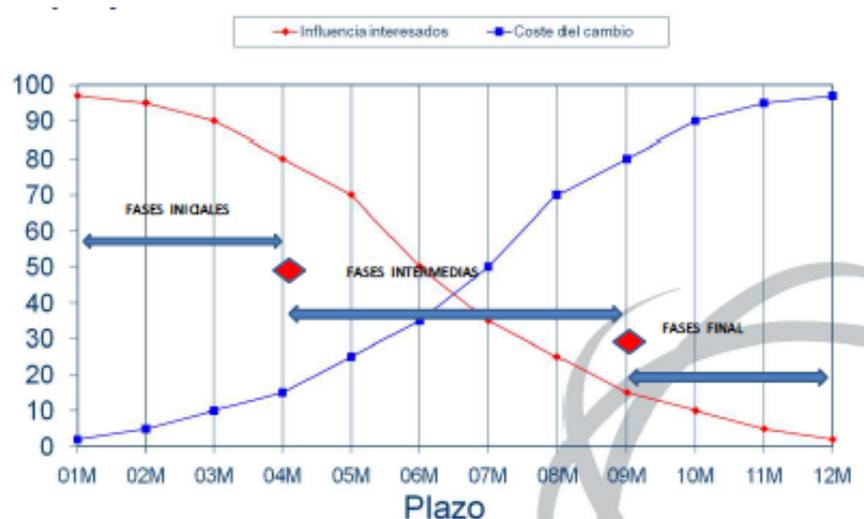


Imagen 2-3. Interesados/coste de cambios durante el ciclo de vida del proyecto. (Fuente: PMI)

En las primeras etapas de un proyecto (inicio y planificación) los interesados muestran un gran interés por el proyecto, y sus consecuencias y su influencia suele ser alta. Se informan, pueden plantear alternativas y cambios cuyo coste suele ser pequeño dentro del presupuesto del proyecto. A medida que avanza el desarrollo del proyecto, los interesados van perdiendo poder de influencia, pero si algún interesado requiere de un cambio, y la influencia de este es todavía importante, la realización de dicho cambio requerirá de un coste mucho mayor que en el inicio del proyecto. Si dicho cambio se realizara en la fase final, el coste podría ser extremadamente alto, aunque la influencia de los interesados sería mínima.

El segundo concepto, en cuanto a la realización de un proyecto por parte de un equipo, es la curva de aprendizaje. La curva nos indica, como se puede observar en la imagen, que cuando el equipo de proyecto se enfrenta por primera vez a este, el coste de su realización será alto. Sin embargo, si los siguientes proyectos son parecidos a la inicial, el coste de su realización disminuirá de manera exponencial. Esto hace que la gestión de proyectos convencionales o predictivos sea interesante para una organización, y que por el contrario, la realización de proyectos con alto nivel de incertidumbre, como pueden ser los proyectos complejos, impide este aprendizaje de una manera clara (imagen 2-4).

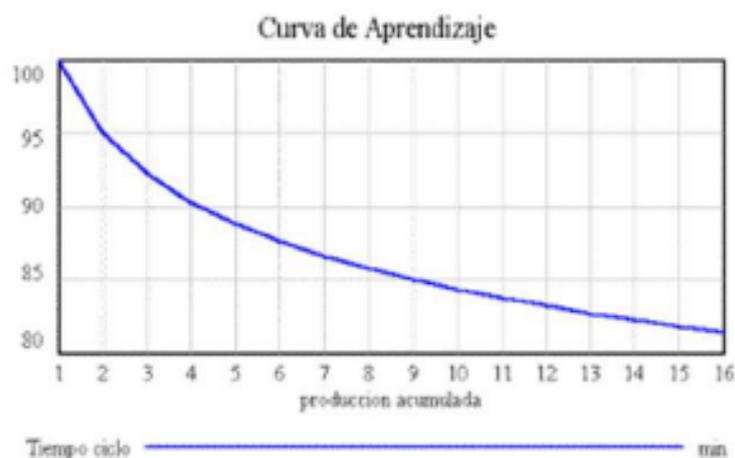


Imagen 2-4. Curva de aprendizaje. (Fuente: PMI)

2.3.2. PRINCE2.

PRINCE2 (Projects IN Controlled Environments) es un modelo de gestión de proyectos basado en las mejores prácticas posibles, que se aplican a todo tipo de proyectos predictivos con un vocabulario común, con roles y responsabilidades bien definidas, y centrado en los entregables. Se basa en el “control por excepción”, es decir, focalizando los posibles aspectos excepcionales que pudieran aparecer en el control de los diversos procesos que conforman el modelo (A. Murray, n.d.).

A diferencia de otros modelos de gestión de proyectos, el modelo PRINCE2 está guiado más por el “Business Case” que por la terminación del proyecto. También asegura de forma clara que las

partes interesadas estén representadas en la planificación y la toma de decisiones. El modelo PRINCE2 se basa en 7 principios básicos y en 7 temas.

Los principios básicos son los siguientes:

- **JUSTIFICACIÓN COMERCIAL CONTINUA.** Es necesario no perder de vista el caso negocio que es la confirmación de la necesidad de la realización del proyecto.
- **APRENDIZAJE DE LA EXPERIENCIA.** Se buscan lecciones de la experiencia previa, y se actúa en consecuencia a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto.
- **FUNCIONES BIEN DEFINIDAS.** Se dispone de una estructura organizativa que involucra los intereses de las partes interesadas de la empresa, el usuario y el proveedor.
- **ADMINISTRACIÓN POR ETAPAS.** Se planifica, monitorea y controla por etapas de gestión.
- **ADMINISTRAR POR EXCEPCIÓN.** Un proyecto PRINCE2 tiene tolerancias definidas para cada objetivo del proyecto.
- **CENTRARSE EN LOS PRODUCTOS.** PRINCE2 se centra en la definición y entrega de productos, en particular de sus requisitos de calidad.
- **ADAPTACIÓN AL ENTORNO.** Permite una cierta adaptación al riesgo y al entorno que rodea al proyecto.

Los temas de PRINCE2 tratan aspectos de la gestión de proyectos que se tocan durante todo su ciclo de vida, proporcionando orientación sobre cómo deben realizarse los procesos. Son los siguientes:

- **CASO NEGOCIO.** Establece los procesos necesarios para juzgar si el proyecto es viable teniendo en cuenta la inversión que debe realizarse para su ejecución. Responde a la pregunta ¿Por qué?
- **ORGANIZACIÓN.** Son todos los procesos que ayudan a estructurar las obligaciones y responsabilidades en el proyecto. Responde a la pregunta ¿Quién?
- **CALIDAD.** Pone en marcha los procesos necesarios para verificar y validar los entregables que conforman el proyecto. Responde a la pregunta ¿Qué?
- **PLANES.** Proporciona un marco de referencia para diseñar, desarrollar y mantener los planes básicos del proyecto: Plan de proyecto, plan de fase, plan de excepción y plan de equipo. Responde a las preguntas ¿Cómo?, ¿Cuándo?, ¿Cuánto?
- **RIESGO.** Proporciona la metodología para identificar, evaluar y controlar la incertidumbre durante todo el ciclo de vida del proyecto. Responde a la pregunta ¿Y sí...?

- **CAMBIO.** Ayuda a identificar, evaluar y controlar cualquier cambio en la línea base del proyecto. Responde a la pregunta ¿Cuál es el impacto sí...?
- **PROGRESO.** Asegura conocer la diferencia entre la situación actual en comparación con la línea base planificada del proyecto.

En PRINCE2 existen 40 procesos diferenciados que pueden repetirse, algunos de ellos, a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Estos procesos están agrupados en etapas de proyecto (anteproyecto, etapa de iniciación, etapas intermedias de entregas y etapa de entrega final), y en etapas de gestión (dirección, gestión y entrega).

Finalmente, hay que indicar que PRINCE2 cubre los procesos para que cada nivel de gestión pueda operar con capacidad de decisión propia, sin tener que escalar al nivel superior siguiente, según el nivel de control deseado, evitando la microgestión (Nájera, 2019).

2.3.3. PM².

Es una metodología de gestión de proyectos desarrollada por la Unión Europea, a través de su órgano ejecutivo, la Comisión Europea. Se utiliza, actualmente, para la gestión de proyectos en dicho organismo, y se basa en otras metodologías (PMBok, PRINCE2, IPMA, etc..) y en la experiencia operativa de las instituciones que conforman la Unión Europea.

Proporciona, en primer lugar, un conjunto común de valores para todos los equipos basado en una filosofía que intenta ayudar a realizar un proyecto con cierto grado de incertidumbre (Kourounakis & Maraslis, 2017), de manera que:

- Se apliquen las mejores prácticas disponibles para gestionar proyectos.
- Se debe estar atentos a que las metodologías estén para servir a los proyectos y no al revés.
- Habrá que mantener una orientación a resultados en relación con todos los proyectos y actividades de gestión de proyectos.
- Se deben entregar los resultados de un proyecto con el máximo valor, en lugar de seguir simplemente los planes, para terminar este.
- Se debe fomentar una cultura de comunicación clara y una colaboración eficaz.
- Se deben asignar roles de proyecto a las personas más adecuadas para su desarrollo.
- Hay que involucrar a los interesados del proyecto en el cambio organizacional necesario para maximizar los beneficios del proyecto.
- Se debe compartir conocimientos y lecciones aprendidas para mejorar la gestión de proyectos dentro de la organización.

- Finalmente, las directrices deben inspirarse en la ética y en las virtudes profesionales.

PM² se sustenta en cuatro pilares:

- Un modelo de **gobernanza** del proyecto (roles y responsabilidades).
- Un **ciclo de vida** del proyecto (Fases del proyecto).
- Un conjunto de **procesos** (actividades de gestión de proyecto)
- Un conjunto de **artefactos** del proyecto (plantillas y directrices).

El ciclo de vida de PM² se basa en cuatro fases: Inicio, Planificación, Ejecución y Cierre. Todas estas fases están monitorizadas y controladas. Cada fase tiene una misión específica que se detalla brevemente a continuación:

- **Inicio.** Define los resultados deseados creando el caso negocio (Business Case), fija el alcance del proyecto.
- **Planificación.** Especifica el alcance del proyecto y determina el enfoque adecuado. Crea un cronograma con las tareas involucradas en el proyecto, y estima los recursos necesarios. Desarrolla los detalles del proyecto.
- **Ejecución.** Distribuye información siguiendo los planes establecidos, asegura la calidad del proyecto siguiendo los estándares definidos, coordina el trabajo del proyecto y genera los entregables según la planificación, realizando su entrega según el plan de aceptación establecido.
- **Cierre.** Asegura generar las lecciones aprendidas compartiendo estas con la organización, garantizando que los entregables del proyecto se han aceptado. Se archiva toda la documentación generada, y todos los recursos se liberan.

La **monitorización y control** están presente a lo largo de todo el proyecto, y se encargan de medir las actividades en curso, comparándolas con las establecidas en la planificación, e identificando las acciones correctivas cuando se produzcan desviaciones en los planes, y abordando los problemas y riesgos del proyecto.

Una característica de PM² es que el paso del proyecto por cada una de las cuatro fases está supeditado a la aprobación por parte del comité directivo del proyecto, de tal manera que se contribuye a la calidad general de la gestión del proyecto, y esto permite que el proyecto se desarrolle de forma controlada.

Por último, PM² permite cierto grado de adaptación (“taylorización”), mediante cambios en partes específicas de la metodología, teniendo estos que ser supervisados, para evitar desviaciones significativas de la metodología, y que previamente estas adaptaciones se encuentren documentadas en el manual del proyecto.

2.3.4. ISO21500.

Esta norma orienta la dirección y gestión de proyecto, proponiendo una serie de buenas prácticas en cualquier organización, ya sea pública o privada (AENOR ISO-UNE 21500, 2013).

Su estructura es muy similar a la propuesta en el PMBoK, incorporando cinco grupos de procesos (Inicio, Planificación, Implementación, Control y Cierre), y diez grupos de materias (Integración, Parte interesada, Alcance, Recurso, Tiempo, Costo, Riesgo, Calidad, Adquisiciones y Comunicación).

Con esta estructura, se dispone de 39 procesos para dirigir un proyecto, y al igual que en PMBoK, confiere libertad al gestor para poder utilizar aquellos procesos que considere necesario para dirigirlo.

Incluye dos elementos que no se especifican de manera explícita en PMBoK, en su edición nº 6. En primer lugar, habla de competencias que debe tener el personal del proyecto, de forma muy similar a como se indica en las bases para la competencia individual (ICB) del gestor de proyectos del IPMA (Otegi Olaso, 2016).

Así, se incluyen las competencias técnicas a la hora de llevar a cabo proyectos de forma estructurada, relacionándolas con las competencias prácticas del ICB; competencias de comportamiento asociadas con las relaciones personales, dentro de los límites del proyecto, relacionadas con perspectivas personales del ICB, y por último, las competencias contextuales relacionadas con las de perspectiva, dentro del medioambiente de la organización.

En segundo lugar, habla de forma clara de las restricciones que se pueden dar, y que orden pueden ocupar si se dan varias. De entre todas las restricciones, es interesante destacar las restricciones relacionadas con la exposición aceptable al riesgo.

2.3.5. Características de las metodologías en proyectos convencionales.

Se han repasado los principales atributos de varias metodologías comúnmente aceptadas dentro del campo de la gestión de proyectos. En este repaso, se han podido constatar algunos aspectos que son reiterativos en todas las metodologías.

Un primer aspecto es que **el ciclo de vida es eminentemente secuencial**. Comienza con una etapa de inicio donde se analiza la viabilidad del futuro proyecto y se registran desde un punto de vista general los primeros procesos. Continúa con una etapa de planificación, donde se determinan los principales procesos a realizar en las diferentes fases, una fase de control y supervisión, que en algunas metodologías son parte del ciclo de vida y en otras no, aunque la misión en ambos casos es evitar que la línea actual del proyecto no se desvíe de la línea base planteada en la planificación, y por último, un proceso de cierre, que verifica y valida los entregables que se tengan, se liberan los recursos necesarios y las lecciones aprendidas en el desarrollo del proceso y se vuelcan en los activos de los procesos de la organización.

Un segundo aspecto es que **se puede seguir la traza del proyecto con herramientas más o menos confiables, siendo los tres principales parámetros de control:** el cronograma, el presupuesto y alcance. Y ello es posible porque el grado de certidumbre en el que se trabaja es amplio.

Un tercer aspecto es que la dirección del proyecto **se sustenta en un equipo, más o menos, estable, ubicado de forma habitual en un espacio cercano y dirigido por un gestor de proyecto**, que informa mediante una línea jerárquica bien establecida a los gestores principales de una organización.

Un último aspecto de los proyectos convencionales o predictivos es que **el éxito de estos es perfectamente medible** y, lo que es más importante, se puede ir conociendo su grado de éxito mucho antes de que termine la ejecución de este, si se controlan los elementos de la línea de base y se realiza una buena gestión de riesgos.

Sin embargo, en las primeras décadas del siglo XXI se realizaron algunos estudios sobre la consecución del éxito en proyectos predictivos, y los resultados indicaron que muchos proyectos con este tipo de enfoque no obtenían un éxito total. Así, el informe Deloitte sobre análisis predictivo de proyectos indicaba que, en 2010, el 63% de los proyectos fracasaron en la consecución de sus objetivos, el 46% consiguieron terminar, pero estaban por encima del presupuesto y el 71% de los proyectos terminaron superando el límite de tiempo programado (Deloitte Design Studio, 2012).

La utilización de enfoques predictivos en proyectos tecnológicos y de software tampoco consiguió tener éxitos generales en su terminación, así menos del 40% de los proyectos de software entre 2004 y 2012 (García Rodríguez et al., 2017).

Por ende, este tipo de proyectos, que en gran medida hasta principios del siglo XXI y con carácter general eran los predominantes, comenzaron a experimentar importantes fallas en la gestión y en el alcance de estos. Las crisis económicas de principios de los 80 y mediados de los 90 del siglo XX, y el advenimiento de los sistemas de información supusieron que este tipo de gestión tuviera una importante pérdida de confianza. El incremento de la incertidumbre, debido a las condiciones iniciales mal investigadas, el establecimiento de objetivos poco claros y realistas, la redistribución significativa de los equipos de proyecto debido a las crisis, la mala gestión y, sobre todo, las consideraciones de riesgos laxas ocasionaron bastantes perjuicios en la consecución del alcance. Era necesario analizar la situación y proponer nuevos modelos de gestión que en proyectos mucho más específicos, como los sistemas de información, estaban obteniendo bastante éxito.

3. GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS CONVENCIONALES.

El riesgo está presente en el proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida. Por tanto, su gestión es una parte importante de la dirección de un proyecto, y es, además, un elemento significativo en el proceso de toma de decisiones.

3.1. Incertidumbre y riesgo.

Considerar que, al planificar un proyecto, se van a tener toda la información precisa para su realización, y que este se va a comportar de una manera totalmente determinista, significa estar ajeno a la realidad de la gestión de un proyecto. Por regla general, se muestra cierta inseguridad en los resultados de un proyecto durante su ejecución, dado que no se puede controlar por completo todos los eventos que pueden producirse (Traylor et al., 1984).

Esta falta de control podrá producir indeterminaciones y cambios en lo programado, debido a la incertidumbre que se puede tener, referida aquí como la dificultad de comprender los eventos que pudieran estar sucediendo en el ciclo de vida del proyecto. Y es que la incertidumbre conlleva un estado de imprevisibilidad y desconocimiento, con múltiples matices asociados a la ambigüedad, al no tener consciencia de las condiciones actuales o futuras que puedan darse en un proyecto (Álvarez-Espada et al., 2022).

La incertidumbre no tiene una única fuente. Pueden existir incertidumbres externas, debido a factores de toda índole que rodean el proyecto, incertidumbres en el objetivo a alcanzar, por situaciones cambiantes en el mercado, o incertidumbres por utilización de procesos mal elegidos o ejecutados (Jaafari, 2001).

Se puede considerar, también, que la incertidumbre puede ser aleatoria debida a un proceso, de forma consustancial, en el que se está inmerso durante la ejecución de un proyecto, o puede ser epistémica, consecuencia de incidentes no previstos por falta de conocimiento de estos, externos o internos, y que pueden producirse de forma inesperada en un momento determinado (Acebes et al., 2014).

Se puede observar que, en los proyectos convencionales, la incertidumbre es muy elevada al principio, cuando no se tienen definidos todos sus procesos, y que esta va disminuyendo a medida que se va acercando al final de su ciclo de vida. Esto conllevaba que debía realizarse un estudio pormenorizado de todos los objetivos del proyecto con carácter previo a su ejecución. Con ello, se concebía que, salvo algunos criterios imposibles de concretar, el proyecto podría terminarse dentro de sus objetivos, dominando la incertidumbre inicial (Howell et al., 1993).

A diferencia de lo anterior, en proyectos complejos, donde se puede considerar que la incertidumbre se mantiene presente en mayor o menor grado durante todo el ciclo de vida del proyecto, se debe mantener un estudio continuo sobre el proyecto y las incertidumbres que pueden suceder, no sólo antes de su ejecución sino incluso después y antes de su terminación (Drummond, 1999).

En cualquiera de las fuentes de incertidumbre que se han descrito, la consecuencia es la aparición de un riesgo, definido como un evento o suceso, que en caso de ocurrir puede tener un impacto en el proyecto, siendo este impacto positivo o negativo (PMI, 2017).

A pesar de que esta definición, u otras parecidas de riesgo, hablan de impactos positivos o negativos, desde un punto de vista de la profesión del gestor de proyectos, la tendencia es considerar que los impactos de los riesgos son, o pueden ser, eminentemente negativos. Y quizá este énfasis en considerar aspectos negativos, haga relegar los aspectos positivos del riesgo como una oportunidad que debería ser aprovechada.

Aunque hoy en día se sigue hablando de riesgos de un proyecto y de su gestión, como una labor de corrección de un hipotético impacto sobre este, debería ser mucho más razonable identificar y gestionar todas las fuentes de incertidumbre que pueden producirse en el ciclo de vida del proyecto, intentando explorar, y sobre todo comprender, los orígenes de las incertidumbres que pueden afectar al mismo. Sería clave poder comprender por qué ciertas incertidumbres son más proclives a darse que otras en un determinado proyecto y por qué otras no (Chapman & Ward, 2003).

Aunque incertidumbre y riesgo se utilizan a menudo para expresar situaciones similares, no representan resultados análogos. Un riesgo debe plasmar la amenaza o la oportunidad que simboliza. Debe cuantificarse, de tal manera que se puede obtener una probabilidad de ocurrencia y un impacto de sus consecuencias. Además, un riesgo representa una vulneración de algún aspecto del proyecto, por lo que se puede realizar un plan de ajuste o de mitigación que reduzca la aparición del riesgo o del impacto de sus consecuencias, sobre todo si son negativas (PMI, 2019).

La incertidumbre, sin embargo, es menos proclive a ser analizada. Aunque se sabe que representa, casi siempre, una amenaza, no se puede identificar qué riesgo puede tener sobre el proyecto, ya que mientras que los riesgos siempre surgen de la incertidumbre, no toda la incertidumbre puede ser expresada como un conjunto de riesgos (Cleden, 2017).

Por último, indicar que las relaciones de incertidumbre y riesgos no son lineales en el tiempo, es decir, controlados por un reloj o un calendario, sino que pueden producirse de manera irregular, dependiendo más bien del entorno, o de la coyuntura donde se esté planificando o ejecutando el proyecto (Barceló & Guillot, 2013). Esto será muy importante a la hora de hablar de la gestión de proyectos complejos.

3.2. Fuentes y categorías del riesgo.

Desde un punto holístico, con respecto a la gestión de un proyecto, se suelen considerar una serie de fuentes y de categorías de los riesgos, centrándose mayormente en aquellos que pueden considerarse genéricos y específicos del tipo de proyecto en el cual se esté trabajando. Este tipo de gestión “convencional” constituye, ya de por sí, un riesgo. Será necesario la realización de una estructura lo más detallada posible, dividiéndose en las fases del propio ciclo

de vida del proyecto y no omitiendo ni siquiera aquellos riesgos que podrían causar un impacto leve en el proyecto (Ward & Chapman, 1995).

Se ha visto en el punto anterior que los riesgos derivan de la incertidumbre que se puede tener en el proyecto, por tanto, se puede indicar que las fuentes de riesgos se pueden dividir en cinco grandes áreas (Acebes Senovilla, 2015):

- variabilidad asociada a las estimaciones de los parámetros de los proyectos, sobre todo al llamado “triángulo de hierro” de los proyectos: alcance, coste y planificación temporal.
- Variabilidad en la base de los estimados que se realizan a falta de datos históricos utilizando herramientas estadísticas.
- Variabilidad sobre el enfoque, entregables y ejecución del proyecto.
- Incertidumbre debido a la falta de objetivos claros para todos los interesados de un proyecto.
- Incertidumbre sobre la cantidad, variedad y responsabilidad de los participantes en la planificación y ejecución del proyecto.

En el PMBoK 6 (PMI, 2017), se plantean adicionalmente la incertidumbre por ambigüedad, es decir sobre lo que podría pasar en el futuro y que pudiera afectar a la capacidad del proyecto para alcanzar sus objetivos: complejidad sistémica inherente en el proyecto, evolución futura de los marcos regulatorios o la existencia de problemáticas en los requisitos o soluciones técnicas.

De manera general, la caracterización de los riesgos suele centrarse en aspectos técnicos o de ingeniería, en aspectos de presupuestos, financiación y, en general en aquellos que puedan aumentar la garantía de éxito de un proyecto (Ackermann et al., 2007).

PMI contempla una clasificación de riesgos según la potencialidad dependiendo del grado de información disponible sobre él, la ambigüedad que pueda tener y la incertidumbre que arroje (PMI, 2019):

- Conocido – Conocido: No llega a ser considerado como riesgo, aunque normalmente se agregan a la gestión de riesgos dado que podría cambiar su estado.
- Conocido – Desconocido: Es un riesgo identificado, se sabe de su existencia, su probabilidad, pero no se sabe sus posibles consecuencias.
- Desconocido – Conocido: Es un hecho oculto o ignorado. Se llega a identificar plenamente en el transcurso del desarrollo del proyecto. Se sabe de sus consecuencias.
- Desconocido – Desconocido: Son riesgos emergentes completamente desconocidos por la dirección, haciendo imposible cualquier tipo de evaluación y exploración.

A la hora de categorizar más específicamente los riesgos que se pueden dar en un proyecto, no se ha de realizar una larga lista de riesgos, normalmente estandarizada en aspectos ya indicados, que puede causar problemas de gestión. Al igual que, cuando se ha de realizar la categorización mediante paquetes de trabajo, se realiza una estructura descendente de trabajos, totalmente ajustada al alcance que se debe establecer, se debe realizar una estructura descendente de riesgos (RBS, en inglés) de tal manera que se pueda comprender cuál es la verdadera distribución del riesgo en un proyecto (Hillson, 2003).

El propio David Hillson en (Hillson, 2013), analiza de forma exhaustiva algunas de las categorías más importantes que se deberían incluir en una RBS de un proyecto:

- Riesgos financieros y económicos: fluctuaciones de precios, madurez del sistema bancario elegido, requerimientos de impuestos, cambios monetarios, cambios en los ratios de interés, leyes financieras del país donde se realice el proyecto, etc.
- Riesgos ambientales: Contaminación antes y después de la instalación del proyecto, histórico de desastres naturales, condiciones ambientales de la zona de implantación, etc.
- Riesgos geopolíticos: política nacional e internacional, diplomacia, tecnología geoestratégica, criminalidad, terrorismo, conflictos culturales, acuerdos de comercio e intercambio tecnológico, sanciones internacionales, etc.
- Riesgos sociales: dinámicas de población internas y externas, estabilidad social, pandemias, migraciones ilegales, sequías, falta de suministros eléctricos en la zona, vulnerabilidad social, etc.
- Riesgos tecnológicos: fallos críticos de los sistemas, ciberdelincuencia, conectividad, leyes de protecciones intelectuales, mercado abierto de materias primas, etc.

También en PMBoK 6 (PMI, 2017, p. 406) se establece un extracto sobre una RBS general que incluye también riesgos de gestión y riesgos comerciales.

3.3. Componentes del riesgo.

Los tres componentes principales de un riesgo son (Buchtik, 2015):

- El evento de riesgo o contingencia, es decir, lo que puede afectar positiva o negativamente al proyecto.
- Probabilidad de riesgo. Mide con que probabilidad puede ocurrir el evento.
- Impacto del riesgo. Efectos o consecuencias que para el proyecto tendría la ocurrencia del riesgo.

Es evidente que cuanto mayor sea la probabilidad del riesgo, mayor será la posibilidad de que ocurra, y si el impacto de ese riesgo es importante, la afección del riesgo al proyecto podría poner en peligro a este, si no se tuviera prevista ninguna contingencia para su atenuación o eliminación.

Un componente adicional del riesgo, que no suele incorporarse normalmente a los análisis de riesgos, es lo que se denomina Tolerancia al riesgo, también denominado en otros ámbitos como “apetito del riesgo”. Es decir, el nivel máximo de aceptación de riesgo que se puede dar en un proyecto. Normalmente la tolerancia al riesgo es difícil que sea tenida en cuenta de forma cuantitativa por lo que habitualmente se aplica el concepto de Función de Utilidad, que permite incorporar la subjetividad asociada a la toma de decisiones (Bravo Mendoza & Sánchez Celis, 2012b).

Hay que indicar que las pautas principales de gestión de riesgos de proyectos incluyen una definición de un nivel más alto de riesgo en los proyectos, llamado riesgo general del proyecto, que es diferente a los riesgos individuales. Este riesgo general se define como el efecto de la incertidumbre en el proyecto en su conjunto más la suma de los riesgos individuales dentro del proyecto analizado, y no suele ser tenido en cuenta o no se detalla lo suficientemente, teniendo una gran importancia, como se verá más adelante (Hillson, 2014).

Finalmente, dado que se considera que los escenarios actuales son muy complejos y comprenden numerosos riesgos de índole distinta, sería necesario encontrar un indicador genérico que pudiera encontrar el valor del riesgo global de forma mucho más realista, y no como resultado de un estudio cualitativo. Ese factor, lineal y cuantitativo, podría ser el factor de visibilidad, que se calcula con los valores de impacto y probabilidad asignados a cada evento de riesgo unidos mediante un algoritmo de combinación y un sistema de ponderación cuadrática (Vegas Fernández, 2019).

Otros estudios que buscan ese único factor de riesgo global de un proyecto acuden a una metodología donde se trabaja con un marco multivariable que no trabaje con disparos de eventos extremos, sino que lo haga con distribuciones de probabilidad (Palacios Rodríguez, 2017).

3.4. Herramientas para la gestión del riesgo.

Las personas y, por extensión, las organizaciones, tienen actitudes hacia el riesgo que afectan tanto a la forma en que perciben este, como a la respuesta ante él. Siempre que sea posible, estas actitudes respecto del riesgo deberían hacerse explícitas en su análisis. En cada proyecto, se debe desarrollar un enfoque de la gestión que sea consistente con el enfoque que se haga sobre el proyecto. El tratamiento y la comunicación acerca del riesgo deberían ser siempre abiertos, permitiendo que el equipo pueda aportar y mejorar el estudio de los componentes del riesgo durante el ciclo de vida. La respuesta del equipo de dirección ante el riesgo del proyecto debe reflejar la percepción de la organización acerca del mismo, así como el equilibrio que haya adoptado entre encarar y evitar posibles contingencias (Bravo Mendoza & Sánchez Celis, 2012a).

Es por ello por lo que la gestión de riesgos es uno de los principales procesos en la gestión de proyectos como numerosos autores reconocen (Bravo Mendoza & Sánchez Celis, 2012b; Horine, 2010; PMI, 2017, 2019; Raz & Michael, 2001).

La realización de estudios basados en herramientas en las fases de planificación, ejecución y control implica un aumento del coste de gestión de un proyecto, que normalmente suele no ser utilizados, aumentando la incertidumbre sobre los posibles riesgos que se puedan dar en un proyecto. Dichas herramientas suelen tener un carácter empírico y cualitativo como pueden ser árboles de decisión, diagramas de influencia, juicios de expertos, análisis DAFO, análisis causa-raíz, listas de verificación, etc. (Hillson, 2017).

3.5. Metodologías de gestión de riesgos.

La investigación del riesgo es importante para saber que metodología aplicar a la hora de su identificación, y la asunción de medidas tendentes a su erradicación o minoración en el caso de que sea una amenaza, o bien su permanencia o mayoración en caso de que sea una oportunidad.

Tal como analiza (H. Zhang, 2011) después de revisar la bibliografía existente hasta la fecha de la publicación de su estudio, existen dos escuelas a la hora de investigar el riesgo:

- **Riesgo como un hecho objetivo.** Es la escuela con los partidarios más numerosos. En este caso, el riesgo se asume como un hecho existencial, independientemente de la valoración que puedan realizar de forma subjetiva los interesados del proyecto. Las consecuencias que suelen preocupar, por tanto, están relacionadas con impactos físicos que pudieran afectar a los recursos humanos, seguridad o medio ambiente, por ejemplo. Se favorece el análisis técnico, y se promueve la estandarización de los procesos que forman parte de las metodologías de gestión de riesgos.
- **Riesgo como construcción subjetiva.** Esta escuela considera que el riesgo no es objetivo, sino que depende de la situación moral, emocional o reacción política del equipo que dirige el proyecto. La interrelación entre eventos de riesgo, circunstancias y reacciones de los interesados en el proyecto contribuyen a la existencia del riesgo. Esta escuela no considera sólo la probabilidad como uno de los componentes del riesgo, sino que deben añadirse otros factores como la experiencia, la organización, la sociedad o la cultura.

Zhang (*op.cit*) considera que actualmente existen cuatro grupos de estudios de riesgos en la gestión de un proyecto:

- **Sistema de gestión de proyectos.** Consideran al proyecto como un sistema temporal con objetivos predefinidos, no dependientes del juicio de los interesados del proyecto, donde los riesgos tienen una probabilidad asignada, al cual se le asocia un impacto para saber la consecuencia del riesgo en el proyecto.

- **Percepción subjetiva.** Al igual que el grupo anterior, considera al proyecto como un sistema, y considera también que la probabilidad es un elemento destacado en la toma de decisiones, pero que, siendo objetivo el riesgo, la percepción de este es subjetiva por parte de los interesados del proyecto, y se incorporan otros factores adicionales para analizar el riesgo.
- **Comportamiento irracional en la gestión de riesgos.** A pesar de obtener riesgos de manera objetiva identificando riesgos y asignándoles probabilidades, a la hora de gestionar estos, se comportan irracionalmente ignorando, retrasando o evitando el riesgo.
- **Construcción subjetiva.** Considera que la gestión de proyectos se levanta a partir de las amenazas u oportunidades que, subjetivamente, puede tener un riesgo determinado para los interesados de un proyecto. A partir de esos daños subjetivos, se crea la gestión sobre los hipotéticos riesgos.

En líneas generales, de los cuatro grupos de estudio que desarrolla el autor, el comportamiento irracional en la gestión de riesgos resulta ser una mala praxis, debido posiblemente a una elección errónea en la dirección del proyecto y la percepción y construcción subjetivas caben en un único estudio y pueden compartir ámbitos con el primer estudio.

Se analizan metodologías de gestión de riesgos de los principales estándares y métodos de la dirección de proyectos. Para ello se utiliza el análisis comparativo de (Guillart Juan & Capuz Rizo, 2020) y los diferentes manuales de los estándares.

3.5.1. PMBoK / PMI

En PMI 2017 (*Op. Cit.*) y PMI 2019 (*Op. Cit.*) se define la gestión de riesgos como un área de conocimiento que se realiza a través de los grupos de procesos de planificación, ejecución y seguimiento mediante siete procesos individuales. Hay que destacar que la gestión de riesgos se considera un área integradora, dado que aún en su realización diferentes grupos de procesos.

- a) **Planificar la gestión de procesos (grupo planificación).** Se obtiene en este proceso el plan de gestión de riesgos, describiéndose la manera en que se realizarán las tareas de gestión de riesgos.
- b) **Identificar riesgos (grupo planificación).** Se estudian los riesgos que pueden afectar al proyecto, obteniéndose el registro de riesgos y el informe de riesgos.
- c) **Realizar el análisis cualitativo de los riesgos (grupo planificación).** Se priorizan los riesgos individuales del proyecto para su análisis o acción posterior, evaluando la probabilidad de ocurrencia e impacto de dichos riesgos, así como otras características. Aquellos riesgos que tengan un mayor impacto serán objeto de un análisis cuantitativo.

- d) **Realizar el análisis cuantitativo de los riesgos (grupo planificación).** Se analiza numéricamente el efecto combinado de los riesgos individuales del proyecto, y otras fuentes de incertidumbre sobre los objetivos generales del proyecto. Se definirá el riesgo general del proyecto, que se obtendrá mediante combinación de los riesgos individuales de mayor impacto.
- e) **Planificar la respuesta a los riesgos (grupo planificación).** Se planificarán y desarrollarán acciones de respuesta para todos los riesgos del proyecto y el riesgo general de proyecto.
- f) **Implementar la respuesta a los riesgos (grupo ejecución).** Se ejecutan las acciones planificadas en el plan de respuesta. Se definen los disparadores para cada riesgo.
- g) **Monitorear los riesgos (grupo seguimiento).** El proceso de monitorear la implementación de los planes acordados de respuesta a los riesgos, hacer seguimiento a los riesgos identificados, analizar nuevos riesgos, y evaluar la efectividad del proceso de gestión de los riesgos a lo largo del proyecto.

Aunque este método puede considerarse eminentemente secuencial, algunos autores como (Becker, 2004) propone realizar algunos cambios en este proceso como es la implantación de una retroalimentación desde la monitorización hasta la identificación de riesgos para poder establecer un proceso iterativo, parecido a la gestión de riesgos en proyectos complejos.

3.5.2. PRINCE2

En Murray n.d. (*Op. Cit.*) y en Nájera 2019 (*Op. Cit.*) se define la gestión de riesgos estableciéndose 5 etapas: identificar, evaluar, planificar, implementar y comunicar. Las 4 primeras etapas se desarrollan de forma secuencial y la última está presente durante todo el ciclo de vida del proyecto. Estas etapas se realizan dentro de la temática Riesgo. Se apoya en el método MOR (Management Of Risk). Dicho método tiene una metodología genérica para gestionar el riesgo consistente en: entender el contexto del proyecto; involucrar a las partes interesadas; proporcionar informes regulares de los riesgos, y definir roles y responsabilidades de riesgos. En PRINCE2 no se considera la gestión de riesgos de una manera estática.

Las 5 etapas son las siguientes:

- a) **Identificar.** En esta etapa se hace un análisis del entorno donde va a desarrollarse el proyecto y sus principales características para identificar los riesgos. En este apartado, PRINCE2 establece dos subfases: Identificación del contexto, e Identificación de los riesgos.
- b) **Evaluar.** En esta etapa se valoran los riesgos anteriormente identificados, realizándose dicha valoración mediante dos subfases: Estimación del riesgo y evaluación del riesgo.

- c) **Planificación de las respuestas a los riesgos.** Se busca la respuesta más apropiada a cada uno de los riesgos evaluados.
- d) **Implementación de respuestas.** En esta etapa se ponen en marcha las respuestas anteriormente planificadas, comprobando que se realizan de la manera más adecuada, tomando decisiones correctivas si las respuestas no coinciden con las expectativas.
- e) **Comunicar.** Esta etapa se realiza durante todo el ciclo del proyecto y su objetivo es garantizar que toda la información referente a evolución de riesgos existentes, incorporación de nuevos riesgos, etc.... se notifique a las partes interesadas del proyecto.

3.5.3. PM2

En Kourounakis et al. 2017 (*Op. Cit.*) se define la gestión de riesgos en esta metodología. Durante la fase de planificación se crea el manual de proyecto (Project Handbook), donde se resumen como se indicó anteriormente, los objetivos del proyecto. Dentro de este manual se incluyen diferentes planes de gestión, entre los que se encuentra el plan de gestión de riesgos, donde se describe como se identificarán y evaluarán los riesgos, que herramientas y técnicas pueden utilizarse, cuáles son las escalas de evaluación, las tolerancias al riesgo, los roles y responsabilidades. Para la realización del plan de gestión de riesgos se utilizará un artefacto y también el registro de riesgos elaborado durante el seguimiento del proyecto (no es una etapa, sino que dura desde el inicio hasta el final del proyecto).

El plan de gestión de riesgos establece las siguientes pautas:

- a) **Identificación de riesgos.** El objetivo de este paso es facilitar la identificación y documentación de los riesgos que pueden afectar al proyecto. Esta identificación se realiza en etapas iniciales y se va actualizando durante todo el ciclo de vida del proyecto.
- b) **Evaluación de riesgos.** Se evalúan los riesgos en función de la probabilidad de ocurrencia y el impacto sobre los objetivos del proyecto.
- c) **Desarrollo de respuesta a los riesgos.** El objetivo de esta etapa es desarrollar la mejor estrategia de respuesta a los riesgos (amenazas u oportunidades) así como, determinar y programar las acciones para su control posterior.
- d) **Control de riesgos.** El objetivo de esta etapa es supervisar y monitorear la ejecución de las actividades de respuesta a los riesgos a la vez que se controla el entorno del proyecto.

3.5.4. UNE-ISO 31000:2018 y UNE 31010:2011

En (AENOR UNE-EN 31010, 2011; AENOR UNE-ISO 31000, 2018) se establecen la gestión de los riesgos en un conjunto de principios, los cuales:

- a) Procuran aportar valor a la gestión de riesgos.

- b) Establecen un marco de referencia que proporcione liderazgo y compromiso para la toma de decisiones.
- c) Constituyen una serie de procesos que organizan una secuencia estructurada para gestionar los riesgos.
- d) Finalmente, en UNE 31010 proporcionan adicionalmente técnicas para la evaluación de riesgos.

Las fases que establecen para el proceso de gestión de riesgo son:

- a) **Comunicación y consulta.** Se realiza esta fase en paralelo con las demás, y pretende hacer partícipes durante todo el proceso a los miembros de la organización y a las partes interesadas para entender el riesgo, los fundamentos a partir de los cuales se tomarán las decisiones, y los motivos por los que se deben tomar acciones específicas.
- b) **Alcance, contexto y criterios.** Se establece el alcance del proceso, definiéndose el contexto en el que se ejecutará el proceso para proporcionar una valoración eficaz del riesgo.
- c) **Evaluación del riesgo.** Se identifican los riesgos, se analizan estos y se evalúa su impacto. En esta fase toma especial relevancia la norma ISO-UNE 31010, ya que proporciona las técnicas necesarias para ello.
- d) **Seguimiento y revisión.** Consiste en controlar y dar seguimiento a los riesgos identificados con el objetivo de asegurar un proceso de gestión proactivo y eficaz.
- e) **Registro e informe.** Se realiza en paralelo a todas las demás con el objetivo de ir documentando de forma apropiada los resultados obtenidos.

3.5.5. Características de metodologías de riesgos convencionales.

Al igual que se vio en el [apartado 2.3](#) de metodologías de gestión de proyectos, en las metodologías de gestión de riesgos, se realizan las diferentes fases de un modo secuencial, continuo, con trazabilidad garantizada y cuyos resultados son medibles.

Aunque se propone diferentes fases, todas ellas realizan las mismas actividades, y solamente se diferencian en la profundidad del análisis, sobre todo, en la identificación de riesgos.

Por otro lado, no existe una diferenciación en la forma de realizar las guías de gestión de riesgos, dado que todas ellas se elaboran de la misma manera, generación de un documento por expertos a partir de lecciones aprendidas de bases de datos de proyectos.

Tal como se estableció al principio de este apartado de metodologías para la gestión del riesgo, se puede indicar que todas los estándares y métodos vistos, se pueden encuadrar en la escuela de riesgos como un hecho objetivo, y dentro del estudio de sistema de gestión de proyectos.

Otro hecho importante dentro de la gestión de riesgos, a diferencia de otras tareas, es que es una disciplina que requiere una participación interdisciplinar, puesto que los riesgos pueden tener efecto sobre actividades repartidas por todo el proyecto. Por tanto, no solamente es misión del responsable del proyecto o del coordinador de riesgos, sino que es necesaria la participación de todo el equipo técnico del proyecto, del responsable de costes, del de planificación, calidad, seguridad y del responsable del contrato (Morales Camprubí, 2015).

4. SISTEMAS COMPLEJOS.

4.1. Conceptos básicos de complejidad.

Un sistema es una combinación de recursos (humanos, materiales, información, etc...) que se integran para realizar una función específica obteniendo una necesidad definida (Blanchard, 1995).

Al analizar un sistema, se puede dividir este en unidades básicas para que, estudiando estas unidades, se pueda encontrar la funcionalidad del todo del que forman parte. Se denomina a este estudio, análisis de sistemas, técnica que permite estudiar sus elementos y las interrelaciones de estos (Torrón Durán, 1997).

Un sistema complejo contiene más información de la que puede proporcionar la suma de sus partes. Esto se debe, a que pueden ocurrir interacciones inesperadas que pueden generar nueva información. Esto se hace de forma dinámica, tanto interna como externamente (Arellano et al., 2016).

Esta definición, se puede considerar como una aproximación al concepto de sistema complejo, aunque no se deba considerar como una definición formal. Se ahondará, a continuación, en algunos principios para obtener esta definición que se quiere detallar.

Los elementos clave de los sistemas complejos son transversales, y proceden, principalmente de tres campos: la física (de donde provienen los aspectos estocásticos, topológicos, emergentes y de equilibrio), la biología (de donde se aportan los conceptos de evolución y coevolución) y las ciencias sociales (de donde se aportan los conceptos de dinámica de redes).

En un sistema convencional, o simplemente sistema, se tiene la capacidad de comprenderlo a través de un proceso analítico, generando una descripción matemática a través de ecuaciones diferenciales. Los resultados de dichas ecuaciones se pueden aplicar a una visión macroscópica del sistema, o bien, se puede encontrar otras expresiones, igualmente analíticas, para explicar el comportamiento de subsistemas o componentes dentro del sistema, enlazando tanto comportamientos microscópicos, como comportamientos macroscópicos. Sin embargo, en los sistemas complejos, esta precisión analítica no es posible, dado que esta no afecta por igual a todos los componentes microscópicos, y por tanto, ya no es posible, una visión analítica del sistema desde un punto de vista macroscópico, sino que es necesaria una visión probabilística para enlazar tanto los comportamientos microscópicos como los macroscópicos del sistema complejo. Por tanto, la mecánica clásica es sustituida por la mecánica estadística.

La idea básica de esto es vincular el mundo microscópico de los componentes con las propiedades macroscópicas de los sistemas complejos a través de un concepto clave que permite esta conexión, la entropía de Boltzmann-Gibbs (Hanel & Thurner, 2007).

En un sistema complejo, no sólo pueden cambiar sus componentes, sino que también pueden cambiar sus interacciones, tanto internas como externas. Es decir, a medida que evolucionan los sistemas complejos en su existencia, su estructura interna puede cambiar. La forma, por tanto, de expresar estos cambios solamente puede ser descrita a través de algoritmos que determinen, mediante una serie de reglas, cómo evoluciona su dinámica. La descripción del algoritmo es más que, simplemente, describir la evolución de los estados de los componentes, es analizar no sólo la evolución del sistema, sino también la evolución de sus estados internos a los siguientes estados que tengan que producirse (Abellanas & Lodares, 1991).

Los sistemas complejos suelen ser sistemas controlados, pero están fuera de equilibrio, lo que los hace difíciles de tratar analíticamente. Esto implicará que un sistema complejo sea un sistema dirigido hacia las zonas fuera de equilibrio. El hecho que un sistema complejo pueda estar en desequilibrio y no colapse se entiende mediante el concepto de criticidad autoorganizada, que permite explicar elementos esenciales de la mecánica estadística como son es la presencia de leyes de potencia (Marković & Gros, 2014).

La mayoría de los sistemas complejos evolutivos dependen de la ruta y tienen memoria. Por tanto, son no ergódicos¹ y no markovianos², como se verá más adelante. El posible adyacente a un nodo, es una forma de conceptualizar la evolución del espacio de fase “alcanzable” (Lewin, 1999).

Muchos sistemas complejos son robustos y adaptables al mismo tiempo. Aunque los conceptos de robustez de sistema y capacidad de adaptación sean excluyentes, la realidad confirma la existencia de ambos, a la vez, en muchos sistemas, incluidos los biológicos. Existen varias explicaciones sobre esta coexistencia, y en la que más se incide, es que cada sistema dinámico tiene un exponente de Lyapunov máximo, que mide cuanto puede un sistema acercarse al comportamiento caótico desde un comportamiento estable (H. Li et al., 2019). Si el exponente es un entero negativo, permanecerá estable cercano a un atractor, si el exponente es un entero positivo, derivará a un comportamiento caótico debido a una gran perturbación que se produce en su medio ambiente. Si el exponente es cero, el sistema se encuentra al “borde del caos”.

Ahondando en esta última idea, la mayoría de los sistemas complejos siguen dinámicas evolutivas. A medida que avanzan, cambian su propio entorno, su contexto o sus condiciones de contorno. Muchos sistemas complejos son adaptables y robustos al mismo tiempo. Operan al “borde del caos”. La criticidad autoorganizada es un mecanismo que regula los sistemas

¹ En este trabajo de investigación, un sistema es ergódico cuando su valor esperado es igual a su promedio a largo plazo. Puede verse como que el sistema después de un período de tiempo suficiente retorna a un estado previamente experimentado.

² Un sistema es markoviano cuando el estado actual del sistema sólo depende del estado anterior y no de los estados anteriores. Se puede asemejar a una máquina de estados finita.

complejos al borde del caos, y permite a los sistemas organizarse endógenamente para operar en un punto crítico dependiendo de la estructura del sistema complejo (Bak et al., 1987b).

Encontrarse en esta última situación se interpreta como la predisposición que puede tener un sistema a evolucionar, por ejemplo, en una determinada situación política, un cambio en un ser vivo, modificaciones no esperadas en un proyecto, etc. (Benbya et al., 2020).

Por tanto, se deberá indicar que, los sistemas complejos son diferentes a los sistemas caóticos, aunque, tanto uno como otro, sean sistemas dinámicos. Ambos sistemas son bastante sensibles a las condiciones iniciales, pero los sistemas caóticos son inestables durante todo su ciclo de vida. Los sistemas complejos pueden ser inestables, pero un análisis detallado los hace predecibles. Es cierto que las condiciones iniciales necesitan de un análisis más profundo que los sistemas convencionales o simplemente sistemas, siendo esta su gran dificultad. Algunos autores tienden a confundir la terminología, lo que dificulta la clarificación de los conceptos, por ejemplo (Rihani, 2002).

Dos importantes componentes forman parte de los sistemas complejos: Las redes de interacción multicapa, y la teoría de juegos.

Las redes de interacción multicapa expresan topológicamente las interacciones que ocurren con diferentes grados de fuerza en una serie de redes de interacción superpuestas. Este tipo de redes representa mucho más adecuadamente lo que ocurre en la naturaleza, en interconexiones de transportes y en las relaciones sociales (Boccaletti et al., 2014a).

La teoría de juegos permite determinar el resultado de interacciones racionales entre agentes que intentan optimizar su posición frente a otros agentes, todos ellos racionales. Este concepto tiene como elemento más importante la dinámica, y dentro de ella la recursividad (Blackwell & Girshick, 1979).

Se puede realizar ahora una primera definición más formal, resumida, que incluya los diferentes elementos presentados en este apartado. Dicha definición, adoptada de Thurner, Hanel y Klimek, en su obra “The Theory of Complex Systems” (Thurner et al., 2018) es la base de este acercamiento a la mecánica y a la dinámica de los sistemas complejos que se utilizarán más adelante:

Los sistemas complejos son redes multicapa en coevolución.

De esta primera definición formal se puede deducir las siguientes afirmaciones (Chu et al., 2003):

- **Los sistemas complejos, en líneas generales, están compuestos por muchos elementos.** Estos elementos se caracterizan por estados, que puede ser un escalar o un conjunto de escalares formando un vector o tensor de estados.
- **Los elementos de un sistema complejo interactúan entre sí a través de uno o más tipos de interacción.** El estudio de los elementos y sus interacciones, por facilidad, se

realiza en redes, esquematizadas en grafos y analizadas matemáticamente mediante operaciones sobre matrices de adyacencia, de incidencia o de pesos.

- **Las interacciones, en la mayoría de los casos, se realizan por intercambio de estados entre los nodos de los grafos.** Se dice que cuando la fuerza de la interacción es mayor/menor, se refiere a un mayor/menor intercambio entre nodos. Estas interacciones son dinámicas respecto al tiempo, pudiendo ser deterministas o estocásticas.
- **Los sistemas complejos se caracterizan por** el hecho de que, estados e interacciones no son independientes, sino que evolucionan juntos con una doble influencia. Se dice entonces que los estados y las interacciones **coevolucionan**. Esta posibilidad puede ser determinista o estocástica.
- **La dinámica de las redes multicapas** en la que se representa un sistema complejo suele ser no lineal.
- **Los sistemas complejos son algorítmicos.** Esta consecuencia es directa del carácter discreto de las interacciones entre redes y estados.
- **Los sistemas complejos dependen del contexto en el que se encuentran.** Al ser representados, en la mayoría de los casos, por redes multicapa, para saber el contexto en el que está un elemento en una capa, habrá que observar el resto de las capas a su alrededor. Las redes multicapas suelen ser interpretados como “sistemas cerrados”, pudiendo ser impulsados externamente, siendo disipativos y no hamiltonianos.
- **Los sistemas complejos dependen de la trayectoria** que puedan tener, en consecuencia, de manera general estos sistemas no son ergódicos.
- **Los sistemas complejos, a menudo, tienen memoria.** Dicha información está depositada en los nodos o en la estructura multicapa debido a que los cambios de estado son lentos. Por tanto, los sistemas complejos no suelen tener procesos de Bernouilli (procesos sin memoria) o procesos de Markov (procesos con un solo paso de memoria).

Se puede inferir una segunda definición formal a partir de la primera dada en este apartado y las afirmaciones anteriores:

Un sistema es complejo si los estados cambian en función de la red de interacción y, simultáneamente, las interacciones (las redes) cambian en función de los estados.

Tal como se puede ver en la *imagen 4-1*, donde pueden observarse dos representaciones esquemáticas de la misma red multicapa. Los nodos se caracterizan por un vector de estado bidimensional. El primer componente está dado por los colores (gris claro y oscuro), el segundo por las formas (círculos, cuadrados). Los nodos interactúan a través de tres tipos de interacción

que están representados por líneas (completas, discontinuas y punteadas). En (a), se representa la proyección de la red multicapa como si sólo existiera una única capa. En (b), se tiene la representación real donde cada tipo de enlace se presenta en una capa diferente. El sistema es complejo si los estados cambian simultáneamente en función de la red de interacción y si las interacciones cambian en función de los estados (Thurner et al, Op. Cit.).

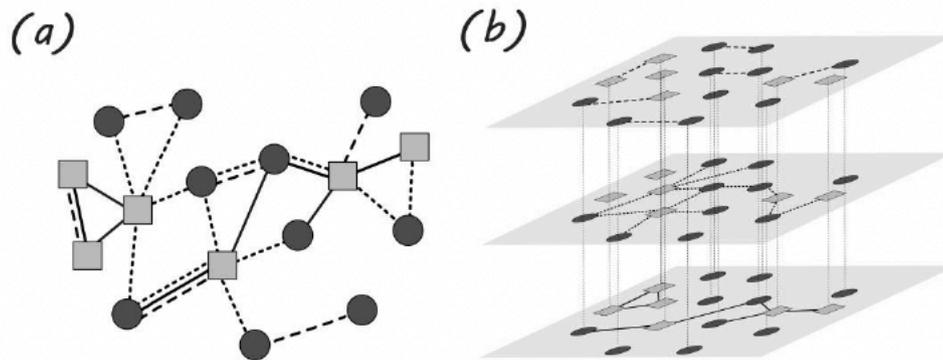


Imagen 4-1. Sistema complejo como red multicapa (Fuente: Thurner et al)

No es lo mismo un sistema complejo que un sistema complicado. Los sistemas complicados requieren de herramientas más sofisticadas para dividir el todo en sus partes básicas, y el reconocimiento de las interrelaciones de estas partes básicas puede ser difícil, pero en un sistema de este tipo, se sigue cumpliendo la máxima de que el todo es la suma de sus partes básicas. En el caso de un sistema complejo esto no ocurre así, dado que las partes básicas que lo forman pueden dar más información que la que se obtendría si el sistema fuese “una caja negra”.

Para un estudio más riguroso de un sistema complejo, es necesario analizar tanto las redes entre las unidades básicas que forman el sistema, como entre estas y unidades exteriores al sistema. Esto es importante, dado que dichas redes son capaces de cambiar sus características, volviéndose más o menos resilientes, adaptables a eventos y pueden aumentar o disminuir el riesgo de manera imperceptible e impredecible (Weaver, 2007).

Los sistemas complejos tienen adicionalmente una serie de características que pueden enumerarse como sigue (Hass, 2009):

- **Emergencia.** Nacimiento de nuevas estructuras y propiedades nuevas debido al proceso de autoorganización en los sistemas complejos.
- **Sub Óptimo.** Un sistema complejo no tiene que ser perfecto para crecer en su entorno, sólo tiene que ser un poco mejor que otros sistemas que lo rodean. Los sistemas complejos intentan utilizar la menor energía para dichos cambios. Además, los límites del sistema complejo no siempre son definibles, pudiendo presentar características de sistema abierto o cerrado dependiendo de la diversidad de sus interacciones.

- **Diversidad.** Cuanto más diverso es un sistema complejo, mayor capacidad de subsistencia tiene. De ahí que la existencia de elementos ambiguos y de incertidumbre sea importante dentro del sistema complejo. De esta manera tiene mayor capacidad de coevolución con su entorno.
- **Simpleza.** Los sistemas complejos funcionan con reglas y conexiones bastante simples, lo que les permite tener una mayor diversidad.
- **Iteraciones.** Pequeños cambios en las condiciones iniciales del sistema pueden tener grandes efectos después de haberse repetido varias veces un determinado ciclo, debido a las retroalimentaciones, tanto positivas como negativas, que se dan dentro del sistema complejo.
- **No linealidad.** Los sistemas complejos no suelen obedecer la ley de la superposición, también llamada de aditividad, por tanto, sus salidas no suelen ser resultado de la causa de sus entradas.

Otro aspecto importante de los sistemas complejos es que subsistemas o elementos que no tienen importancia dentro de un sistema convencional, aquí pueden adquirir bastante preponderancia a través del conjunto de conexiones e interrelaciones que se alcanzan, y que ayudan a que puedan darse otras características juntamente con esta, amplificando sus resultados (Cilliers, 2021).

Por último, se debe indicar con respecto a los sistemas complejos, que la inferencia deductiva no suele ser válida, pues las probabilidades básicas incluyen sucesos a priori y condicionales sobre proposiciones aparentemente simples, y que el cálculo de probabilidades sobre causas desconocidas a partir de sucesos condicionales, experimenta una dificultad de cálculo directamente proporcional al número de elementos que existen y que se generan en un sistema complejo, por lo que no se puede generar una distribución de probabilidad homogénea en todo el sistema complejo (Russell & Norvig, 2004)

Un proyecto es un sistema que elabora, asimismo, otro distinto, el alcance, y tiene una finitud en el tiempo, dado que, una vez conseguido el resultado, se considera al sistema finalizado. Se podría entender que desde un punto de vista físico su transcendencia es mínima. Asimismo, las relaciones entre sus elementos, tanto en la gestión como en el resultado, son difíciles de establecer tal como se considera en (Gómez-Senent et al., 2020), pero se entiende que la jerarquía en los criterios de gestión o en los resultados, no invalida el hecho de que pueda ser considerado un sistema.

Se puede considerar que un proyecto complejo es, también, un sistema complejo, donde no se requiere de una jerarquía para su existencia, sobre la base de su capacidad de organizarse por sí mismo. Un proyecto complejo puede serlo, porque se pueden producir actividades que tengan incertidumbre, ambigüedad, volatilidad y complejidad, dando como resultado riesgos difíciles de

controlar, bien porque el entorno donde se desarrolle sea asimismo complejo o, por último, porque su resultado sea complejo.

Tal como se indica en la nueva versión del PMBoK, en su séptima edición (PMBoK_7, 2021) la incertidumbre es un elemento adicional de un proyecto, dado que muchas de sus actividades no pueden realizarse con absoluta certeza, y pueden presentarse diferentes alternativas. Sus resultados potenciales pueden ejercer un efecto negativo, una amenaza sobre la gestión de este, o sobre el alcance que resulta de él. Se puede resumir que las posibles respuestas a este ambiente de incertidumbre se basan en un conocimiento previo, mediante recogida de información, valorando los posibles resultados alternativos, estableciendo pequeños puntos de control a cada toma de decisión sobre una alternativa elegida, e incorporando resiliencia al proyecto, capacidad de adaptación, para que, en caso de tomar una alternativa equivocada, se pueda aprender del error y adaptarse rápidamente al entorno.

Respecto a la ambigüedad, se establecen en dicho manual dos tipos: la conceptual, y la situacional. La primera se debe a una falta de comprensión grupal ante un mismo hecho. La segunda se debe a la posibilidad de obtener diversos resultados ante una misma acción. Las posibles soluciones planteadas se basan en una elaboración progresiva mediante procesos iterativos, incrementando el nivel de definición de la solución que se pueda plantear mediante estimaciones. Otra posible solución, sobre todo con respecto al alcance, es la realización de experimentos y fases de prototipado hasta alcanzar el resultado correcto.

Respecto a la volatilidad de los resultados de gestión o de alcance debido a cambios rápidos e impredecibles, se establecen diversas posibles soluciones, que pasan por analizar alternativas que se puedan dar, identificando su peso en el proyecto, secuenciando el trabajo en pequeños subsistemas mediante un control exhaustivo, y asignando una reserva en costes y en planificación.

Respecto a la adaptabilidad, los cambios de comportamiento de un sistema complejo suelen estar basados en la retroalimentación de sus elementos al interactuar, tanto dentro del sistema como con la coevolución del entorno. La adaptabilidad sustenta la autoorganización manteniendo alejada la posibilidad de implosión del sistema complejo (M. Mitchell, 2009).

Por último, con respecto al concepto de complejidad, este es definido sobre todo por la gran cantidad de interrelaciones y de retroalimentaciones que pueden darse en un proyecto complejo. Se deben enumerar una serie de técnicas de trabajo, para hacer frente a dicha complejidad dependiendo de la forma en que esta se aborde. Si el planteamiento se produce basándolo en sistemas, las posibles respuestas consistirían en eliminar interrelaciones, trabajando con subsistemas y simulando escenarios similares. Si se acomete mediante replanteamiento, las posibles respuestas se basan en establecer visiones desde diferentes perspectivas, y hallar un equilibrio entre análisis de procesos o de tendencias y análisis prospectivos. Por último, si el enfoque se realiza basado en procesos, se establecen como posibles respuestas iterar o

incrementar, involucrando más a los interesados e incorporando redundancias (Batty & Torrens, 2001).

En 1984, cuando la gestión ágil de proyectos estaba muy poco desarrollada, ya se estableció que, para poder operar proyectos con un alto grado de incertidumbre, el mejor camino, además de establecer las correspondientes contingencias, se requería introducir un esfuerzo analítico, para determinar los problemas que pudieran producirse y actuar en consecuencia (Traylor et al., 1984).

Con mayor frecuencia, los proyectos son cada vez más complejos, y esto está relacionado con los resultados de desempeño del proyecto. Este análisis no debe hacerse sólo frente a la complejidad y a la incertidumbre, sino también al enfoque previo, basándose en un estudio sobre cuanto riesgo puede tener un proyecto antes de comenzar aplicando una herramienta visual basada en el análisis de ocho parámetros: coste/duración; tamaño del equipo; composición y funcionamiento del equipo de proyectos; flexibilidad y urgencia en el entregable; complejidad en las TI, volatilidad en los requerimientos; Número de interesados; nivel de la organización y riesgos, restricciones y dependencias (Hass & Lindbergh, 2010).

Es necesaria una nueva interrelación, mucho más importante, con los interesados del proyecto, y se debe tener cada vez más en cuenta, la gestión de riesgos, estableciéndose, asimismo nuevas herramientas, ciclos de vida y enfoques que permitan una mayor adaptación, tanto en la gestión del proyecto sobre el entorno donde se va a realizar, como en el entregable final resultado del proyecto (Kerzner & Belack, 2010).

Cuando se tienen situaciones de gran dinamismo, es necesario no tratar los proyectos de forma estática, debiéndose reconsiderar la forma tradicional de abordarse estos, mediante herramientas utilizadas en proyectos convencionales o predictivos, dado que es muy previsible que sobrevengan costes y planificaciones adicionales por planteamientos iniciales poco realistas (San Cristóbal et al., 2018).

En una época más cercana, en (Fewell, 2019), se establece como arquetipo para tratar la incertidumbre y la complejidad evaluar el enfoque en el proyecto y verificar el grado VUCA del mismo para obtener un buen resultado.

Se puede resumir que, para poder afrontar un proyecto complejo es necesario establecer pasos cortos con iteraciones e incrementos, implicando más a los interesados, prototipando los resultados de forma gradual para hacerlo seguro. Desde luego, un enfoque predictivo o convencional no parece el más adecuado para poder dar una respuesta a estos factores. El punto de partida que se está sugiriendo, y que puede dar un mejor resultado, es acometer una gestión adaptativa del proyecto.

4.2. Probabilidad y aleatoriedad en sistemas complejos.

Hasta hace pocas décadas, lo importante de un sistema era determinar completamente su solución, obviando particularidades estocásticas, probabilísticas o aleatorias. Como consecuencia de ello, en variadas ocasiones, no se obtendría los resultados adecuados en la resolución de dichos sistemas. El aumento de la potencia de cálculo en sistemas no solamente físicos o matemáticos, sino también biológicos, sociales o económicos, ha podido determinar las fuentes de incertidumbre y de aleatoriedad que anteriormente era imposible conocer.

Los sistemas complejos no pueden ser estudiados analíticamente, como regla general, por su tendencia a dar resultados anómalos, principalmente, por su aleatoriedad en las condiciones iniciales y (ver la coevolución entre estados e interacciones).

Una forma de poderlos analizar es realizar un estudio algorítmico y utilizar la mecánica estadística. Dicha mecánica conlleva el estudio del comportamiento de las distribuciones de datos obtenidos. En este sentido se ha indicado que hay ciertas distribuciones que se comportan como atractores de números aleatorios y que tienen un álgebra que puede ser aplicada a los sistemas complejos. Así, la distribución gaussiana se comporta como atractor de suma de números aleatorios, y la distribución logarítmica se comporta como atractor de producto de números aleatorios. Dos distribuciones más son atractores de sistemas estables, la de Cauchy y la de Lévy, aunque ambas son leyes de potencia asintótica.

En muchos sistemas complejos, las funciones de distribución son de cola gruesa (ver *imagen 4-5*) cuando se aplican valores extremos, y estas funciones además pueden verse como generalizaciones de otras distribuciones, siendo en líneas generales combinación de leyes de potencia y leyes exponenciales o exponenciales generalizadas. Esta última función aparece de forma natural en el contexto del estudio de equilibrio mediante entropías en sistemas complejos.

Los procesos estocásticos se pueden dividir según el tipo de memoria que tienen. Hay procesos sin memoria, como los procesos de Bernouilli, procesos que tienen memoria de un paso, los procesos de Markov y aquellos procesos que dependen de la historia o de la ruta.

Por último, los procesos³ disipativos se mueven por acción de una “energía” que los saca de su posición de equilibrio. Dichos sistemas se caracterizan por procesos fuente y procesos sumidero. El proceso fuente es un espacio de muestra en expansión y un proceso sumidero es un proceso donde se reduce el espacio de muestra. En este paso de fuente a sumidero se crea un flujo de energía que a nivel microscópico se describe como una dinámica probabilística que viola el equilibrio. Hay por tanto una corriente estadística entre dos conjuntos adyacentes de estados.

³ Se utiliza indistintamente el concepto de sistema y el de proceso. Además de ser, como se ha indicado anteriormente un conjunto de acciones y actividades interrelacionadas, en esta definición de proceso se refiere a una “fotografía” en un instante de tiempo t de un sistema.

Para una mayor profundización en este apartado se puede leer (Thurner et al, 2018, Op. Cit.), (Pinsky & Karlin, 2010), (Sornette, 2007) o (Kowalski, 1986).

4.2.1. Axiomas de Kolgomorov. Teorema de Bayes.

La teoría de la probabilidad se ocupa de las posibilidades y la incertidumbre de la realización de ensayos, estudiando las alternativas a realizar obteniendo las probabilidades de su realización. En este sentido, la noción de probabilidad se deriva de la noción de existencia o no de posibilidades, estando estrechamente relacionada con ella.

Los procesos aleatorios se caracterizan como ensayos independientes o interdependientes. A la colección de todos los resultados posibles de un ensayo se le llama espacio muestral. En un experimento, un proceso se caracteriza por variables observables, que son deterministas si su valor puede predecirse con certeza, y estocásticas en caso contrario. La función que relaciona los elementos del espacio muestral con su probabilidad de ocurrencia se denomina función de distribución de probabilidad.

Los procesos de urna, también conocidos como proceso de Pólya, permiten conceptualizar y modelar procesos aleatorios, controlando la evolución del espacio muestral de la urna (su contenido). Pueden verse como generadores aleatorios “programables” elementales, que pueden usarse para implementar algoritmos que modelan procesos aleatorios complicados.

Distintas formas de extraer de una urna el contenido corresponden a distintos procesos aleatorios que, a menudo, se asocian con distintas funciones de distribución. Por ejemplo, sacar de una urna con reemplazo o sin reemplazo de bola orienta la distribución hacia la multinomial e hipergeométrica respectivamente.

La teoría de la probabilidad proporciona un medio para tratar la información insuficiente y la incertidumbre en determinadas condiciones, permitiéndonos predecir las frecuencias de ocurrencia de eventos (típicamente independientes) en muestras grandes, sistemas grandes o series largas.

Los axiomas establecidos por Kolgomorov, quizás sean los más conocidos dentro del estudio de las probabilidades y la aleatoriedad (Sánchez Figueroa et al., 2007). Los axiomas indican lo siguiente:

Cualquier función de probabilidad P que cumpla los siguientes tres axiomas se denomina medida de probabilidad sobre el espacio muestral:

Ax1. (Axioma de la positividad). Para cualquier subconjunto $A \subset \Omega$, $P(A) \geq 0$. Esto quiere decir que para cualquier subconjunto del espacio muestral Ω , la probabilidad P es siempre mayor o igual a cero.

Ax2. (Axioma de la unitariedad). $P(\Omega) = 1$. Esto quiere indicar que la probabilidad de todo el espacio muestral Ω es uno.

Ax3. (Axioma de la aditividad). Para cualquier secuencia de subconjuntos del espacio muestral Ω , mutuamente disjuntos (A_1, A_2, \dots) , entonces:

$$P\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i\right) = \sum_{i=1}^{\infty} P(A_i) \quad (4.1)$$

Esto quiere decir que la probabilidad total de una serie de subconjuntos disjuntos de un espacio muestral es la suma de sus probabilidades.

A partir de los *axiomas de Kolmogorov* se obtienen una serie de definiciones sobre probabilidad independiente y probabilidad condicional siendo las más importantes las siguientes:

- Dos variables aleatorias son estadísticamente independientes si,

$$P(X_1 \in A_1, X_2 \in A_2) = P(X_1 \in A_1) P(X_2 \in A_2)$$

Para todo $A_1 \subset \Omega_1$ y $X_2 \subset \Omega_2$

- Probabilidad condicionada. Teorema de Bayes.

$$P(X = i/Y = f) = P(Y = f/X = i) \frac{P(X=i)}{P(Y=f)} \quad (4.2)$$

Esto indica que, si se conoce el proceso (o un modelo de este) que asigna condiciones iniciales inciertas i (como parámetros del modelo) a las observaciones finales f (datos introducidos por el proceso), es decir, si se conoce $P(Y=f / X=i)$ entonces se puede inferir la distribución de probabilidad de una condición inicial desconocida i , condicionada a los datos observados f . Dicho de otra forma, la inferencia bayesiana se realiza para problemas en los que se le da una muestra $x(N) = (x_1, \dots, x_N)$ que registra el resultado de N experimentos típicamente idénticos e independientes.

El teorema de Bayes permite comparar la calidad de un modelo de generación de datos con la de otro, independientemente si los modelos son correctos. Los nuevos datos se pueden utilizar para actualizar las probabilidades anteriores y posteriores de forma iterativa. Si hay suficientes datos disponibles y los modelos de generación de datos son razonables, el proceso se puede iterar hasta alcanzar un nivel de significación preestablecido. Con ello se pueden establecer probabilidades condicionadas en las aristas de las redes que puedan formarse en un sistema complejo.

4.2.2. Teorema del límite central.

Un aspecto importante dentro de la mecánica estadística es si se puede realizar operaciones algebraicas con números aleatorios. Es decir, si se suma variables aleatorias ¿qué se obtiene? O también se puede preguntar ¿cuál es la función de distribución de una suma de números aleatorios? Estas preguntas son respondidas por la ley de los grandes números.

Dicha ley tiene dos partes que se exponen a continuación:

- La **ley débil de los grandes números** establece que si se tienen variables aleatorias $X(n)$ independientes e idénticamente distribuidas con una media $|X(n)| = \mu$, para cualquier número $\epsilon > 0$ (por cercano a cero que esté) se cumple que,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(|y_N - \mu| > \epsilon) = 0 \tag{4.3}$$

Esto quiere decir que la suma de variables aleatorias converge en el infinito a la media de una distribución de probabilidad.

- La **ley fuerte de los grandes números** establece que bajo las condiciones de la ley débil de los grandes números se cumple que,

$$P\left(\lim_{N \rightarrow \infty} y_N = \mu\right) = 1 \tag{4.4}$$

Esto quiere decir que Y converge con total seguridad en μ

La ley de los grandes números indica que, si se ha tomado suficientes muestras de un sistema, por lo general es seguro estimar la media μ de los procesos independientes y uniformemente distribuidos.

De manera empírica, si se tiene una distribución determinada que se puede denominar $f(a)$ y se opera con ella misma durante un determinado número de iteraciones, la distribución converge a una distribución gaussiana siempre que la media y la varianza sean finitas. En este sentido, la distribución gaussiana es un “atractor” de una coevolución iterada de funciones de distribución finitas (imagen 4-2).

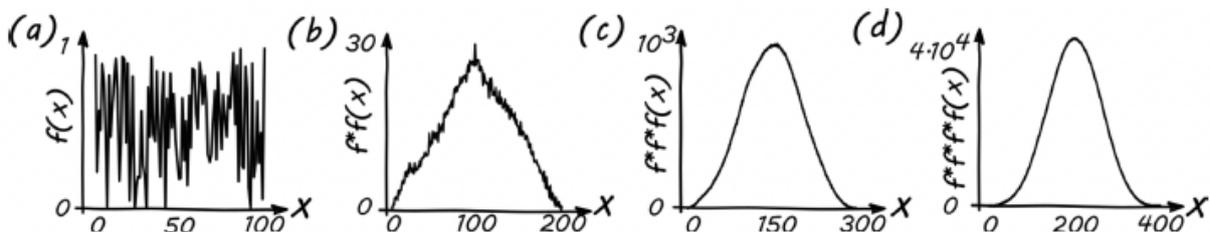


Imagen 4-2. Resultado de la convolución de una distribución finita (Fuente: Thurner et al)

El teorema del límite central indica que (Escofet, 2019):

Si una muestra es lo bastante grande, sea cual sea la distribución de la variable de interés, la distribución de la media muestral será aproximadamente una distribución gaussiana o normal. Además, la media será la misma que la de la variable de interés, y la desviación típica de la media muestral será aproximadamente el error estándar de una distribución gaussiana o normal.

Este teorema implica que las distribuciones gaussianas son los llamados atractores o distribuciones límite del producto de convolución.

Para las variables aleatorias multiplicativas (y la media geométrica de las variables aleatorias), la distribución logarítmica normal desempeña el mismo papel que la distribución normal para las variables aditivas (y la media aritmética) de las variables aleatorias.

El teorema del límite central tiene generalizaciones para otras tantas familias de distribuciones, y asegura una definición de estabilidad en una distribución. Una distribución se denomina estable cuando es una combinación lineal de dos o más distribuciones estables. A las familias de distribución estables se las denomina también α -estables. Dentro de este tipo de familias $\alpha = 1$ es la distribución de Gauss. El valor de α está entre $(0,2]$. Dentro de este grupo hay tres distribuciones: Distribución de Gauss, de Cauchy y de Lévy. De esta forma no solamente la distribución gaussiana será estable, sino aquellas distribuciones con el valor de $\alpha < 2$ también lo serán, si la varianza es finita. (Borak et al., 2005).

4.2.3. Funciones de distribución de cola gruesa.

Las funciones de distribución α -estables de Cauchy y Lévy que se han comentado en el apartado anterior tienen una característica de “atractor”, tienen un comportamiento poco estable cuando se tienen eventos extremos (grandes valores de la variable aleatoria). Si se observa la *imagen 4-3* en la que se representan tres funciones de distribución, tanto linealmente como logarítmicamente, al revisar el desarrollo para grandes valores de las funciones de distribución tienen un decaimiento lento (ver representación en el diagrama de menor tamaño) que asemeja a una función cuasi lineal que podría compararse con una ley de potencia asintótica.

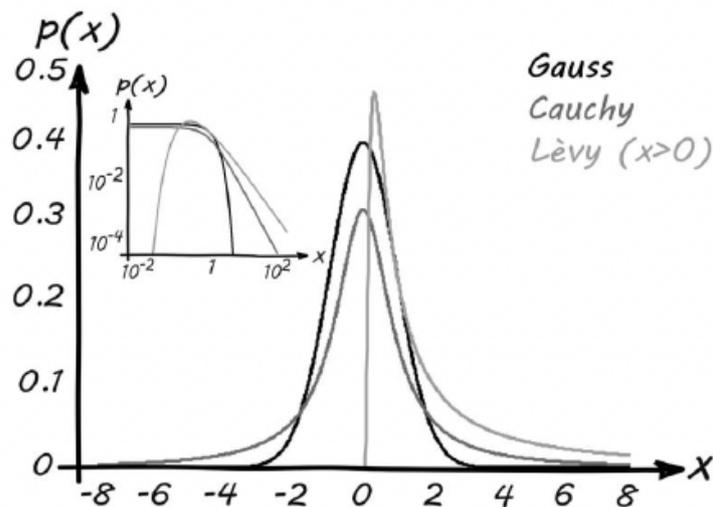


Imagen 4-3. Tres familias de distribuciones y su transformación en lineales (Fuente: Thurner et al).

Las distribuciones con cola gruesa aparecen asociadas, casi en su totalidad, a sistemas complejos y suelen decaer lentamente.

Otras funciones de distribución que tienen un comportamiento parecido, aunque no llegan a ser atractores (lo cual lleva a un comportamiento estocástico al borde del caos) son:

- Distribución de Pareto. Su progresión logarítmica es una ley de potencia continua con exponente $\alpha + 1$.
- Distribución de Zipf. Asociada a secuenciación probabilística de generación de palabras en computadoras.
- Distribución t de Student. Asociada a muestras de pequeño tamaño o aquellas que tienen desviaciones estándar desconocidas.
- Distribución de Boltzman. Asociada a eventos independientes que ocurren recursivamente un número n de veces, como por ejemplo en equilibrios térmicos.
- Distribución de Gumbel. Asociada a eventos sociales, climáticos y políticos. Son importantes para la teoría de valores extremos y las estadísticas de registro. Permiten tratar con tasas que aumentan o disminuyen con el tiempo.
- Distribución de Weibull. Asociada a estadísticas de mantenimiento industrial que estudia el envejecimiento de productos tecnológicos.
- Distribución de Gompertz. Distribución de dos parámetros que como la distribución de Weibull se aplica a eventos sociales, climáticos y también biológicos.
- Distribución exponencial Lambert. Combina una distribución exponencial con otra distribución con ley de potencia en extremos.

Aunque se conocen varios mecanismos que producen funciones de distribución de cola gruesa, no se tiene un conocimiento exacto de su causa exacta. Entre los motivos están la criticidad, la criticidad autoorganizada, los procesos multiplicativos, el apego preferencial o los procesos de reducción muestral.

4.2.4. Procesos estocásticos.

Los procesos estocásticos son secuencias de ensayos aleatorios. El proceso puede ser simple, lo que significa que el pasado no influye en las posibilidades de observar eventos futuros. O bien, el proceso puede ser arbitrariamente complejo, lo que suele ser el caso si tiene una dinámica probabilística subyacente dependiente de una historia.

Los procesos de Bernoulli son independientes del tiempo y sin memoria. Son secuencias de ensayos de variables independientes distribuidas homogéneamente en el espacio de muestra, que es finito y discreto. Sus eventos se distribuyen multinomialmente.

Las distribuciones de Poisson son procesos de conteo, es decir cuentan el número de ocurrencias de eventos que suceden aleatoriamente, pero a un ritmo determinado. Se obtienen como límite cuando los elementos tienden a infinito en las distribuciones binomiales.

Los procesos de Markov sólo tienen memoria del ensayo más reciente (el estado anterior al actual, para ser más exactos). Son procesos que saben dónde están, pero no dónde han estado. Son ampliamente utilizados en todas las ciencias, sobre todo en teoría de la información, dado que se pueden asemejar a caminatas aleatorias en una red dirigida. Se utilizan también en tratamiento de riesgos en proyectos convencionales, aunque no son apropiados para poder obtener un histórico de aleatoriedad.

Las sumas acumulativas de procesos como Bernouilli, que no tienen memoria, producen procesos de Markov. En general, los incrementos de los procesos de Markov son variables aleatorias dependientes del tiempo, pero no distribuidas de manera homogénea por el espacio muestral.

Las caminatas aleatorias a menudo no tienen memoria de su proceso de incremento. Estos paseos aleatorios son procesos de Markov. Sin embargo, los recorridos aleatorios pueden tener procesos de incremento dependientes del historial o autocorrelacionados. Por tanto, son caminatas dependientes de la ruta.

Las distribuciones dependientes de la ruta o de la historia no poseen promedios de conjunto y las medias de muestra ya no son las mismas. En general, la ley de grandes números no se cumple para los procesos dependientes de la trayectoria; más muestras no aumentarán necesariamente la precisión de las mediciones de las variables estocásticas. Estos procesos son frecuentemente no ergódicos, dado que los promedios de tiempo y los promedios de conjunto no coinciden. Para este tipo de procesos, la ley de los grandes números, en general, no se cumple.

Los sistemas disipativos accionados son el núcleo de muchos sistemas complejos. Se denominan disipativos porque hay un gradiente de energía que aleja al sistema del equilibrio. Sin la aplicación de esa energía, los sistemas no se moverían de dicho punto de equilibrio.

Los procesos disipativos impulsados a menudo consisten en un espacio de muestra dinámico que aumenta y/o disminuye con el tiempo. Están normalmente compuestos por una parte que los impulsa y otra parte que los relaja. Las estadísticas de los sistemas disipativos accionados pueden entenderse parcialmente si se conoce la dinámica de los espacios muestrales. Los procesos evolutivos son procesos con espacios muestrales dinámicos, donde los eventos de innovación y extinción modifican el volumen del espacio muestral a lo largo del tiempo.

4.3. Escalamiento y criticidad.

El escalamiento es el proceso por el cual se relacionan funcionalmente dos cantidades, una de ellas es afectada por una constante (se dice que está escalada por un factor de escala) que

multiplica a la otra cantidad, que es la inicialmente planteada. El escalamiento cumple una serie de leyes que, en el caso de sistemas complejos, está asociada con leyes de potencia.

La escala aparece en muchos contextos diferentes. Así el objeto de escala puede ser una función matemática, una ley física o una función de distribución que describa las estadísticas de un sistema o un proceso temporal. En este trabajo sólo se reseñarán las leyes de escala que pueden afectar a sistemas complejos estocásticos. Dichos sistemas, como se ha visto en el apartado anterior, pertenecen a funciones de distribución que son leyes de potencia o de cola gruesa.

Desde la criticidad y la criticidad autoorganizada, pasando por los procesos multiplicativos, los procesos preferentes y finalizando en los procesos de reducción de espacio muestral, el escalado se hace presente. La justificación es trivial, al indicar que los sistemas complejos y sus procesos más característicos siguen leyes generales de potencia o próximos a ella, por lo que se pueden operar en esas distribuciones con factores de escala. Estos resultados se verán posteriormente en redes y sobre todo en evolución de sistemas complejos.

Para una mayor profundización en este apartado se puede leer (Thurner et al, 2018, Op.cit), (Stauffer, 1979), (Y.-C. Zhang, 1989), (Almaas et al., 2003) o (Borg & Groenen, 2005).

4.3.1. Escalado.

Se establece a continuación una definición formal de escalado:

Una relación de escala está presente si hay funciones continuas de valores reales f y g , de tal forma que, en una transformación de escala, se cumple lo siguiente:

$$f(\lambda x) = g(\lambda)f(x) \tag{4.5}$$

Donde λ es un número real positivo, g se llama función de escalado.

Las leyes de la escala están presentes en los sistemas estadísticos, apareciendo en una gran variedad de sistemas y procesos que, abarcan sistemas físicos, biológicos, socioeconómicos y técnicos.

Dado que sólo se pueden aplicar el escalamiento en funciones de distribución, y sólo en la parte de la cola gruesa, es importante saber que función de distribución representa al sistema complejo para poderlo escalar.

La aplicación de leyes de escala en funciones de distribución en sistemas convencionales se explica a través del teorema del límite central, porque las distribuciones de probabilidad gaussianas aparecen, como se comentó en el apartado anterior, como atractor de sistemas simples que pueden adicionarse, y cuyos componentes no interactúan o no están correlacionados. La presencia de leyes de escala en funciones de distribución en sistemas complejos no está suficientemente estudiada, y no parece proceder de un único teorema.

También, como se ha comentado anteriormente, sólo pueden aplicarse a la zona donde impera las leyes de potencia, en la cola gruesa.

Por tanto, parece imprescindible conocer cómo se forman leyes de potencia en los sistemas complejos. Existen al menos, cinco mecanismos que podrían generarlos, y así poder escalar los sistemas complejos:

- Mecanismo de criticidad.
- Mecanismo de criticidad autoorganizada.
- Mecanismo de procesos aleatorios multiplicativos.
- Procesos preferenciales
- Procesos de reducción del espacio muestral.

4.3.2. Criticidad.

La criticidad se refiere a fenómenos que ocurren en puntos críticos, también llamados puntos de transición entre fases, y que se pueden ver en los denominados diagramas de fase. La criticidad se muestra mediante una ley de potencia. En dicha ley, lo que se modifica en las expresiones de potencia son los exponentes, a los que se denomina exponentes críticos, y que sirven para clasificar las diferentes leyes que se pueden dar.

Un primer elemento importante de la criticidad es la llamada *universalidad del exponente crítico*. Quiere esto decir que dos sistemas de la misma universalidad (mismo exponente crítico) se comportan físicamente de la misma manera en un mismo punto crítico. Esto permite conectar modelos iguales a sistemas diferentes, facilitando su estudio descriptivo.

Un segundo elemento importante es la *percolación*, entendida como la filtración de un medio a través de otro. La percolación es un elemento típico de la universalidad. Se explica con la misma expresión matemática tanto la percolación en la preparación de un café, como la percolación de una idea política en una sociedad organizada. La percolación es un fenómeno crítico por debajo del cual el sistema “invasor” aparece poco, y por encima del cual se produce un aumento masivo del sistema “invasor” sobre el sistema “invadido”.

El siguiente ejemplo ilustrará este importante elemento de la criticidad. Se va a suponer que se tiene una red bidimensional de $N \times N$, en las que se representan dos ideas contrapuestas en una sociedad. La idea de conservar el sistema político actual se representa con bolas blancas y es el dominante. La idea de cambiar el sistema político actual en la sociedad analizada está representada por bolas negras y son pocas las que hay. Sea P la probabilidad de que un nodo de la red esté ocupado por la bola negra. Supóngase que la probabilidad P es pequeña en el momento en el que se estudia el sistema, por lo que existen pocas posibilidades de que existan bolas negras en la red y estas seguramente estarán dispersas en la red. Se establece un

parámetro T que mide la temperatura de la necesidad de cambio político en la sociedad. Un aumento de temperatura hace aumentar la probabilidad P de que en un nodo de la red haya una bola negra, en vez de una bola blanca (cambio en el pensamiento político). Habrá una determinada temperatura crítica que haga que la probabilidad pase a ser P_c , de tal manera que tras pasada esa probabilidad crítica, aumente en gran medida, las bolas negras en la red formando agrupaciones cada vez mayores, llegando a un conglomerado de bolas negras mayoritario. A esa P_c se le denomina *umbral de percolación* (Christensen & Moloney, 2005).

En ese punto de transición existen esencialmente dos exponentes críticos en ley de potencias que explican ese cambio masivo en P_c . El primero es el tamaño máximo del conglomerado C_{max} en función del punto crítico que se representa por la siguiente ley de potencia para una red N grande:

$$C_{max} \sim |P - P_c|^{-\frac{1}{\sigma}} \quad (4.6)$$

El otro exponente crítico es la distancia promedio entre dos sitios en las mismas escalas del clúster y está representado también mediante la siguiente ley de potencia:

$$\zeta \sim |P - P_c|^{-\vartheta} \quad (4.7)$$

Los exponentes están relacionados mediante un escalamiento, representado de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{1}{\vartheta} d_f \quad (4.8)$$

Donde d_f se denomina dimensión fractal una unidad de escalamiento que mide el aumento sin dimensiones de un parámetro (Carpinteri et al., 1999).

Estas mismas relaciones de correlación en un punto crítico variando los parámetros servirían para explicar la percolación de las partículas de café en una cafetera de un bar.

La percolación tratada en el ejemplo se puede representar en la *imagen 4-4* donde se muestra para diferentes probabilidades la presencia de bolas negras y bolas blancas en una red social. Se representan diferentes magnitudes de redes (entre 20 y 500 unidades) y diferentes probabilidades. Para una probabilidad pequeña, la cantidad de bolas negras es pequeña y los niveles del conglomerado son bajos. A medida que se va aumentando P aumenta el conglomerado y para un punto P_c , umbral de percolación, igual a 0,591 cuyo valor proviene de los datos dados a σ y ξ para una red bidimensional, se produce una transición rápida en la red pasando a dominar las bolas negras. Ese umbral de percolación puede ser una determinada ley, un determinado acto político, una protesta masiva, etc.

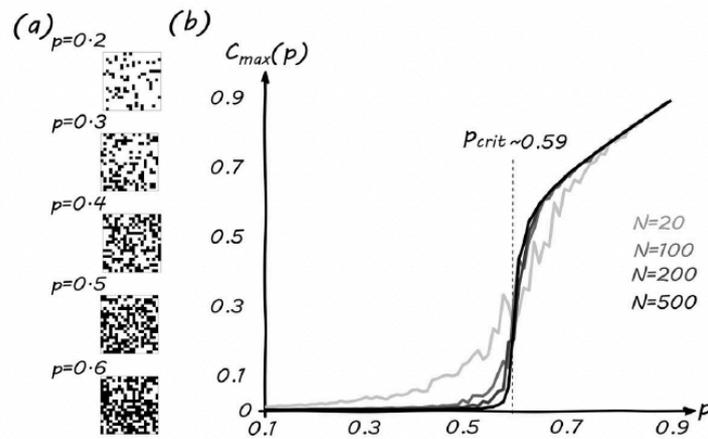


Imagen 4-4. En (a) se representa la red con la probabilidad P y en (b) el conglomerado que se forma en función de C_{max} y P (Fuente: Thurner et al)

4.3.3. Criticidad autoorganizada.

Este aspecto del escalamiento es importante, y explica los fenómenos de cascada que dan lugar a los fallos sistémicos de diverso tipo (cosmología, incendios forestales, temperatura corporal, evolución combinatoria de un sistema estocástico, equilibrios químicos, etc..).

Los sistemas críticos autoorganizados son sistemas fuera de equilibrio que tienen un punto crítico como atractor. Muestran un comportamiento crítico, lo que significa que las funciones de distribución asociadas son distribuciones de cola gruesa o de ley de potencia.

A diferencia del apartado anterior, estos sistemas no necesitan de un parámetro crítico, como temperatura, presión o probabilidad. Estos sistemas son capaces de encontrar “sus puntos críticos” por sí mismos. En este sentido se considera que estos sistemas son capaces de autoorganizarse para encontrar esa criticidad (Dobson et al., 2007).

Para explicar mejor este fenómeno se puede imaginar un reloj de arena, donde la arena que cae de la parte superior del reloj forma un cono al depositarse arena en la parte inferior del reloj. Este cono de arena tiene una pendiente cada vez mayor hasta que, en un momento determinado, se produce una avalancha de arena hacia la parte inferior exterior del cono, bajando la pendiente del cono. Este proceso puede producirse varias veces, dependiendo del volumen de arena que tenga el reloj en su parte superior (Bak et al., 1987a).

La explicación es que el cono tiene una pendiente que va aumentando hasta una pendiente crítica en el que si la pendiente sigue aumentando se produce una avalancha, descendiendo la pendiente por debajo de la pendiente crítica.

En este ejemplo, la distribución del tamaño de las avalanchas y la frecuencia de ocurrencia son leyes de potencias. En (Christensen et al., 1992) se modeliza avalanchas siguiendo los modelos

de ruido rosa⁴ $1/f$. En la *imagen 4-5* se puede observar en una gráfica Log-Log la representación de una avalancha, donde en el eje de ordenadas se coloca la densidad de energía de acumulación para la formación de la avalancha en función del tamaño de partícula que cumple una ley de potencias, y en la abscisa se coloca una unidad temporal en función del tamaño de la partícula. La prueba se realiza para una distribución $N = 80$ partículas de diferentes formas. Independientemente de la forma, la curva se comporta de la misma manera y los tiempos son prácticamente los mismos. La curva es de cola gruesa.

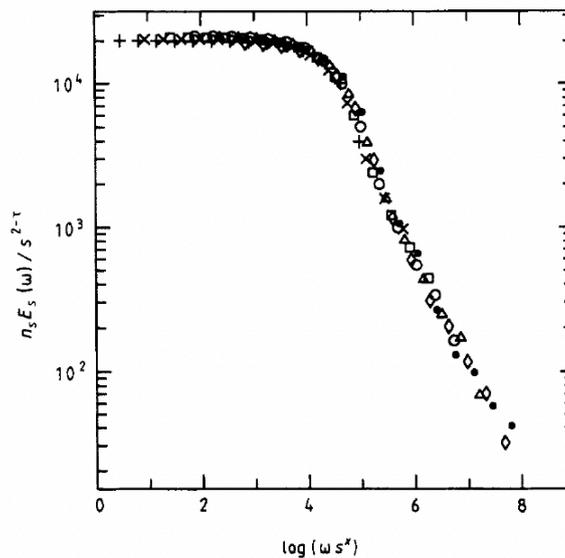


Imagen 4-5. Criticidad autoorganizada (Fuente: Christensen et al)

Aunque todavía la comprensión de los sistemas complejos con criticidad autoorganizada es pequeña, todos los sistemas estudiados suelen ser de conducción lenta y abiertos. Conducción lenta implica que la velocidad del proceso de relajación es pausada siguiendo una curva de cola gruesa. Que sea abierto significa la existencia de un flujo a través del sistema.

4.3.4. Procesos multiplicativos.

Los procesos multiplicativos, como su nombre indica, provienen de multiplicar una función sucesivamente por números aleatorios que pueden ser dependientes o independientes. Estos números aleatorios pueden contener variables aleatorias de diferentes sistemas. Suele ser un proceso recursivo que, si no se controla, puede sacar al sistema de su punto de equilibrio.

Los sistemas que forman los procesos multiplicativos deben ser descompuestos para poder ser estudiados, dado que muchas veces pueden dar lugar a errores de comprensión, pudiéndose

⁴ El ruido rosa es aquel cuyo nivel de presión sonora tiene una densidad espectral inversamente proporcional a su frecuencia. Aparecen en gran número de aplicaciones: transistores, evolución de datos climáticos, procesos estocásticos, tiempo entre terremotos, difusión en sistemas desordenados, etc.

interpretar una distribución logarítmica normal de un proceso estadístico como si fuera una ley de potencia.

Una manera de abordar estos procesos es mediante el hallazgo de la media de las diferentes variables que aparecen en el producto, para que en un tiempo suficientemente largo se puedan multiplicar, sólo así se han podido analizar de manera concreta estos procesos. Por tanto, al igual que los sistemas críticos autoorganizados, la velocidad de participación de los procesos es lenta (Redner, 1990).

El proceso multiplicativo tiene varias aplicaciones, en particular en el estudio del crecimiento de la población, propagación de epidemias, reacciones nucleares en cadena, proliferación de ideas, etc.

4.3.5. Procesos preferenciales.

En los procesos preferenciales, la probabilidad de que ocurra un resultado particular es proporcional al número de veces que ese resultado ha ocurrido en el pasado.

Comúnmente se le denomina *Efecto San Mateo*, dado que su definición sale en la parábola de los talentos del evangelio de San Mateo (25,14-30) “*porque a todo el que tiene, se le dará más, y tendrá en abundancia. Al que no tiene, aun lo que tiene le será quitado*”.

Una forma intuitiva de explicar los procesos preferenciales es el denominado “apego preferencial” en redes. Supóngase que se tiene una red de R , y que un nuevo nodo N_i puede acoplarse a la red, vinculándose con un nodo existente N_j en la red en un instante $t+1$ considerando que en el instante t la red R estaba constituida, la probabilidad de unión entre el nodo existente N_i con el nuevo nodo N_j , ambos con el mismo grado de interacción, será introducido como una preferencia expresada como la probabilidad del nodo entrante entre la suma de probabilidades de los nodos de R en el instante t . Al nodo existente N_j se le quita un grado, pero se le multiplica el grado que tiene el nuevo nodo N_i , por tanto, la probabilidad que este grupo de nodos para captar más nodos aumenta. Si al nodo N_i se le une un nodo N_k , se quita un enlace a N_i , pero el conjunto N_j , N_i y N_k tiene una probabilidad mayor de captar nuevos nodos que el resto de los nodos de la red R (Yamasaki et al., 2006).

Existen modelos establecidos para poder simular los procesos preferenciales. Los más importantes son el modelo Barabasi-Albert y el modelo Simon.

4.3.6. Procesos de reducción del espacio muestral.

Los procesos de reducción del espacio muestral (SSR) están establecidos sobre la base de leyes de potencia sobre distribuciones probabilísticas, dependientes de la trayectoria o de la historia. En este tipo de procesos, los resultados futuros dependen de la historia de los resultados pasados. Es decir, a medida que los procesos estocásticos se desarrollan, los resultados se van volviendo más restrictivos, van envejeciendo.

Los procesos SSR permiten relacionar los detalles de la fuerza impulsora y los detalles del proceso de relajación con las estadísticas del proceso estocástico.

Una ley que gobierna los procesos SSR es la ley Zipf, donde se indica que la aparición de un segundo proceso (el que sea) tiene la mitad de probabilidad de aparecer que un primer proceso, y un tercero tiene una probabilidad de aparecer un tercio menor que el primer proceso (W. Li, 2002). En este sentido la ley Zipf se comporta como un atractor.

Los procesos SSR conducen distribuciones de ley de potencias casi exactas en los tiempos de cambio de estado, si estos son largos y con un exponente que es uno menos la tasa de conducción (o de reinicio). Esto sucede si el proceso se impulsa antes de que alcance su estado de equilibrio o, en otras palabras, si no tiene tiempo de relajarse por completo antes de volver a excitarse (Thurner et al, Op. Cit).

Ejemplos de procesos SSR que no están en equilibrio y son críticos autoorganizados son:

- **Procesos de difusión en redes dirigidas.** Por ejemplo, los procesos de búsqueda amplia en árboles en el campo de la programación de computadoras. A medida que se avanza en la búsqueda, se va descartando ramas hasta que se llega a la rama exacta.
- **Procesos de fragmentación.** En los procesos de fragmentación los procesos resultantes siempre son de menor tamaño que el proceso de donde procede. Un ejemplo claro de esto es cuando se rompe un plato o un vaso. Este proceso puede ser recursivo hasta un límite que se puede establecer artificialmente, o bien hasta el límite del sistema.
- **Formación de oraciones.** Cuando se forman oraciones se tiene una gramática que impide que ciertas palabras se pongan en una posición o en otra. A medida que se va formando la oración, se van reduciendo las probabilidades de que ciertas palabras se incluyan en la frase.
- **Procesos evolutivos.** Los procesos evolutivos combinatorios se pueden ver como sistemas críticos autoorganizados, que conducen genéricamente a distribuciones de ley de potencias y de cola gorda. Un ejemplo son los procesos innovadores (evolución tecnológica). Cuando se produce una innovación (impulsión), la consecuencia puede ser una cascada de nuevos inventos recorriendo el sistema (relajación). Puede ocurrir que en un momento dado antes de que el sistema se relaje aparezca otra innovación que promueva una nueva cascada de inventos. Estos sistemas evolutivos vienen dados en representaciones lineales por curvas logarítmicas.

4.4. Redes e interrelaciones.

En la definición formal que se hizo en el [subcapítulo 4.1](#) sobre sistemas complejos, se incluía el concepto de red. Así, se indicaba que:

Los sistemas complejos son redes multicapa en coevolución.

Las redes, su construcción y su seguimiento son importantes para comprender los sistemas complejos, dado que se pueden ver los cambios en los estados, que factores promueven esos cambios y donde se producen. Son esenciales para comprender la coevolución y los cambios en los diagramas de fase.

La importancia de la teoría de redes se debe al hecho de que muchos fenómenos macroscópicos pueden comprenderse sobre la base de las propiedades estadísticas de sus redes subyacentes, sobre todo cuando el tamaño de la red es grande.

Varios conceptos importantes se verán en este apartado: las redes aleatorias y los modelos de Erdos, Réndy y Wigner; las redes complejas con distribuciones de grados arbitrarios, redes de mundo pequeño y redes simples de crecimiento preferencial; redes dinámicas, y por último redes multicapas.

En lo que sigue se utilizarán los siguientes textos, en los que también se pueden ampliar conceptos y propiedades de grafos y redes: (Bapat, 2010; Battiston et al., 2020; Bianconi, 2018; Boccaletti et al., 2014b; Caldarelli & Chessa, 2016; Chen et al., 2020; Dorogovtsev, 2010; Fortunato, 2010; Grimaldi, 1998; Gross & Sayama, 2009; Jackson, 2010; Kivelä et al., 2014; M. E. J. Newman, 2011; Ortigosa, 2022).

Para elementos más específicos se incluirá bibliografía adicional en este texto.

4.4.1. Conceptos básicos de redes. Grafos.

El elemento básico de una red es el grafo. Un grafo está compuesto de vértices y aristas que los unen. En este trabajo de investigación se denominan nodos a los vértices, y enlaces a las aristas.

Así, las redes están constituidas en un conjunto de nodos y en un conjunto de enlaces que unen los nodos. Los enlaces pueden ser dirigidos o no dirigidos. Un enlace no dirigido es un conjunto de dos nodos distintos, por ejemplo $\{i,j\}$. Un enlace dirigido es un par ordenado (i,j) en el que sólo existe un camino entre ellos cuyo sentido es desde i que es la fuente hasta j que es el sumidero u objetivo.

El número de enlaces que puede tener un nodo se denomina grado del nodo. Si la red es no dirigida sólo se necesita saber el grado del nodo. Si la red es dirigida, el grado de un nodo se separa en grado de entrada, que son los enlaces considerando al nodo como nodo sumidero y el grado de salida, que son los enlaces considerando al nodo como nodo fuente (Suchecki et al., 2005).

Para operar matemáticamente una red se utiliza el álgebra de matrices. Los enlaces entre nodos se registran en una matriz A cuadrada, denominada matriz de adyacencia, cuyo elemento i -ésimo, j -ésimo tendrá un valor de 1, cuando existe un enlace ya sea dirigido o no dirigido entre los nodos i y j , y tendrá un valor 0 si no existe un enlace entre ambos nodos. La matriz de adyacencia para redes no dirigidas es simétrica.

En una red no dirigida, teniendo su matriz de adyacencia, el grado de un nodo puede definirse como la suma de las filas o la suma de las columnas. Para redes dirigidas se tendrá que el grado de nodos salientes de un nodo j -ésimo será la suma de las filas de la matriz de adyacencia y para saber el grado de nodos entrantes a un nodo i -ésimo será la suma de las columnas de la matriz de adyacencia.

A las redes que no tienen bucles (enlaces sobre el mismo nodo), y sus enlaces no están ponderados (no tienen un peso establecido), se les llama redes simples, ya sean redes dirigidas o no dirigidas.

Una red puede representar relaciones entre nodos de diferentes significados (partes de máquinas, operarios, equipos, etc.). Estas redes se denominan bipartitas.

Una red, además de una matriz de adyacencia, puede tener una matriz de incidencia. Una matriz de incidencia es una matriz rectangular $N_1 \times N_2$ donde el índice de la fila (columna) corresponde al índice de un tipo de nodo (otro tipo de nodo). La matriz de adyacencia de una red bipartita será de $N \times N$ donde $N = N_1 + N_2$ nodos. Por definición, todos los elementos de la matriz de adyacencia que corresponden a enlaces entre nodos del mismo tipo, deben ser cero. Esto da como resultado que la matriz tenga una estructura de bloques, con dos bloques en los que todos los elementos son cero a lo largo de la diagonal. Sólo los bloques externos a la diagonal contienen entradas distintas de cero.

Una matriz laplaciana también representa una red. Es una matriz cuadrada de tal forma que los elementos de la diagonal de la matriz representan a los nodos y su valor es el grado de nodo i -ésimo. El resto de los elementos de la matriz tendrán un valor de -1 si los nodos son adyacentes y 0 en otro caso.

Las redes ponderadas se caracterizan por matrices de adyacencia que codifican enlaces con números positivos o negativos. La matriz de ponderación tendrá elementos i -ésimo y j -ésimo cuyo valor será cero si i y j no están conectados por un enlace, y por un valor W (valor de ponderación) si hay enlace entre i y j . Las redes ponderadas pueden ser dirigidas y no dirigidas.

Paseos, caminos y circuitos. Camino Hamiltoniano y Euleriano. Caminos geodésicos.

Una red se puede recorrer realizando paseos o caminos por ella. Así, un paseo en una red es un conjunto ordenado de nodos con la propiedad de que cada par ordenado en el paseo corresponde a un enlace de red. La longitud del paseo es el número de enlaces que pasa. Los paseos cerrados se denominan caminos o circuitos.

Un camino será *Hamiltoniano* si en su recorrido por la red utiliza cada nodo una sola vez. Un camino será Euleriano si en su recorrido por la red utiliza cada enlace una sola vez. Una red será conectada si hay un camino entre todos los pares de nodos i y j . Una subred inducida es una subred que contiene todos los enlaces de la red original.

Un camino *Geodésico* es el camino más corto que conecta dos nodos i, j en una red. Por tanto, la distancia entre los dos nodos i, j viene dada por la longitud de su camino geodésico. Si no existiera camino entre dos nodos, su distancia sería infinita. El diámetro de una red es la mayor distancia entre cualquier par de nodos de la red. La distancia característica finalmente es la distancia promedio entre todos los pares de nodos.

Un *Árbol* es una red conectada sin ciclos. Los árboles están compuestos por ramas y hojas, teniendo estos últimos un grado igual a 1.

Una red dirigida está *fuertemente conectada* si hay un camino en cada dirección entre cada par de nodos. Las subredes inducidas máximas que están fuertemente conectadas se denominan *componentes fuertemente conectados (SCC)*. Todos los nodos que tienen una conexión al menos con un nodo del SCC se denominan componentes internos. Todos los nodos fuera del SCC a los que les puede llegar una ruta que comienza en el SCC se denominan *componentes de salida (imagen 4-6)*.

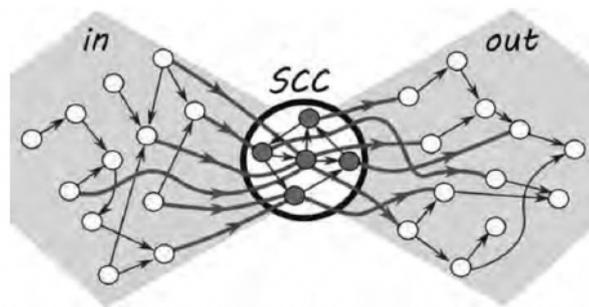


Imagen 4-6. Red dirigida compuesta por SCC (Fuente: Dobson et al)

Este tipo de red es muy común en ciertos estudios de programación de proyectos y de gestión de riesgos, como por ejemplo el modelo “Bow-Tie”.

Centralidad y agrupamiento.

Definidas las formas de recorrer y medir una red, es posible establecer de alguna manera la medición estructural o topológica de una red, encontrando como de centrada está.

La centralidad es uno de los conceptos más utilizados en el estudio de redes, dado que estudia la importancia de un nodo respecto del resto de nodos de la red. Sabiendo la centralidad de una red, es posible aplicar de una manera clara algunos algoritmos de búsqueda y reconocimiento.

Se pueden distinguir de entre muchas medidas de centralidad, tres de las más utilizadas:

- **Centralidad de grado.** Se utiliza cuando se quiere encontrar el nodo de la red más conectado.

- **Centralidad de cercanía y de intermediación.** Se basa en calcular cuales son los nodos que reducen la distancia al querer pasar de un nodo a otro cualquiera que sea su posición en la red.
- **Caminatas aleatorias en redes.** Se basa en la composición dinámica de redes.

La centralidad de cercanía de un nodo mide su “capacidad de ser accedido” por otros nodos de la red. Suele medirse como la inversa de la distancia promedio de ese nodo a cada uno del resto de nodos. Para reducir el impacto que pueden producir en la medición los elementos atípicos, se puede incluir un factor de ponderación, denominado de decaimiento, para poder menguar su ruido en el sistema. La centralidad de intermediación mide la importancia de un nodo en términos de conexión con otros nodos.

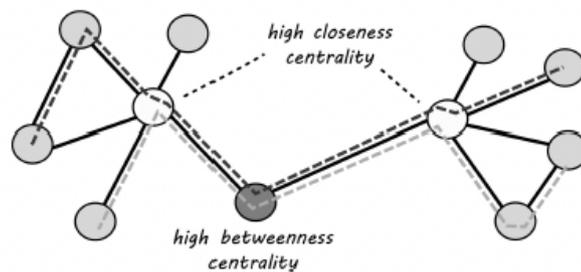


Imagen 4-7. Centralidad de cercanía y de intermediación (Fuente: Dobson et al)

Una *centralidad de cercanía* (high closeness centrality) está relacionada con nodos que, quizá, distribuyen información con mayor celeridad a través de la red. Una *centralidad de intermediación* (high betweenness centrality) señala a los nodos que son importantes para poder repartir la información entre diferentes zonas de la red, cosa que, de otro modo, no sería posible. La cercanía detecta “los mejores propagadores de información”, mientras que la intermediación detecta “cuellos de botella” (imagen 4-7).

Hay dos formas de definir el agrupamiento en una red. El primer acercamiento es mediante el concepto de Comunidades, y se refiere al conjunto de nodos que se agrupa si están más densamente conectados entre sí que con el resto de los nodos de la red. El segundo acercamiento es mediante el concepto propiamente dicho de agrupamiento, que indica la probabilidad de que dos vecinos cualesquiera de un nodo dado también sean adyacentes entre sí.

4.4.2. Redes aleatorias.

Un importante elemento de las redes es la composición aleatoria de redes. Esto implica preguntarse ¿cómo puede formarse una red de una forma completamente aleatoria? Hay tres fuentes donde puede surgir la aleatoriedad:

- **Mediante la probabilística.** En este supuesto, cada entrada a la matriz de adyacencia es una variable aleatoria.

- **De forma dinámica.** La matriz de adyacencia está sujeta a cambios mediante procesos estocásticos que durante un período de tiempo pueden cambiar enlaces y/o nodos.
- **De forma estática.** La matriz de adyacencia se extrae totalmente como una función de probabilidad.

Redes de Erdos – Rényi

Las redes Erdos – Rényi (ER) se especifican a través de una única probabilidad, p , que es la probabilidad de que cualquier par posible de nodos esté vinculado. Se van enlazando nodos de dos en dos (asociación binomial), actualizando la matriz de adyacencia, y al nodo introducido se le da la misma probabilidad que al resto, por lo que todos los nodos son variables aleatorias independientes. Para calcular una red ER se necesita solamente el número de nodos y la probabilidad a establecer. En la *imagen 4-8* se puede observar una red Erdos-Rényi.

Erdos-Renyi Random Graph (n = 100, p = 0.03)

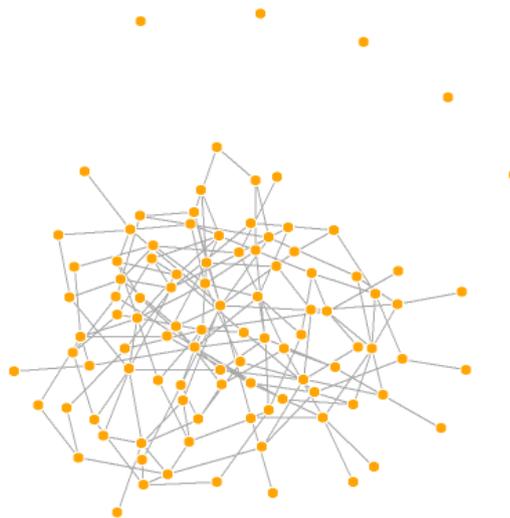


Imagen 4-8. Red ER con 100 nodos y probabilidad de 0.03 (Fuente: Babat)

Algunas de las características de las redes ER son las siguientes:

- En una red ER, la probabilidad de que cualquier par esté conectado es la probabilidad con la que se ha creado la red, exactamente P .
- El conjunto de valores propios de una matriz que representa una red aleatoria se denomina espectro de la red.
- Las redes ER también se denominan redes de Poisson.

Redes complejas.

Los enlaces en las redes del mundo real no suelen formarse por casualidad. Las topologías de red resultantes a menudo contienen información no trivial sobre la dinámica, la formación y las interacciones de los nodos y enlaces. Las redes complejas pueden mostrar fuertes agrupamientos, distribuciones de cola gruesa o ser desagregadas.

Las redes aleatorias que no son de Poisson se pueden crear mediante dos modelos con distribuciones arbitrarias de nodos. El primer modelo se denomina **modelo de configuración**, y asume que el grado es una propiedad única de cada nodo y que los enlaces se forman aleatoriamente entre los nodos para satisfacer dicha propiedad. El **modelo de superposición** asume que la red surge por la superposición de redes ER con diferentes probabilidades de enlace (Barlow & Slade, 2020).

El modelo de configuración tiene varias propiedades:

- El modelo de configuración proporciona una clase de redes aleatorias que son máximamente aleatorias con respecto a una secuencia de grados especificada.
- En el modelo de configuración se puede “recablear” la red para poder borrar toda la información topológica de una red que no esté contenida en los grados, manteniendo invariable la distribución de grados $P(k)$.
- La paradoja de la amistad se da en este modelo. Dicha paradoja establece que tus amigos van siempre a tener más amigos que tú. Esto quiere decir que el grado esperado de los vecinos de un nodo nunca es menor que el grado esperado del mismo nodo.

El modelo de superposición de redes ofrece rutas diferentes para generalizar redes ER a redes aleatorias con distribuciones de grado arbitrario.

Redes de Pequeño Mundos. Modelo Watts-Strogatz.

Según Granovetter, (Granovetter, 1973), existen en las relaciones sociales dos tipos de lazos, los lazos fuertes donde los miembros de la red están fuertemente conectados (familia, escuelas, clubs, etc..) y los débiles, que sirven de puente entre estos grupos de lazo fuerte.

Fue Milgran quien estableció que en realidad las longitudes entre redes sociales tienen un promedio de seis enlaces, por lo que presentan un alto agrupamiento y una distancia característica bastante baja (McLeod, 2007).

Watts y Strogatz formularon un modelo que combinaba un alto agrupamiento y una distancia característica baja. Se explicaba dicho modelo argumentando que, al introducir un número creciente de enlaces aleatorios en la red, las distancias disminuyen rápidamente, mientras se mantiene un alto nivel de agrupamiento conectando nodos en un anillo y conectándolos a sus m nodos vecinos más cercanos.

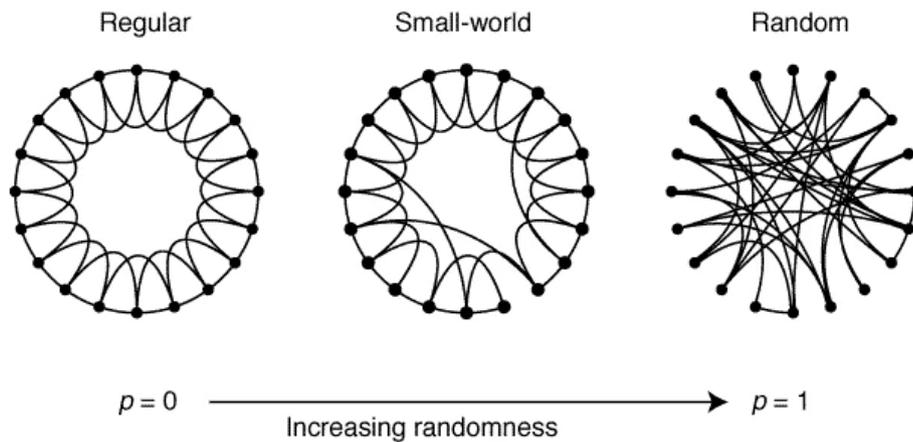


Imagen 4-9. Redes aleatorias de pequeño mundo (Fuente: Watts-Strogatz)

En la sociedad, hay una amplia gama de valores para los que la red tiene una distancia característica pequeña y un agrupamiento alto con respecto a una red ER con el mismo número de nodos y enlaces. Como se puede apreciar en la *imagen 4-9*, las redes que combinan estas propiedades generalmente se denominan *redes de pequeño mundo* (Watts & Strogatz, 1998).

Existen en la realidad numerosas redes de pequeño mundo. Las fuerzas políticas de un país, la estructura de la sociedad en una determinada zona, etc.

Hubs y redes sin escala.

Muchas redes reales (comunicaciones por fibra, líneas aéreas, líneas ferroviarias) se caracterizan por pocos nudos con un alto grado que actúan de “centros de operaciones”, con otros nodos con un grado bastante pequeño, manteniendo el grado de conexión de la red bastante bajo. Barabási y Bonabeau observaron que las distribuciones de probabilidad en dichas redes se mantenían a pesar de crecer o decrecer el número de nodos, es decir, eran redes sin escala. Este parámetro es característico de las leyes de potencia (Barabási & Bonabeau, 2003)

4.4.3. Comunidades.

En la vida real, existen, a veces, grupos que están más agrupados que otros formando grupos más afines. Estas pueden ser comunidades de propietarios, de vecinos, grupos afines a una cierta política social, a las exigencias de unas demandas. Se trata de comunidades.

Las comunidades se caracterizan por la propiedad de que es más probable que cada nodo de la red esté conectado a un nodo dentro de un determinado grupo que a un nodo que es externo a ese grupo. Se puede ver un ejemplo en la *imagen 4-10*. Al igual que las redes de pequeño mundo, las distribuciones de cola gruesa y las redes de alto agrupamiento, la existencia de la estructura de la comunidad es una característica esencial de muchas redes del mundo real (Plagemann et al., 2008).

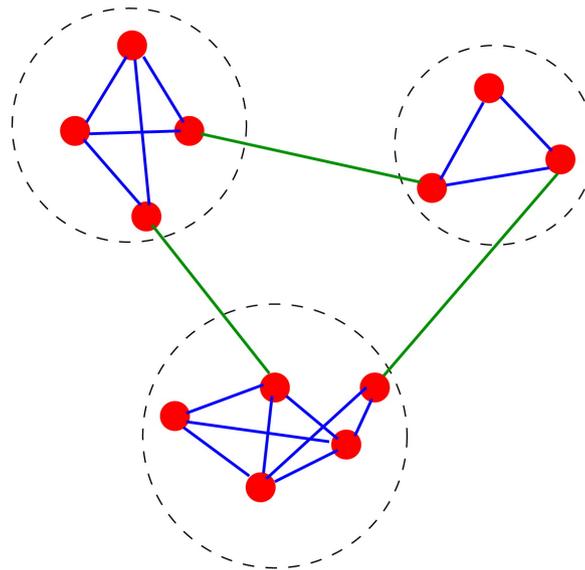


Imagen 4-10. Red comunitaria (Fuente: Fortunato)

El principal problema, en este caso, es como encontrar comunidades dentro de las redes. No es fácil y existen algunos procedimientos algorítmicos para poderlas encontrar. Un método clásico para ello es el *método de corte mínimo*. Dicho algoritmo se utiliza en redes no dirigidas y no ponderadas, y consiste en dividir los nodos en dos subconjuntos disjuntos y no vacíos. Este tipo de algoritmo funciona bien en redes de pequeño mundo, dado que el número de nodos es escaso. La conectividad algebraica es una medida de qué tan bueno es el corte. Cuanto más cerca esté de cero, mejor será la división en dos comunidades, es decir, más “cerca” estarán las dos comunidades de la red (Stoer & Wagner, 1997).

Los *métodos de agrupamiento jerárquico* tienen la ventaja sobre los métodos de corte en que no es necesario saber de antemano el número de comunidades. Esta técnica extrae una estructura jerárquica de comunidades en varios niveles, incluso si tal jerarquía no existe. Para poder aplicar estos métodos, su primer paso es definir las similitudes de los nodos, y para ello se pueden utilizar alguno de los algoritmos al uso (semejanza del coseno, correlación de grados, distancia de Hamming o índice de Jaccard) (S. C. Johnson, 1967).

Existen dos tipos de estrategia para alcanzar una jerarquía de comunidades basadas en la similitud de nodos:

- **Enfoque de aglomeración:** se comienza con cada nodo en su propia comunidad, y luego se extrae una jerarquía mediante la fusión iterativa de dos comunidades.
- **Enfoque decisivo:** todos los nodos comienzan en la misma comunidad, y luego se aplica una recursividad dividiendo hasta conseguir la separación.

El **algoritmo de Girvan-Newman** es una tercera forma de enfocar el problema de detección y división de comunidades. Se basa en que los nodos que son puente entre dos comunidades

tienden a tener una alta centralidad de intermediación. Utiliza el concepto de camino geodésico para detectar los nodos (Despalatović et al., 2014).

Por último, existen los **métodos de optimización de la modularidad** que utilizan la llamada función de modularidad como elemento central. La función de modularidad utiliza un método comparativo entre la red a dividir y los modelos nulos de redes aleatorias que carecen de estructura comunitaria. Se comparan las densidades de enlace de los nodos de red. Un ejemplo de método de optimización de la modularidad es el método de Lovaina (de Meo et al., 2011).

4.4.4. Redes dinámicas.

Como se indicó en el [subcapítulo 4.1](#), la gran mayoría de los sistemas complejos se caracterizan por una dinámica coevolutiva de los estados de sus nodos y de las interacciones que quedan reflejadas en los enlaces. Los cambios, en estos últimos elementos, las interacciones, se corresponden con los cambios implícitos de la propia red formada. Además, estos cambios que se pueden producir en las redes del mundo real, aparentemente diferentes, suelen ser similares y están gobernadas de forma general por tres particularidades (Powell et al., 1995):

- **Difusión en redes:** la información y los cambios de estado se propagan por la red siguiendo los enlaces entre los diferentes nodos. En la vida real se puede ver este tipo de dinámica, en flujos de materiales entre proveedores y usuarios, flujo de capitales entre entidades financieras, etc.
- **Modificación de estados internos en los nodos:** la modificación del estado en uno de los nodos se difunde activamente entre los nodos que están adyacentes a él. Este tipo de dinámica suele darse en transmisión de opiniones, transmisión de memes, en general procesos que requieren un proceso de asimilación y retención previa a su transmisión.
- **Transmisión multimodal en redes:** en una red se pueden producir las transmisiones de varias formas a la vez.

Difusión en redes.

En cada unidad de tiempo considerada, la información del estado salta de nodo en nodo a lo largo de los enlaces de la red. Esto exige que en cada salto haya un “proceso de reflexión” sobre como el estado elige al siguiente nodo para saltar. Un modelo general de paso entre nodos cambiando de estado es la siguiente (Rosvall & Bergstrom, 2008):

$$x_i(t + 1) = \sum_j n(j \rightarrow i)x_j(t) + \beta_i \quad (4.9)$$

Donde el término de la izquierda denota el número de caminantes en el nodo i después de un tiempo $t + 1$. El primer término de la derecha representa la suma de todos los caminantes que saltan del nodo j adyacente al nodo i en un tiempo anterior t . El segundo término representa la tasa de natalidad de nuevos caminantes que pueden aparecer en el nodo i . Para un tiempo t

grande, que se haya recorrido toda la red, las distribuciones de carácter estacionario se convierten en un parámetro importante que analizar dado que mide la centralidad, clasificando a los nodos según se encuentre un determinado número de caminantes.

Dependiendo de cómo se representen los elementos de transición n y las tasas de transición β pueden existir varios modelos de difusión.

- **Difusión laplaciana.** En este modelo se comienza con una natalidad nula. Utiliza los valores propios de los nodos obtenidos de la matriz de adyacencia. Se asume que existe un número fijo de caminantes que saltan de un nodo a otro. La probabilidad de salto es proporcional al peso del enlace correspondiente. El flujo va de concentraciones altas a concentraciones bajas proporcional al gradiente de concentraciones siguiendo la ley de Fick. Los caminantes se distribuyen uniformemente en todos los nodos. Si el valor propio más pequeño es degenerado (no está conectado), la distribución estacionaria es una combinación lineal de los vectores propios con valores propios nulos.
- **Centralidad del vector propio.** Se utilizan vectores propios de la red con una natalidad nula. Se elimina la restricción de que los caminantes son fijos. Utiliza el teorema de Perron-Frobenius para detectar los valores propios existentes. La centralidad del vector propio describe un proceso de difusión, donde los caminantes saltan de un nodo a otro mediante un proceso de escalamiento en cada enlace que siguen.
- **Prestigio de Katz.** Define los elementos de transición de la misma manera que la centralidad del vector propio, pero dando un valor positivo constante distinto de cero a la natalidad. Este modelo copia toda la población de caminantes que existe en el nodo previo al siguiente nodo, con el resultado de que va multiplicando el contenido de caminantes.
- **Algoritmo de PageRank de Google.** Se combinan los valores propios con los grados resultantes de los nodos con una natalidad positiva constante, distinta de cero. Sigue un procedimiento parecido al prestigio de Katz, pero la multiplicación de caminantes no es constante, sino que obedece a una fórmula empírica con dos constantes, la constante α específica que hace a la red estacionaria y la constante de natalidad β . La natalidad tiene un valor empírico de 0,85.

Adaptación en redes.

El proceso de adaptación en redes permite que las redes se reestructuren como respuesta a la difusión de los estados de los nodos. Esto es fácil de percibir en una red social cuando una determinada moda se introduce en una red pudiéndose cambiar las comunidades anteriormente formadas y los procesos de difusión en ella. Esto requiere un proceso de aprendizaje de la red, dado que puede ser que pueda admitir una característica mejor que otra (Sayed, 2014).

Lo más interesante de este tipo de redes es saber cómo una determinada característica que se introduce en la red puede hacerla cambiar. Pudiendo incluso poder obtenerse una red adaptativa oscilante entre la característica existente y la nueva característica planteada.

Enlazan estas características con algoritmos genéticos capaces de un proceso de aprendizaje mediante razonamiento automático. Dicho razonamiento se dedica a estudiar cómo resolver problemas utilizando reglas de razonamiento. Algunas cuestiones que surgen durante dicho razonamiento son la representación del conocimiento, las reglas para derivar nuevo conocimiento del que se tiene, y las estrategias para controlar dichas reglas. Otras cuestiones se refieren a la implementación de la teoría resultante y a las aplicaciones para las cuales se preparan. Teoría, implementación y aplicaciones juegan un papel importante a la hora de proporcionar un asistente de razonamiento automático (Wos et al., 1984).

Un elemento importante que se utiliza en razonamiento automático son las redes generalizadas que se ven en el siguiente punto.

4.4.5. Redes generalizadas.

Una comprensión integral de los sistemas complejos se basa, a su vez, en la comprensión de la topología de las redes que entrelazan estados con interacciones.

Hasta ahora se han visto redes en dos dimensiones, redes simples y subredes, que pueden ser representadas en un papel, pero en el mundo real, las redes tienen más dimensiones y plantean las mismas como un cúmulo de capas de redes interactuando.

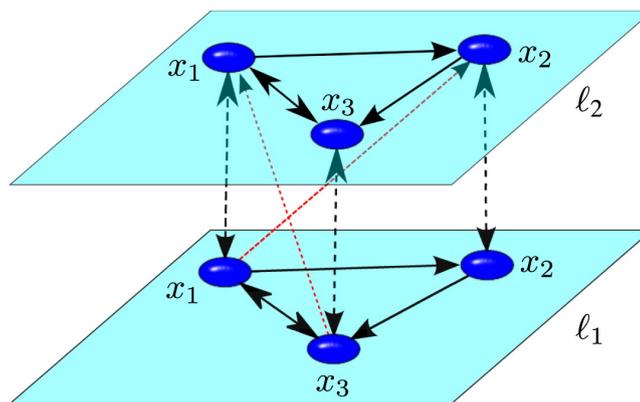


Imagen 4-11. Red generalizada con dos niveles e interacción entre ambas (Fuente: Boccaletti et al)

Es posible permitir tipos de enlaces más generales que conecten un número arbitrario de nodos pudiendo las capas establecer contextos de interrelaciones diferentes, ver *imagen 4-11*, dando lugar a *hipergrafos*. La forma de obtener un hipergrafo es la misma que un grafo en dos dimensiones, con la inclusión de los hiperenlaces o hiperaristas que comunican nodos de diferentes capas. La matriz de incidencia de un hipergrafo se obtiene de forma similar a una red simple, con la salvedad que el hiperenlace se corresponde con una columna en la matriz de incidencia.

Grafos de potencia.

Las interacciones que ocurren entre conjuntos de nodos necesitan una formulación más general que las que pueden dar las hipergrafías. Así, si se tiene una determinada red en la que se enlaza, por ejemplo, la jerarquía entre un director de departamento y un subordinado concreto, por ejemplo, un ingeniero de desarrollo se puede realizar mediante un grafo simple. Si se quiere representar de forma general la jerarquía entre los directores de departamento y sus subordinados entonces se tendrá un grafo de potencia que une grupos de nodos (Abawajy et al., 2013).

Redes multiplexadas.

Muchos sistemas del mundo real se basan en interacciones que ocurren de manera simultánea. Este tipo de red permiten representar este tipo de interrelación. Este tipo de red tiene tres conjuntos: el conjunto de nodos N , el conjunto de enlaces L y el conjunto de tipos de enlace A . Así cada enlace de la red multiplexada se puede representar de la siguiente manera: $\{n \in N; l \in L; \alpha \in A\}$

Las redes multiplexadas se pueden describir formalmente mediante tensores de adyacencia. Así si los nodos i y j están unidos en la capa α se puede representar su tensor como M_{ij}^{α} . Como consecuencia, se puede tener un sistema vectorial de representación de red donde previamente se tenía una red escalar (Battiston et al, Op. Cit.).

Redes multicapa.

La red multicapa es una visión general de todo tipo de redes (simples, grafos de potencia, hipergrafos y redes multiplexadas).

Las redes multicapa están formadas por un conjunto de nodos N , un conjunto de enlaces L y un conjunto T de capas $\{M_t\}_{t=1,\dots,T}$. Se puede por tanto escribir una red multicapa de la siguiente forma donde los índices latinos indican nodos y los índices griegos indican capas $M_{i,j}^{\alpha,\beta}(t)$.

Si todas las capas contienen a todos los nodos, la red multicapa se dice que está alienada con los nodos. Si no todos los nodos están en todas las capas, la red es una capa disjunta. Una red multicapa es diagonal si todos los enlaces a través de dos capas diferentes α, β conectan el mismo nodo. Los enlaces correspondientes también se llaman diagonales.

Una red multicapa diagonal está acoplada por capas si todos los nodos tienen los mismos acoplamientos diagonales entre un par de capas determinado.

4.4.6. Riesgo sistémico.

Hoy en día no es posible, de forma general, determinar cuándo un sistema puede entrar en riesgo, o las consecuencias que puede tener si un sistema entra en riesgo sistémico.

Se puede definir riesgo sistémico como el riesgo de que un sistema deje de funcionar como un todo, debido a incumplimientos locales en sus interacciones, y la subsiguiente cascada de incumplimientos en todo el sistema.

Debido a sus consecuencias, el riesgo sistémico en entidades financieras está muy estudiado pero sus conclusiones siguen siendo vagas (Yun et al., 2019).

Existen varias formas de estudiar el riesgo sistémico: el primer método consiste en revisar dentro de la red de un sistema que componente (nodo) tienen el mayor peso (estudiando la ponderación del sistema) dentro de la red. Una vez encontrado se procede a poder estudiar su situación y sus posibles fallos. El segundo método consiste en revisar dentro de la red de un sistema que componente (nodo) tiene una mayor conectividad con el resto de los nodos y proceder como en el método anterior a su estudio (Schwarcz, 2008).

Un tercer método, que está adquiriendo mayor importancia en los últimos años es estudiar la centralidad de la red que conforma el sistema y una vez encontrados los nodos más centrados, estudiar los posibles fallos que puedan tener para evitar la quiebra del sistema. La centralidad se puede estudiar por alguno de los métodos expuestos en el [apartado 4.4.4](#), aunque actualmente se está utilizando el método PageRank de Google (Yun et al, Op. Cit).

Desde el punto de vista de este trabajo de investigación, el utilizar un único concepto como es la centralidad para definir el riesgo sistémico no es adecuado. Es comprensible utilizar un único concepto, puesto que favorece la simplificación del estudio, pero no tiene en cuenta las posibles casuísticas generalizadas.

Se considera que el riesgo sistémico, debe considerarse conjuntamente los siguientes elementos:

- Nodos SSC y centralidad de nodos en la red.
- Conectividad de nodos en la red. Estudio de enlaces.
- Peso de nodos en la red.
- Capacidad de difusión de la red.
- Dispersión de red en cuanto existencia de redes no conectadas.

Si uno o varios nodos son centrados, están altamente conectados, tienen un gran peso en la red y la dispersión de red es mínima, se deberán extremar las medidas de control sobre esos nodos puesto que una falla en los mismos implica con toda seguridad una falla del sistema.

4.4.7. Corolario sobre redes.

Las redes son fundamentales para estudiar los sistemas complejos. Muchas de las propiedades estadísticas de las redes corresponden a propiedades generales de los sistemas complejos. Las

redes por tanto pueden estar compuestas por variables aleatorias, tanto en nodos como en enlaces.

Las redes se pueden representar por matrices, siendo la más importante la matriz de adyacencia. Otra manera de hacerlo es mediante matrices de incidencia. También con las matrices ponderadas, donde los enlaces están representados por números reales positivos o negativos.

La propiedad fundamental de los nodos que forman parte de la red es el grado de este, que representa el número de enlaces. La distribución probabilística de grados es la probabilidad de encontrar un nodo con un grado dado en la red.

Una ruta en la red es una secuencia ordenada de nodos, en la que cada par de nodos adyacentes está conectado por un enlace. No se permite en ninguno de los recorridos definidos la repetición de nodos.

Las distancias en las redes se pueden definir por la longitud del camino más corto que existe entre un par de nodos. Los nodos que tienen una distancia baja o medio baja a todos los demás nodos se consideran que tienen una alta centralidad de proximidad. Los nodos que forman parte de un gran número de caminos más cortos entre otros pares de nodos tienen una alta centralidad de intermediación.

El coeficiente de agrupamiento de un nodo es la probabilidad de que dos nodos adyacentes cualesquiera a un nodo determinado también sean adyacentes entre sí.

Las redes ER son redes aleatorias que están completamente definidas por su probabilidad p , que es la probabilidad de que exista un enlace entre cualquier par de nodos. Las redes ER son modelos nulos simples, contra los que pueden probar otros tipos de redes, sobre todo las redes del mundo real.

El *Teorema de Perron-Frobenius* establece que las redes con un solo componente tienen un valor propio más grande, que es un número real positivo. Todos los componentes del vector propio de este valor propio también son números reales positivos. Todos los demás vectores propios tienen al menos un componente negativo o imaginario.

Las redes complejas son redes aleatorias en las que los enlaces no se forman por casualidad. Siempre muestran una estructura con un alto agrupamiento.

Las redes sociales suelen ser redes de mundo pequeño. El modelo Watts – Strogatz es una manera simple de pensar en tales redes.

Las redes sin escala son redes con distribuciones de grados que son leyes de potencia. Los nodos de alto grado de interconexión se denominan Hubs. Las comunidades son grupos de nodos que tienen más probabilidades de estar conectados entre sí que con otros nodos externos a la comunidad. Las redes de correlación se pueden utilizar para inferir la estructura de correlación de los sistemas para los que se dispone de múltiples observaciones.

Muchos procesos dinámicos en redes se basan en procesos de difusión en redes. Especialmente importantes son las distribuciones estacionarias de caminantes aleatorios después de un gran número de saltos, dado que permiten encontrar la centralidad.

En muchas redes del mundo real, las interacciones pueden ser de múltiples tipos. Para estos casos, la noción de redes debe generalizarse. Las redes multicapa se especifican mediante nodos, enlaces y una secuencia de conjuntos de capas (un conjunto para cada punto en el tiempo de una red dinámica multicapa). Las redes simples, los gráficos de potencia y los hipergrafos son casos especiales de redes multicapa.

El riesgo sistémico es difícil hoy en día saber cuándo, cómo y dónde puede producirse. Por tanto, en este trabajo de investigación se considera que debe ser estudiado desde diferentes puntos de vista.

4.5. Coevolución.

Los procesos evolutivos combinan muchas de las características clásicas de los sistemas complejos: son algorítmicos; los estados coevolucionan con las interacciones; muestran estadísticas de ley de potencia; son críticos autoorganizados, y son sistemas impulsados que no están en equilibrio.

El atributo principal de los procesos evolutivos es que, a través de la interacción de las entidades existentes entre sí y con su entorno, dan lugar a un proceso abierto de creación y destrucción de nuevas entidades mediante procesos de difusión y en algunos momentos con escalamiento.

Los sistemas que cambian su composición con el tiempo y muestran dinámicas de diversidad interesantes aparecen en muchos contextos diferentes, desde diferentes procesos biológicos, las reacciones químicas, la evolución del lenguaje en el ser humano o la creación de nuevos productos tecnológicos a partir de los productos existentes. En este aspecto resulta paradigmático que, en procesos tan distintos como los indicados, existan los mismos patrones estadísticos. Por ello, es natural suponer que los procesos evolutivos crean y destruyen elementos a partir de similares mecanismos endógenos.

La narrativa Darwiniana, una de las primeras en afrontar científicamente la evolución, condensaba en cinco hechos lo que caracteriza a la mayoría de los procesos evolutivos:

- Existencia de equilibrios puntuales. Los procesos evolutivos no transcurren de forma continua.
- La existencia de leyes de potencia y distribuciones de cola gruesa aplicados al tamaño de los eventos y su duración.
- La autoorganización.
- La mecánica endógena para explicar la diversificación.

- La alta propensión al colapso y el fallo sistémico.

Quizás uno de los elementos que falta en la narrativa de Darwin es que hace que las especies evolucionen, pero ¿Por qué unas especies tienen más aptitud que otras a evolucionar?

La esencia de un enfoque cuantitativo y predictivo de los procesos evolutivos es comprender la dinámica de la evolución en conjunción con el entorno, la coevolución, con la actitud de las especies a través de sus interacciones entre sí y con el medio ambiente que les rodea.

En lo que sigue se utilizarán los siguientes textos, en los que también se pueden ampliar conceptos y propiedades sobre evolución y coevolución: (Dyke, 1988; Gross & Blasius, 2008; A. R. Hall et al., 2020; M. Mitchell & Newman, 2002; Mitleton-Kelly, 2003; Vázquez et al., 2008; W. Wang et al., 2019)

4.5.1. Algoritmo de la evolución.

El algoritmo básico de la evolución contiene tres pasos:

- **Paso 1:** Se crea una nueva entidad (especie, producto, idea, palabra) y se coloca en un determinado ambiente. En este paso, la aparición de la nueva entidad aleja al sistema del equilibrio puntual en el que se encontraba. Hay una fuerza impulsora en el sistema.
- **Paso 2:** La nueva entidad interactúa con el entorno. El entorno está compuesto de todas las entidades ya existentes y un entorno físico o ambiental. Como resultado de las interacciones que realiza la nueva entidad, puede ser destruida o puede sobrevivir y proliferar.
- **Paso 3:** Si la nueva entidad sobrevive, pasa a formar parte del entorno. El entorno cambia y se convierte en un nuevo límite para todas las entidades existentes y recién llegadas. Se vuelve a un nuevo equilibrio.

Aunque todos los pasos son interesantes, el paso 2 es el que más complejidad tiene dado que se produce una interacción cruzada entre las entidades y el entorno. La coevolución.

La evolución del estado del sistema por la interacción de la entidad puede ser definida formalmente mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{d}{dt} \sigma_i(t) \sim F(M_{ijk..}^\alpha(t), \sigma_j(t)) \quad (4.10)$$

Esta es la primera ecuación de la dinámica coevolutiva, prácticamente inamovible en los últimos 300 años de ciencia, e indica lo siguiente: el cambio dentro del siguiente paso de tiempo del estado de una entidad estará en función de los estados del resto de nodos y de la matriz de interacción M de una única interacción α sobre el resto de los nodos de la red que representa el sistema. La función F podrá ser determinista o estocástica.

La segunda ecuación de la dinámica coevolutiva especifica como evolucionarán las interacciones con el tiempo a través de una función G que al igual que F puede ser determinista o estocástica.

$$\frac{d}{dt} M_{ij}^{\alpha}(t) \sim G(M_{ijk..}^{\alpha}(t), \sigma_j(t)) \quad (4.11)$$

Con estas dos ecuaciones se ve que tanto estados como interacciones se actualizan entre sí. Tal como se comentó en el [subcapítulo 4.1](#) no es posible analizar dichas ecuaciones analíticamente y sólo se podrán analizar mediante algoritmos.

¿Cómo surgen las nuevas cosas?, existen dos únicos procesos: bien porque las nuevas entidades entren desde fuera del sistema (una nueva especie llega a la isla, una nueva forma de hacer política viene de un país extranjero, etc.), o bien por un proceso de combinación de cosas existentes. Esto último es lo que se llama **evolución combinatoria** (Bejan, 2016).

La evolución combinatoria, por ejemplo, para un nuevo producto, se explica de la siguiente manera:

- **Paso 1.** La introducción exitosa de un nuevo producto en el mercado perturba (impulsa) la interacción entre productos y clientes previa a la aparición del nuevo producto.
- **Paso 2.** Se crea una situación desequilibrada en la que los competidores de los productos afectados por el nuevo producto reaccionan modificando las condiciones del mercado. Se produce un desequilibrio.
- **Paso 3.** Si el producto sobrevive a la situación de desequilibrio creada, servirá de semilla para los nuevos productos que puedan aparecer mejorando el producto inicial (combinación).

La dinámica evolutiva es un nuevo paradigma a tener en cuenta dado que, en primer lugar, los límites del sistema coevolucionan con las variables dinámicas, lo que obliga a cambiar de un enfoque analítico a uno algorítmico. Estos enfoques algorítmicos permiten realizar ciencia cuantitativa y predictiva exactamente como se realiza en el enfoque analítico. En segundo lugar, la evolución es abierta, por lo que el espacio de fases no queda bien definido. Para este estudio es importante volver a la noción de posible adyacente (Kauffman, 1995).

Dinámicas complejas en la evolución.

En la mayoría de los casos, ya sea en la biología, en la economía o en la innovación (evolución) tecnológica, los sistemas permanecen en equilibrio. Sin embargo, cuando se va a producir un cambio, se producen una serie de cambios que reestructuran el sistema. Por lo tanto, se puede indicar que dichos equilibrios realmente son equilibrios puntuales que se asocian en los cambios con distribuciones de cola gruesa (leyes de potencia) que gobiernan el tamaño de los cambios de diversidad, las tasas de creación o de extinción de entidades.

A medida que las nuevas entidades se convierten en elementos de nuevas combinaciones, el conjunto de todas las entidades posibles (los posibles adyacentes) coevoluciona con el conjunto de todas las entidades existentes.

En la *imagen 4-12*, se puede observar cómo diferentes tipos de evolución sin relación aparente pueden ser descritos por leyes de potencia de cola gruesa, característicos de los sistemas complejos.

En la imagen (a) se representa las distribuciones del cambio porcentual en la biodiversidad del registro fósil. En la imagen (b) se representa el tiempo de vida de las especies individuales en el registro fósil. En la imagen (c) se representa las frecuencias de las tasas de reacción metabólicas en las redes celulares de los organismos vivos. En la imagen (d) se representa una de tantas series de tiempo económicas, en este caso del cambio anual en el número de patentes registradas en estados unidos. En la imagen (e) el número de quiebras de empresas norteamericanas desde 1800 y en la imagen (f) el PIB en el Reino Unido desde 1950. Son todas leyes de potencia no exactas que sin embargo muestran colas gruesas. Todas estas distribuciones no pueden explicarse mediante estadísticas gaussianas.

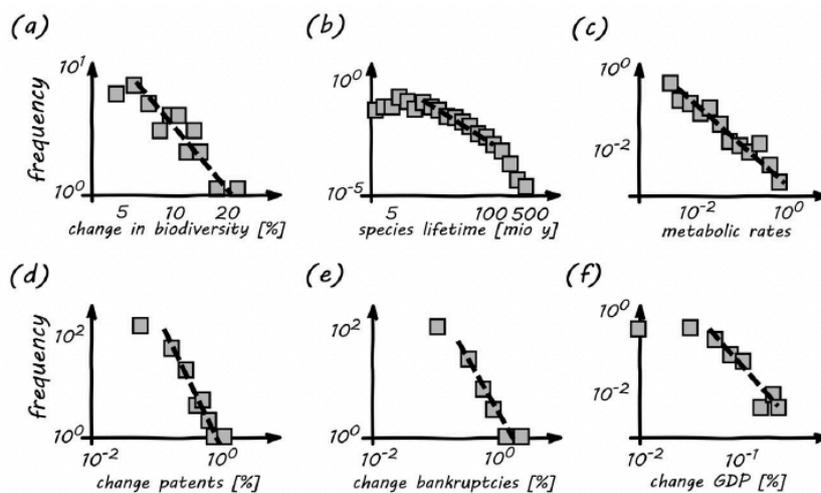


Imagen 4-12. Evoluciones en sistemas complejos. (Fuente: Thurner et al)

De la evidencia de lo expresado en la *imagen 4-12* y de lo indicado en el párrafo anterior, se saca como conclusión que la mayoría, por no decir todas, de las veces se produce una coevolución por combinación, teniendo las entidades mayor capacidad de supervivencia si la combinación es más fuerte que en otras entidades que se combinan menos. En el campo de la biomedicina, las cepas de bacterias con una alta combinación superaron ampliamente a las cepas de combinaciones más bajas. En el campo de la innovación tecnológica, las nuevas tecnologías son combinaciones de otras tecnologías.

Hacia un algoritmo de evolución general.

La doctrina Darwiniana basa la evolución en tres posibles formas: la reproducción, la mutación y la selección. Sin embargo, varios autores como por ejemplo Page y Nowak (Page & Nowak, 2002) consideran que existe una forma superior que engloba a estas tres formas de evolución mediante la ecuación de replicación:

$$\frac{d}{dt}x_i = x_i[f_i(x) - \phi(x)], \text{ donde } \phi(x) = \sum_{j=1}^N x_j f_j(x) \quad (4.12)$$

Donde $f_i(x)$ es la aptitud de una entidad a poder sobrevivir en un entorno. El término $\phi(x)$ es el promedio ponderado de la población de las aptitudes de las entidades. Para cada entidad i , la ecuación anterior compara la aptitud de dicha entidad con el promedio de la población. Las entidades con una aptitud mayor (menor) que el promedio de la población proliferan (mueren) exponencialmente.

Se ve a continuación, la evolución de la ecuación de replicación en las posibles formas de evolución:

- **Replicación.** Es el caso trivial, en el que una entidad no depende de las frecuencias de otras entidades, por tanto, la aptitud es una constante para cada entidad. Se denota la presencia de una entidad con la letra y_i . La aptitud es una constante A .

$$y_i \xrightarrow{A} y_i + y_i; \quad (4.13)$$

Por tanto, la ecuación queda:

$$\frac{d}{dt}x_i = x_i[A - \phi] \quad (4.14)$$

Las entidades con una aptitud inferior a la aptitud promedio ϕ tienen una tasa de replicación negativa y, por lo tanto, se extinguen.

- **Competición.** En este caso dos entidades i y j compiten entre sí para poder dominar el entorno o poder sobrevivir en él. Ahora la evolución depende de una probabilidad. Se introduce una probabilidad, no solo porque los recursos de supervivencia dependen de dos entidades distintas, sino que además podría ocurrir que hubiera cooperación entre ambas entidades para sobrevivir.

$$y_i + y_j \xrightarrow{p_{ij}} y_i; \quad (4.15)$$

Por tanto, la ecuación queda:

$$\frac{d}{dt}x_i = x_i[\sum_j p_{ij}x_j - \phi] \quad (4.16)$$

- **Mutación.** La nueva entidad surge por casualidad de la entidad existente. Una tasa constante k_{ij} , determina cómo los individuos de la especie j hacen la mutación a la especie i .



Por tanto, la ecuación queda:

$$\frac{d}{dt} x_i = \sum_j k_{ij} [x_j \sum_k p_{ik} x_k] - x_i \phi \quad (4.18)$$

Esta relación es lineal dependiente de la frecuencia.

- **Combinación.** Se considera el caso general de que la introducción de nuevas entidades no se produce por casualidad, sino que, como ocurre con algunas reacciones químicas, existe una entidad catalizadora C para favorecer la transición entre j e i . Esta relación es una relación no lineal.



Por tanto, la ecuación queda:

$$\frac{d}{dt} x_i = [\sum_{j,c} \alpha_{ijc} x_j x_c] - x_i \phi \quad (4.20)$$

Es trivial que todas las ecuaciones evolutivas de replicación, competición y mutación resultan casos especiales de la **ecuación de combinación catalítica** por lo que, en este sentido las interacciones combinatorias son los procesos evolutivos fundamentales.

Resulta plausible que esta ecuación de combinación catalítica en grupos autosuficientes produzca conjuntos autocatalíticos. Los conjuntos autocatalíticos se definen como aquellos donde los elementos de la parte izquierda de las ecuaciones evolutivas que se acaban de describir (reactivos), también son producidos por otra reacción del sistema, es decir, aparecen o pueden aparecer en el lado derecho de la ecuación (productos).

No obstante, la descripción que se acaba de realizar sobre los procesos evolutivos, mediante ecuaciones de combinación, tiene ciertas limitaciones de naturaleza tanto técnica como conceptual. Las más importantes son las siguientes:

- **Condiciones iniciales.** La ecuación (4.20) es una ecuación no lineal. Por tanto, necesitan especificarse unas condiciones iniciales. Independientemente de las condiciones iniciales que se dispongan, los resultados tendrán dinámicas incoherentes cuando pase un cierto tiempo de aplicación de la ecuación entre los nodos, perdiendo su carácter predictivo.

- **Reactor bien agitado.** La ecuación (4.12) depende de que las entidades tengan una abundancia tal que permita obtener resultados análogos en todas sus aplicaciones. Se puede asimilar su desarrollo a reacciones químicas en un reactor bien agitado, donde los elementos estén homogéneamente repartidos. Pero eso no siempre es posible, dado que existirán zonas heterogéneas donde será imposible aplicar dicha ecuación.
- **Marco abierto.** La aplicación de la ecuación (4.12) implica la producción de nuevas entidades, y aún en circunstancias muy ideales, no se puede medir las aptitudes de dichas entidades, ya que se desconocen sus propiedades por no haber sido creadas aún.
- **Coevolución y escalas de tiempo.** La aplicación de la ecuación (4.12) implica reacciones de diversificación, proliferación y extinción casi instantáneas o en periodos de tiempo muy cortos, por lo que no permiten establecer pautas de coevolución que en la vida real requieren en algunos casos miles de años. Por tanto, esta ecuación debería poder tener parámetros que tengan en cuenta estas escalas de tiempo.

Por tanto, sería necesaria un nuevo algoritmo de evolución que, manteniendo la combinatoria evolutiva, pudiera introducir una escala de actualización temporal para permitir la combinatoria coevolutiva mediante tensores de interacción.

Existen dos maneras de introducir esta actualización: la primera es especificar un tensor como elemento de interacción aleatoria, que podría tener dimensión tendente al infinito, de manera similar a como se hace en las redes Erdo-Rényi (redes ER). Esta forma de acercarse a la resolución del problema se dice que es endógena. La segunda forma es describir la dinámica del tensor de interacción de forma aleatoria por medio de suposiciones externas al sistema. Esta solución implica un acercamiento exógeno.

Algoritmo de evolución general.

Se puede definir el algoritmo de evolución general de la siguiente manera:

- **Paso 1.** Surgen nuevas entidades en un tiempo t a través de dos fenómenos no excluyentes (se aleja del equilibrio).
 - o La primera opción sería la creación espontánea de nuevas entidades. Esto se puede reflejar en un cambio de estado espontáneo de $\sigma_i(t) = 0$ a $\sigma_i(t+dt) > 0$. Para eventos de extinción ocurriría el efecto contrario $\sigma_i(t) > 0$ a $\sigma_i(t+dt) = 0$.
 - o La segunda opción sería mediante la acción de un número no determinado de procesos combinatorios, es decir, mediante la ecuación de actualización catalítica (4.20), si $(t + dt) = \sigma_i(t) + M_{ijk\dots}^\alpha(t) \sigma_j(t)\sigma_k(t)\dots$

- **Paso 2.** La nueva entidad creada en el paso 1 interactúa con otras entidades existentes o con el entorno ambiental j a través de interacciones combinatorias. Estas interacciones conducen a cambios de estado en los nodos de la red del sistema,

$$\sigma_i(t + dt) \sim \sigma_i(t) + F(M_{ijk\dots}^\alpha(t), \sigma_j(t), \sigma_k(t), \dots) \quad (4.21)$$

Donde F es una función (de carácter general y no sólo matemático) que depende de los vectores de estado y de las interacciones. Puede ser determinista o aleatoria, lineal o no lineal.

- **Paso 3.** Si la nueva entidad creada en el paso 1 sobrevive, pasará entonces a formar parte del entorno ambiental. Este entorno ambiental es la agrupación de todas las interacciones que se registran y que se denomina M . La llegada de la nueva entidad cambiará el espacio de todas las entidades existentes y de las interacciones (camina hacia un nuevo equilibrio). La evolución se puede expresar de la siguiente manera:

$$M_{ijk\dots}^\alpha(t + dt) \sim M_{ijk\dots}^\alpha(t) + G(M_{ijk\dots}^\alpha(t), \sigma_j(t), \sigma_k(t), \dots) \quad (4.22)$$

Donde G es una función de las mismas características de F que depende de estados e interacciones.

La dinámica coevolutiva se producirá ahora por actualizaciones de las ecuaciones (4.21) y (4.22). Cada nueva entidad, innovación tecnológica, novedad social o política, cada mutación biológica tiene la capacidad de poder modificar estas ecuaciones para poder combinarse y crear nuevas reglas para las siguientes entidades, para su proliferación o para su extinción. Ahora los espacios de entidades y reglas se construyen mutuamente, debiendo definirse las funciones F y G .

4.5.2. Aptitud en la evolución.

Tal como se ha visto en la ecuación (4.20) la evolución depende de un parámetro que se ha denominado aptitud, y que determina si una entidad prolifera o se extingue. La particularidad que tiene la aptitud no es homogénea, sino que puede cambiar dependiendo de las condiciones del entorno ambiental y de otras entidades. Por tanto, se tiene lo que se denomina paisajes de aptitud. Así en la vida real, una determinada planta puede sobrevivir en un ambiente donde temperatura, radiación solar y alimento sean favorables, y a dos metros, puede que esta planta se extinga si alguno de los parámetros anteriormente descritos no tiene el mínimo posible para la supervivencia de dicha planta. Si esto se aplica a un territorio, o incluso a nivel mundial se obtendrá un paisaje, ondulado, donde existen picos de aptitud, asimilables a la proliferación y valles de aptitud asimilables a la extinción.

Otra idea importante es que, si una entidad está rodeada de otras entidades que favorezcan su desarrollo, esta entidad tendrá mayores posibilidades de sobrevivir. Por tanto, adquiere importancia el o los posibles adyacentes que rodeen a la nueva entidad.

Modelos simples de aptitud.

Un modelo simple de paisajes de aptitud se dio en (Wright, 1932)

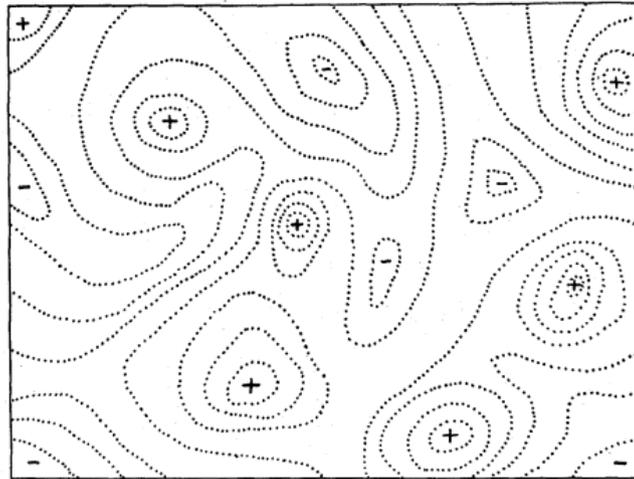


Imagen 4-13. Paisajes de aptitud (Fuente: Wright)

Se puede observar en la *imagen 4-13*, un paisaje de aptitud donde los puntos positivos son puntos proclives a la supervivencia de la entidad, y los negativos a su extinción. El paisaje de aptitud se muestra con líneas de nivel. Sin embargo, este paisaje de aptitud es estático, como un mapa, sin dinámica.

Una de las primeras funciones de aptitud que se determinó con ecuaciones formales fue el modelo de dinámica de Lotka-Volterra (Wangersky, 1978). Era un modelo con dos especies, presa y, depredador, donde los parámetros de aptitud eran números reales y representaban la tasa de replicación. Existía para cada especie una probabilidad denominada tasa de competencia. Tanto las tasas de competencia como los parámetros de aptitud podían tomar valores positivos o negativos.

Modelos dinámicos de aptitud.

Existen varios modelos dinámicos para proveer de capacidad evolutiva a la aptitud y a las ecuaciones de coevolución.

Un primer modelo es el **modelo NK** debido a Kauffman. Este modelo propuso un paisaje de aptitud para una sola especie con robustez sintonizable. Se amparaba en dos parámetros. El parámetro N que representaba el número de entidades, en su caso de genes. Y el parámetro K representa la rugosidad del paisaje de aptitud. El modelo funciona de la siguiente manera: En una determinada unidad de tiempo, se produce una determinada mutación en un solo punto. La nueva entidad si tiene una aptitud mayor sustituye a la entidad anterior, y en caso contrario, accede al nuevo sistema. En la *imagen 4-14* se puede observar un ejemplo de ese recorrido.

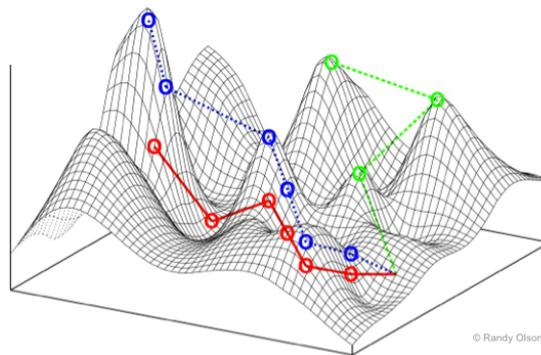


Imagen 4-14. Dinámica del modelo NK (Fuente: Wikipedia⁵)

En realidad, el modelo NK toma una población y la eleva, mutación a mutación hasta un máximo de aptitud, y en ese punto se detiene, si el máximo es muy escarpado.

Un segundo modelo más evolucionado fue el **modelo NKCS** en el que se considera no una, como el modelo NK, sino varias especies y sus interacciones. El modelo está acoplado mediante el modelado de las interacciones coevolutivas entre las diferentes especies por azar. El modelo funciona de la siguiente manera: En cada paso de tiempo se elige secuencialmente cada especie una vez, y, una vez seleccionada, la especie sufre una mutación. Si la entidad resultante tiene una mayor aptitud que antes, la nueva aptitud reemplaza a la antigua. De lo contrario no ocurre nada.

El modelo NKCS representa la coevolución entre especies. Cada especie evoluciona para aumentar su propia aptitud. Al hacerlo, cambia una de sus entidades, lo que también puede hacer cambiar la contribución de aptitud a otra entidad. Por tanto, este cambio de aptitud podrá mutar.

Un tercer modelo es la **ley del progreso tecnológico de Wright**, esta ley es fenomenológica y establece que el progreso aumenta con la experiencia: cada porcentaje de aumento en la producción acumulada en una industria resulta de una mejora en la eficiencia en la producción. Esto se produce mediante una curva de aprendizaje que es dinámica.

Un cuarto modelo es el **modelo de Bak-Sneppen**. Este modelo tiene como objetivo identificar el mecanismo fundamental por el cual los modelos de paisaje de aptitud más complejos, como el modelo NK o el modelo NKCS, llegan a generar comportamiento crítico con el valor de K. Este modelo fue el primero en proporcionar un mecanismo para la aparición de equilibrios puntuales y muestra criticidad autoorganizada.

⁵ NK Model. https://en.wikipedia.org/wiki/NK_model. Visitada el 12/12/22.

El modelo funciona de la siguiente manera. Se considera un número fijo de especies alto con sus funciones de aptitud. Las especies pasan la mayor parte de su tiempo en un estado de equilibrio puntual con un grado de aptitud determinado. En un momento determinado, una entidad desea cambiar a un estado de mayor equilibrio, bien por mutación o por el entorno ambiental. Para cambiar a ese estado mejor, la entidad debe pasar una barrera de aptitud menor de la que tenía y en esa progresión se tarda un tiempo tasado que determina su experiencia vital, de tal forma que aquellas entidades que tengan una barrera a la mutación más baja podrán mutar más fácilmente que otra.

Estos cuatro modelos tienen algunas deficiencias, las más significativas son que no expresan en su formulario un posible estrés externo, tampoco introducen eventos de extinción endógenos explícitamente colocados y, por último, los modelos proporcionan poca información sobre los adyacentes y sus posibilidades. Construyen sus paisajes de aptitud al azar.

4.5.3. Modelos de evolución lineal y no lineal.

Los modelos lineales no pueden describir las interacciones combinatorias que como se ha visto en la ecuación (4.20) son no lineales. Si embargo, los modelos lineales sirven para comprender las configuraciones inicialmente aleatorias de especies con baja diversidad y su coevolución en organizaciones estructuradas en conjuntos autocatalíticos interconectados con alta diversidad de especies durante largos períodos de tiempo.

La aparición de conjuntos autocatalíticos y su riesgo sistémico de colapso están relacionados con la topología de las redes de interacción subyacentes.

El **modelo de Jain-Krishna** proporciona una explicación simple del mecanismo por el cual el entorno determina si una entidad tendrá supervivencia o se extinguirá. La aptitud de las entidades está relacionada con las propiedades de la red, la centralidad del vector y el valor propios del teorema Perron-Frobenius. Cuantos más bucles de retroalimentación positiva esté involucrada una especie, mayores serán sus posibilidades de supervivencia y éxito. La aptitud en el modelo Jain-Krishna es un fenómeno dinámico y emergente en toda la red.

La red creada en un momento determinado conforma un grupo autocatalítico, y los elementos comienzan a eliminarse dentro de él. Estas fases estables terminarán, inevitablemente y de forma abrupta, cuando se elimine un elemento clave, pero no muy central para la red (Jain & Krishna, 2003).

Una de las características más sorprendente de los sistemas evolutivos y, en general, de los sistemas, complejos, es que combinan un alto grado de estabilidad con la capacidad de adaptarse a entornos cambiantes.

El ingrediente básico de comportamiento no lineal en la dinámica lineal es la restricción de que la abundancia de especies debe ser negativa. Esta suposición mínima no lineal de

concentraciones positivas de entidades es suficiente para generar un comportamiento dinámico incluida la criticidad autoorganizada (Hanel et al., 2010).

Los modelos secuencialmente lineales y al borde del caos convergen a diferentes atractores, incluidos puntos fijos y ciclos límite. El atractor que el sistema se encuentra, por así decirlo, inicialmente está determinado por las condiciones iniciales, pero que luego se va modificando debido al carácter iterativo de la aplicación de dichos modelos. La clave de ese cambio consiste en modificar la matriz de interacción. Una vez cambiada por la llegada de nuevas entidades, el sistema, la red, podrá ser atraída hacia un atractor diferente hasta llegar al atractor global del sistema (Stokić et al., 2008).

Anteriormente se ha indicado que en el modelo de Jain-Krishna, la eliminación de una sola entidad puede llevar al colapso de todo el sistema. El **modelo de Solé-Manrubia** estudia más profundamente la extinción en sistemas complejos. Se basa en la dinámica del replicador mutador (4.14), actualizada para poder operar con varias entidades diferentes. Las entidades i están representadas por variables binarias $\sigma_i(t)$ que indican si la entidad i existe o no. Si la abundancia es positiva $x_i(t) > 0$, se tiene que $\sigma_i(t) = 1$ de lo contrario su valor es nulo. Las interacciones entidad-entidad están codificadas en la matriz de interacción M_{ij} . Un valor positivo (negativo) del determinante de la matriz indica que la especie i prospera (extingue) el éxito reproductivo de la especie j .

La dinámica de este modelo es la siguiente: en primer lugar, se produce una extinción de entidades $\sigma_i(t)$ para el resto de las entidades que existe en el sistema; en segundo lugar, se produce una mutación para cada entidad i , eligiendo una conexión entrante en M al azar y asignándole un valor determinado entre $(-1,1)$ con probabilidad uniforme, en tercer lugar, se reemplaza cada especie extinta con una copia de una especie sobreviviente elegida al azar. De esta manera la entidad menos apta para la supervivencia es invadida por variantes mutantes de entidades supervivientes. La combinación de eventos de mutación y especialización con la invasión de nichos vacíos puede ampliar las relaciones con las entidades adyacentes aumentando la probabilidad de eventos de extinción (Chowdhury & Stauffer, 2003).

Otros modelos no lineales y basados en la fenomenología de la vida real son los modelos de Arthur Polak y de Schumpeter. Estos modelos están especializados en la innovación tecnológica.

Quizás el modelo más actualizado que explique la evolución en sistemas complejos es el modelo CCC que se describe a continuación.

El algoritmo ampliado de la evolución descrito mediante las ecuaciones (4.21) y (4.22) describe cómo los cambios en la composición de las entidades coevolucionan con los tensores de interacciones. Dichas ecuaciones engloban tres características comunes al resto de modelos:

- Coevolutivo. Aparecen dinámicas nuevas debido a la interacción entre entidades y el entorno ambiental donde se desarrollan.

- Combinatorio. Las entidades en la mayoría de los casos, surge por combinación de otras entidades existentes.
- Crítico. Los fenómenos críticos aparecen como hechos empíricos en los sistemas evolutivos con la aparición de distribuciones estadísticas de cola gruesa tal como puede observarse en la *imagen 4-5*.

En los modelos analizados brevemente no se incluyen todas las características que sí incluye el modelo CCC (acrónimo que incluyen las características vistas en el párrafo anterior). Lo importante de este modelo es que es capaz de dar respuestas a cinco cuestiones interesantes en los modelos evolutivos: tamaño de los eventos evolutivos, incluyendo las interacciones combinatorias constructivas y destructivas; duración de tales eventos, a través de los tamaños de conjuntos variables; duración de las fases de equilibrio entre eventos evolutivos, a través de los tensores de producción y destrucción sin escala; tamaño de los eventos de reestructuración, a través de los recursos limitados y los procedimientos de actualización, y explosión de las transiciones entre equilibrios a través del reemplazo competitivo (Klimek et al., 2010).

El modelo CCC es robusto y abierto ante cambios en los parámetros de su modelo, la topología de los tensores de interacción involucrados y los detalles de las reglas de actualización específicas. La aparición de equilibrios puntuales y leyes de potencia que permiten los cambios al borde del caos podrían ser universales para modelos que combinan interacciones combinatorias productivas y destructivas (Lenski et al., 2003).

4.5.4. Corolario sobre coevolución.

Los equilibrios puntuales están presentes en los sistemas evolutivos. Estos equilibrios se interrumpen por eventos de reestructuración de las redes, ante la aparición de nuevas entidades que provocan la modificación de las interacciones en el sistema. La producción de estas nuevas entidades está provocada por reacciones catalíticas en la combinación de entidades.

La coevolución de las entidades con sus paisajes de aptitudes es clave para comprender la dinámica de la evolución. Es necesario un modelo que incluya la coevolución, la combinatoria y la criticidad en los puntos de equilibrio puntual.

Para entender la selección endógena, es necesario revisar los modelos de aptitud adaptativa por la coevolución. Esto ocurre en dinámicas críticas autoorganizadas. Esto puede provocar apariciones y extinciones masivas, con diversificaciones y procesos revolucionarios.

La aptitud se entiende como una propiedad propia de cada sistema dinámica y topológicamente emergente de las redes de tensores de interacciones entidad – entidad. La aptitud está relacionada con la existencia de ciclos de retroalimentación en componentes adyacentes.

El modelo CCC (coevolutivo, combinatorio y crítico) genera a partir del algoritmo de evolución general todas las características estadísticas (incluidas las distribuciones de cola gruesa) que se dan en los sistemas complejos.

4.6. Entropía y equilibrio de sistemas complejos.

Una característica principal de los sistemas complejos es su naturaleza estocástica. Esto puede tener varios significados, según como se aborde. Podría ocurrir que la aleatoriedad proviniese del interior del sistema, por indefinición de los elementos que forman parte de él, o porque no se pueden determinar analíticamente las interacciones que ocurren entre sus elementos. Un segundo significado es que el sistema sea determinado, pero que la información que aporte de su funcionamiento sea imprecisa o ambigua. Un tercer significado proviene del propio proceso de análisis probabilístico, y es que puede ocurrir que se utilicen distribuciones estocásticas mejores que otras para poder obtener información del sistema, por lo que se pretende disponer de la mejor distribución.

De forma general, se suele asociar el concepto de entropía al concepto de equilibrio, sobre todo en sistemas físicos. La entropía alcanzará un máximo cuando el sistema se acerque al equilibrio, y entonces se alcanzará la configuración de mayor probabilidad.

Pero un sistema complejo, tal como se ha reiterado en los apartados anteriores, implícitamente está fuera de equilibrio, no son ergódicos y suelen depender de la trayectoria y de la historia. Parece, entonces, un contrasentido utilizar la entropía en sistemas complejos.

No es del todo cierto, ya que, como en cualquier sistema determinado, las transiciones de fase son importantes a la hora de establecer el movimiento del sistema y, sobre todo, para saber si un sistema podría colapsar. Además, desde un punto de vista físico, se debe encontrar el valor de entropía que es capaz de vincular los elementos microscópicos del sistema con el comportamiento macroscópico del sistema. Desde el punto de vista de la información, la entropía puede proporcionar una visión útil sobre la información que sale de fuentes no ergódicas y no estacionarias. También la entropía debe ser capaz de predecir funciones de distribución dependientes de la historia.

En lo que sigue se utilizarán los siguientes textos, en los que también se pueden ampliar conceptos y propiedades sobre entropía y equilibrio (Beck, 2009; Corominas-Murtra et al., 2015; Hanel & Thurner, 2011; Havrda & Charvát, 1967; Jaynes, 2003; Thurner et al., 2017; Tsallis, 2009).

4.6.1. Entropía y sistemas convencionales.

A la hora de usar la entropía, de una forma significativa en el contexto de los sistemas complejos, existen dos caminos excluyentes. El primer camino sería descomponer el sistema complejo en partes no complejas y aplicar las ecuaciones que se conocen sobre entropía. El segundo camino

sería ampliar las ecuaciones sobre entropía para poder aplicarlas al sistema complejo. Es evidente que el segundo camino es el más lógico.

Para sistemas convencionales, se puede establecer los tres tipos de entropía (física, información y distribución aleatoria):

- **Sistemas físicos.** La entropía se relaciona con la termodinámica de los objetos físicos. En este sentido, se debe a Boltzmann la adecuación de la ecuación de entropía de Clausius para la identificación de las características microscópicas con las propiedades macroscópicas del sistema.

$$S_B = -K_B \sum_{i=1}^W p_i \log p_i \quad (4.23)$$

Donde W es el número de estados del sistema, etiquetados por i , la probabilidad de encontrar el estado i es p_i y K_B es una constante para adaptar la ecuación a las unidades dimensionales de la termodinámica.

En cuanto a esta entropía física hay que indicar que: para procesos reversibles, la entropía termodinámica es un diferencial exacto; la entropía es aditiva, es decir si un sistema está compuesto por partes idénticas, la suma de la entropía de esas partes es la entropía del sistema; la entropía en un sistema cerrado aumenta, y la entropía es extensiva, es decir, su valor escala con el tamaño del sistema.

- **Producción de información.** Para medir la producción de información por una fuente que emite secuencia de símbolos, es decir, estados W que puedan ser distinguidos desde una fuente hasta un receptor, la ecuación de entropía de Shannon sería,

$$S_S = -K_S \sum_{i=1}^W p_i \log p_i \quad (4.24)$$

Donde W sigue siendo el número de estados del sistema, p_i es la probabilidad de que se envíe correctamente una unidad de información y K_S al igual que K_B es una constante para adaptar la ecuación a las unidades dimensionales de la termodinámica.

Sobre la entropía de la producción de la información, se indica lo siguiente: a más información, menor incertidumbre en un sistema, por lo que la entropía mide la incertidumbre promedio del sistema (si se tiene información total del sistema $S_S = 0$); la mayor incertidumbre se encuentra en sistemas donde todos los estados aparecen con la misma probabilidad; en esta entropía de Shannon se cumple la propiedad aditiva.

Shannon estableció tres axiomas en su teoría de la información que compaginaba información y entropía, posteriormente Khinchin añadió un axioma adicional. Los axiomas Shannon – Khinchin, en su composición final, son los siguientes:

- **Axioma 1 (SK1).** La entropía no depende de nada más que las probabilidades de los estados W .
- **Axioma 2 (SK2).** Si todos los estados son igualmente probables, la entropía tiene un máximo.
- **Axioma 3 (SK3).** Cualquier entropía permanecerá igual cuando se agregan estados al sistema que tienen probabilidad cero de ocurrir.
- **Axioma 4 (SK4).** Si los sistemas son independientes entre sí, la entropía debe ser aditiva, lo que significa que la entropía de un sistema combinado debe ser la suma de los sistemas individuales. Este es el axioma de composición.

Con estos cuatro axiomas se elaboró el **teorema de la unicidad** que indica que:

Cualquier entropía funcional que dependa de una distribución de probabilidad $p = (p_1, \dots, p_w)$ que esté asociado con un sistema probabilístico en el que se cumplan los cuatro axiomas de Shannon – Khinchin, sólo puede ser:

$$S(p) = -K \sum_{i=1}^W p_i \log p_i = \sum_i g(p_i) \quad (4.25)$$

Donde $K > 0$ es una constante multiplicativa y $g(p_i) = -p_i \log p_i$

Los axiomas de Shannon – Khinchin conducen a una entropía en forma de traza, donde: en SK1 la necesidad de que S dependa de forma continua de p implica que g es una función continua; en SK2 el requisito de que la entropía sea máxima implica que g es una función cóncava: en SK3 la agregación de un estado con probabilidad 0 implica que $g(0) = 0$, y en SK4 se asegura la ergodicidad del sistema (Jurgens & Crutchfield, 2021).

La teoría de la unicidad asegura que, si se cumplen las condiciones dadas en su definición, el sistema es ergódico y markoviano. Es decir, el sistema tiene estados finitos y distribuciones estacionarias.

- **Inferencia estadística.** La inferencia estadística se utiliza para averiguar cuán probable será un determinado histograma (representación gráfica de información estadística). La ecuación de la entropía de Jaynes sería,

$$S_J = - \sum_{i=1}^W p_i \log p_i \quad (4.26)$$

Donde W sigue siendo el número de estados del sistema, p_i es la probabilidad de que la distribución que se está analizando es la más probable.

Las tres entropías vistas establecen que para sistemas simples:

$$S_B = S_S = S_J = - \sum_i p_i \log p_i \quad (4.27)$$

Se puede deducir que esta forma de entropía es degenerada, dado que para los tres conceptos se obtienen del mismo funcional de entropía. Cualquier sistema estocástico que se base en estadísticas multinomiales tiene una entropía como la mostrada en (4.27), independientemente del contexto utilizado. Todos los enfoques se vuelven iguales.

4.6.2. Entropía para sistemas complejos.

La principal característica de los sistemas complejos es que violan el axioma SK4, dado que no cumplen el criterio de ergodicidad, no son markovianos y son impulsados. Además, los sistemas complejos son evolutivos, tal como se vio en el [subcapítulo 4.5](#), y dependen de la ruta y de la historia. Esto trae como consecuencia que cuando los sistemas complejos crecen o se dividen, importa cómo se combinan o separan. Los sistemas complejos que violan SK4, pero cumplen los otros tres axiomas de la teoría de la unicidad se denominan extensivos.

La generalización de la entropía para sistemas complejos pasa por el teorema de clasificación de sistemas complejos que indica lo siguiente:

Todos los sistemas, para los cuales se cumplen los axiomas SK1, SK2 y SK3 tendrán una entropía de las siguientes características (Thurner et al, Op. Cit.):

1. *La clasificación vendrá dada por dos números c y d .*
2. *La entropía vendrá representada por estos dos parámetros de la siguiente forma:*

$$S_{c,d}(p) = \frac{r}{c} A^{-d} e^A \left[\sum_{i=1}^W \Gamma(1 + d, A - c \log p_i) - r p_i \right] \quad (4.28)$$

Donde $\Gamma(a,b)$ es una función Gamma incompleta⁶, r es una constante compuesta por c y d , $A = \frac{cd^r}{1 - (1 - c)r^r}$ y e es la base del logaritmo.

La constante $r > 0$ puede tener cualquier valor real positivo bajo las siguientes circunstancias:

$$\begin{aligned} d > 0: r < 1/1-c; \\ d = 0: r = 1/1-c; \\ d < 0: r > 1/1-c. \end{aligned} \quad (4.29)$$

La entropía de la ecuación (4.28) es denominada (c,d) -entropía, entropía de los sistemas complejos o simplemente $S_{c,d}$

⁶ Una función gamma incompleta es una función gamma cuyo límite superior de la integral está definido por un número finito.

Con la generalización de la entropía se puede ver sucintamente otros tipos de entropía como, por ejemplo:

- ($c = 1, d = 1$). Para estos coeficientes se obtiene la entropía clásica de Boltzmann-Gibbs, Shannon y Jaynes, también conocida como **entropía Boltzmann – Gibbs – Shannon**.

$$S_{1,1} = \sum_i g_{1,1}(p_i) = - \sum_i p_i \log p_i + 1 \quad (4.30)$$

- ($c = q, d = 0$). Para estos coeficientes se obtiene la **entropía de Tsallis**, aunque dependiendo del valor de q puede ocurrir que la entropía viole además del axioma SK4, los axiomas SK2 ($q > 1$) y SK3 ($q < 0$).

$$S_{q,0} = \sum_i g_{q,0}(p_i) = \frac{1}{q} \left(\frac{1 - \sum_i p_i^q}{q-1} + 1 \right) \quad (4.31)$$

La entropía de Tsallis es bastante utilizada en mecánica estadística de los sistemas complejos, principalmente porque está relacionada con leyes de potencia de las funciones de distribución.

Estos son dos ejemplos de la utilización de parámetros c y d para definir entropías. Existen al menos 15 entropías definidas para sistemas complejos.

4.6.3. Principio de máxima entropía.

Tal como se indicó anteriormente, los sistemas complejos tienden a no cumplir el axioma de aditividad SK4, dado que no son sistemas ergódicos ni markovianos. Adicionalmente son sistemas que dependen de un camino por lo que no siempre se podrá hallar la máxima entropía que se busca para encontrar los puntos de equilibrio de sistema y los diagramas de fase adecuados para la evolución de los sistemas complejos.

Tal como se ha visto en el apartado anterior, se puede encontrar una entropía general para sistemas complejos que dependa de dos parámetros constantes c y d . El problema es que, dependiendo de dichas constantes, el sistema complejo puede incumplir sólo el axioma SK4 por lo explicitado en el párrafo anterior, o bien dejar de cumplir otros axiomas que impedirían obtener la entropía. Por tanto, se deben de incluir una serie de restricciones para encontrar la máxima entropía que puede tener un sistema complejo.

La primera restricción que se debe imponer es escoger aquellas partes del sistema que puedan cumplir que c y d se mantengan en los límites para poder cumplir los axiomas SK1 – SK3. La segunda restricción que debe incluirse es aplicar la mecánica estocástica para eliminar aquellos histogramas de frecuencia que impidan obtener la máxima entropía.

Se puede entonces decir que la máxima entropía en un sistema complejo viene dada por la siguiente expresión:

$$S(p) = \frac{1}{\phi(N)} \log M_{u,T}(k) \quad (4.32)$$

Donde $\phi(N)$ representa la restricción de coger aquella parte del sistema que debe cumplir SK1 – SK3. $M_{u,T}$ representa la multiplicidad de los microestados del sistema con distribuciones multinomiales deformadas⁷ con dos funciones. La función $u(n)$ es positiva y monótona creciente y T es continua y monótona creciente con $T(0) = 0$ y $T(1) = 1$.

La ecuación (4.32) implica dos características importantes:

- La máxima entropía es una entropía $S_{c,d}$. En el caso simple [$T(x) = x$] se ve que la entropía $S_{c,d}$ equivale a la entropía $S_{c,0}$ que es la entropía de Tsallis. Por tanto, esta entropía surge de forma natural.
- Los multinomios deformados siempre conducen a entropías de forma Traza.

4.6.4. Corolario sobre entropía.

Para sistemas simples los conceptos de entropía de Boltzmann-Gibbs, entropía de la teoría de la información y la entropía que aparece en mecánica estocástica, conducen a la misma entropía funcional $S(p) = -K \sum_{i=1}^W p_i \log p_i$ y además cumplen los cuatro axiomas de Shannon – Khinchin.

Los sistemas complejos, donde habitualmente no son ergódicos, markovianos y están impulsados, incumplen el axioma SK4 dado que son procesos de traza o camino. La entropía $S_{c,d}$ genérica sirve para estudiar el sistema y dependiendo de los parámetros c y d se obtendrán un conjunto de entropías, entre ellas las de Boltzmann-Gibbs-Shannon ($S_{1,1}$) o Tsallis ($S_{c,0}$) entre otras. Escogiendo adecuadamente c y d las entropías calculadas cumplirán los axiomas SK1 – SK3.

Hay sistemas complejos que violan más de un axioma de Shannon – Khinchin por lo que se deben deformar las ecuaciones de obtención de la entropía y con ello se puede obtener todavía la entropía.

Se puede calcular la máxima entropía en un sistema complejo con una de estas ecuaciones deformadas y con múltiples restricciones.

⁷ Distribuciones multinomiales deformadas, son distribuciones de más de dos parámetros que utilizan factores deformados para calcular su multiplicidad. Los factores deformados son aquellos que están constituidos por números naturales positivos y es monótona creciente.

5. GESTIÓN DE PROYECTOS COMPLEJOS.

Como se indicó anteriormente, los proyectos predictivos, convencionales o de cascada, tenían como características principales unos requisitos fijos con poca incertidumbre, una entrega única al final de su ciclo de vida que satisfacía con gran certeza a los interesados y una serie de procesos realizados de forma secuencial. También se indicó que, además del objetivo principal de entregar un alcance requerido, se tenía como otros objetivos controlar costes y cronogramas. También se ha mencionado con anterioridad que la gestión predictiva de proyectos a menudo funcionaba mal con la incertidumbre y con los cambios. Este tipo de proyectos, además, se preocupan poco por las necesidades de los interesados y el equipo de gestión del proyecto suele relacionarse poco con el exterior (Aguirre Pérez, 2007).

5.1. Proyectos con alta incertidumbre.

Desde finales de los años 90 del siglo pasado, la gestión de proyectos utilizando otros tipos de ciclo de vida se ha generalizado. Los nuevos diseños, la solución de problemas y nuevas etapas donde se incluyen tareas no realizadas anteriormente de forma automatizada, como en los proyectos predictivos requieren de nuevas formas de gestionar la incertidumbre, complejidad y riesgos (Chin, 2004).

Estos nuevos tipos de proyectos, con grandes dosis de cambios en requerimientos, situaciones nuevas, con características no repetibles, variaciones dinámicas de riesgos y necesidad de poder ajustarse a estos, se agrupan bajo el epígrafe de “proyectos adaptativos”. Actualmente, existen tres tipos de proyectos con ciclos de vida adaptativos, bien establecidos, que se revisan a continuación (Bourne, 2007).

5.1.1. Proyectos con ciclo de vida iterativo.

Estos proyectos tienen como objetivo mejorar los resultados mediante la obtención de retroalimentación para los alcances no terminados, a fin de mejorar los conocimientos sobre los entregables y modificar estos, si fuese necesario. Corresponden a este tipo de proyectos una gran dinámica en la obtención de requisitos, la realización de prototipos o de elementos de prueba que generan la obtención de información de forma iterativa, que permiten la corrección continua del entregable. Se consigue, además, la continua interacción con los interesados pudiendo estos, cambiar el sentido del entregable y aportar nuevos conocimientos al grupo de gestión (Larman & Basili, 2003).

Cada iteración ayuda a identificar nuevos riesgos, reduce la incertidumbre y es útil para cambios frecuentes y de alta complejidad. Ejemplos de este tipo de proyectos son la creación de nuevas vacunas o productos de alta tecnología.

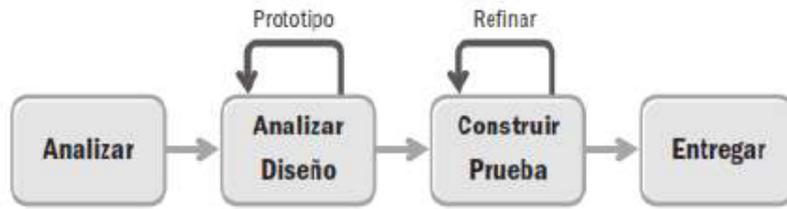


Imagen 5-1. Ciclo de vida predictivo con partes iterativas (Fuente: PMI)

Se puede observar en la *imagen 5-1* que hay dos bucles de retroalimentación. El primero de ellos, está centrado en la construcción de un prototipo con las características y necesidades requeridas por los interesados y el segundo de ellos, en la fase de refino, una vez establecidas las características finales. Como epílogo, se ha de indicar que este tipo de ciclo de vida, la gestión es repetitiva hasta obtener el entregable correcto.

5.1.2. Proyectos con ciclo de vida incremental.

Este tipo de proyectos prioriza la velocidad, por encima de otros condicionantes, en la entrega de valor a las partes interesadas. Cuanto más rápido se realice el proceso y si esta suministra más cantidad de entregable, mejor. La entrega rápida permite a las partes interesadas proponer cambios en una etapa posterior y permite que los equipos reconozcan rápidamente los cambios, que riesgos pueden tener, y conseguir obtener mayor cantidad de conocimiento (Sadia et al., 2021).

Un ejemplo de este tipo de proyecto es la construcción de una primera fase de una instalación industrial que permita el lanzamiento de un producto y que los interesados puedan saber las ventajas y los posibles cambios a realizar en una fase posterior, para poder aumentar la productividad de las líneas implantadas.

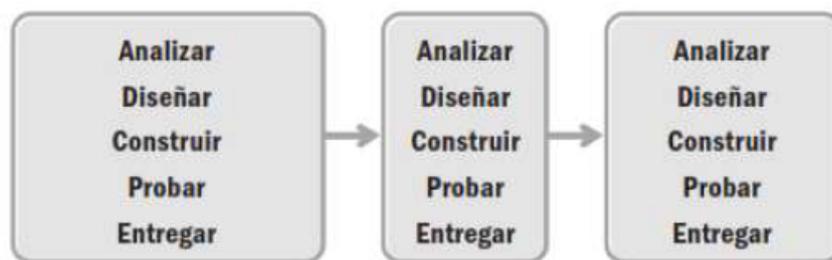


Imagen 5-2. Ciclo de vida incremental en un proyecto (Fuente: PMI)

En la *imagen 5-2*, se puede observar cómo los procesos que constituyen una determinada etapa se repiten, aumentando el conocimiento y las entregas frecuentes a los interesados.

5.1.3. Proyectos con ciclo de vida ágil.

Este tipo de proyecto surgió como respuesta a la necesidad dar valor para el cliente mediante entregas frecuentes y obtener información de la factibilidad de dichas entregas mediante

retroalimentación. Los primeros proyectos donde se aplicó este tipo de ciclo de vida fueron los proyectos de software, donde la incertidumbre en los requerimientos y cambios constante eran muy importantes. Debido al éxito conseguido, su uso se expandió a otras disciplinas de la ingeniería (PMI & Agile Alliance, 2017).

En un proyecto ágil, los equipos de gestión de proyectos saben que los cambios en los requerimientos son constantes y, a veces, es necesario plantear cambios que requieren de nuevas planificaciones. En los ciclos de vida incremental o iterativo, se proporciona información, en líneas generales, para planificar las siguientes fases del proyecto. Ello quiere decir que, en estos tipos de ciclos de vida, se mira en el sentido de terminación del proyecto. En los proyectos con ciclo de vida ágil, se llevan a cabo entregas de tipo incremental iterando hacia la fase de planificación, lo que hace revelar requisitos y objetivos no vistos previamente o no explicados de manera coherente por las partes interesadas (Dybå et al., 2014).

Un proyecto ágil, divide los requerimientos exigidos en partes más específicas, colocando estas en una bandeja de entrada, ejecutando estas por importancia, según la información recibida por los interesados. El orden de importancia en la bandeja puede ser modificado por factores externos, por los interesados o por los elementos obtenidos en la ejecución de anteriores elementos (Vila Grau & Capuz Rizo, 2020).

Un ejemplo muy característico de proyecto con ciclo de vida ágil son los proyectos de efecto rápido (QIP)

Los proyectos de efecto rápido (QIP), son muy usados en las operaciones de mantenimiento de la paz. Estos proyectos, a corto plazo, de pequeña escala y de bajo coste, se utilizan en zonas post-conflicto, en la fase de reconstrucción, para mejorar o recuperar instalaciones dañadas como realización de mejoras en el abastecimiento de agua o mejoras en las infraestructuras de comunicaciones (Naciones Unidas Mantenimiento de la paz, n.d.).

En general, hay dos formas de implementar los proyectos ágiles:

- a) Implementación mediante iteraciones. En la *imagen 5-3* se puede observar cómo los equipos trabajan en iteraciones de duración fija, hasta completar el trabajo asignado. Se trabaja, normalmente, sobre la característica más importante que es totalmente desarrollada. Una vez terminada esta, se sigue por orden de prioridad establecido anteriormente, dependiendo de las necesidades planteadas, pudiendo estas ser cambiadas cuando sea necesario.



Imagen 5-3. Ciclo de vida ágil basado en iteración. (Fuente: PMI).

b) Implementación basada en flujo. La diferencia con la implementación anterior se puede apreciar en la *imagen 5-4*, donde el equipo considera como tarea a realizar, aquella que, por recursos, puede ser ejecutada utilizando el tiempo que se considere necesario para su realización, que puede ser cogido de otra tarea que se haya podido realizar en menos tiempo. Este tipo de implementación requiere imponer restricciones en el tiempo y en la cantidad de trabajo a recoger de la bandeja inicial de tareas a realizar, para evitar riesgos y reducir el trabajo que requiera cambios.



Imagen 5-4. Ciclo de vida ágil basado en flujo. (Fuente: PMI)

Los enfoques ágiles de gestión de proyectos cambian por completo la filosofía en la ejecución de los ciclos de vida dado que: la creación de equipos y redes de trabajo cobra mayor importancia; existe una mayor colaboración con las partes interesadas del proyecto, y sobre todo porque puede responder al cambio y realizar evaluaciones integrales de riesgos de forma dinámica (Bergmann & Karwowski, 2018).

¿Puede un enfoque ágil ser considerado como el más adecuado para gestionar un proyecto complejo? Si, pero no del todo. La razón de esto es que este tipo de enfoque no permite orientar a los miembros del equipo hacia un rápido aprendizaje de todos los aspectos del proyecto, por lo que es complicado generar nuevos conocimientos dinámicos sobre su entorno y, sobre todo, no permite, de manera plena, la posibilidad de escalar los resultados obtenidos. Es decir, el aumento del valor añadido por aumento de personal al equipo del proyecto puede impactar negativamente en el desarrollo general de la gestión (Tarne, 2015).

En un enfoque ágil básico (*imagen 5-5*), es el equipo quien prioriza su trabajo pudiendo encontrar cambios a realizar en los entregables, y que estos no hayan tenido en cuenta ciertos requerimientos acordados previamente, o bien que ciertas tareas sean urgentes, pero estas no

sean esenciales para poder obtener objetivos que fueran requeridos por los interesados (Mkoba & Marnewick, 2020).

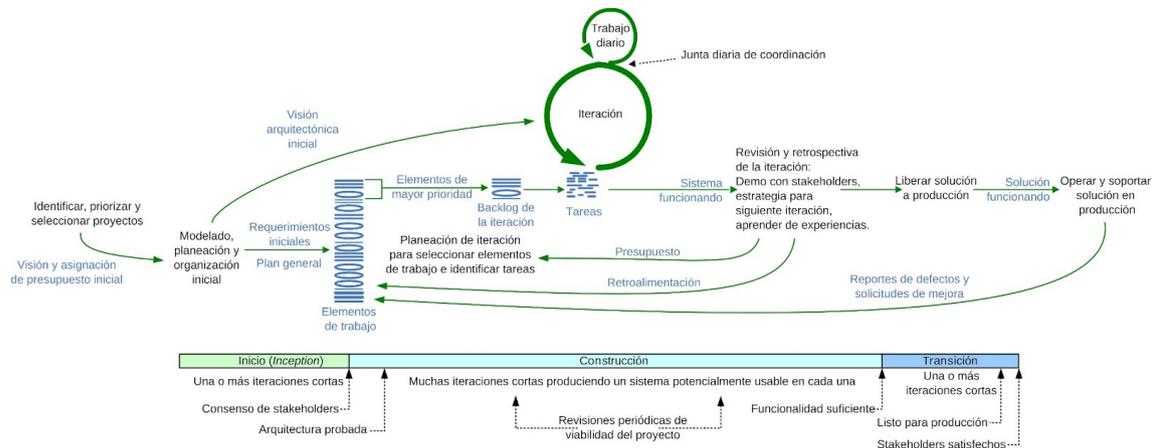


Imagen 5-5. Enfoque ágil básico (Fuente: SG⁸).

En un enfoque ágil disciplinado (imagen 5-6), los equipos están dirigidos por gerentes que están motivados sólo por la consciencia del cambio inminente y los riesgos potenciales que pueden producirse. Este enfoque, además, tiene consideraciones más amplias, no sólo de las partes interesadas, sino también de las posibles complicaciones que surgen de las redes externas, los grupos autoorganizados y los posibles riesgos. También puede administrar diferentes equipos que no estén en el mismo lugar de trabajo. Este método es muy cómodo, y permite agregar nuevos requisitos a la pila de funciones sobre la marcha según sea necesario (Diebold et al., 2018).

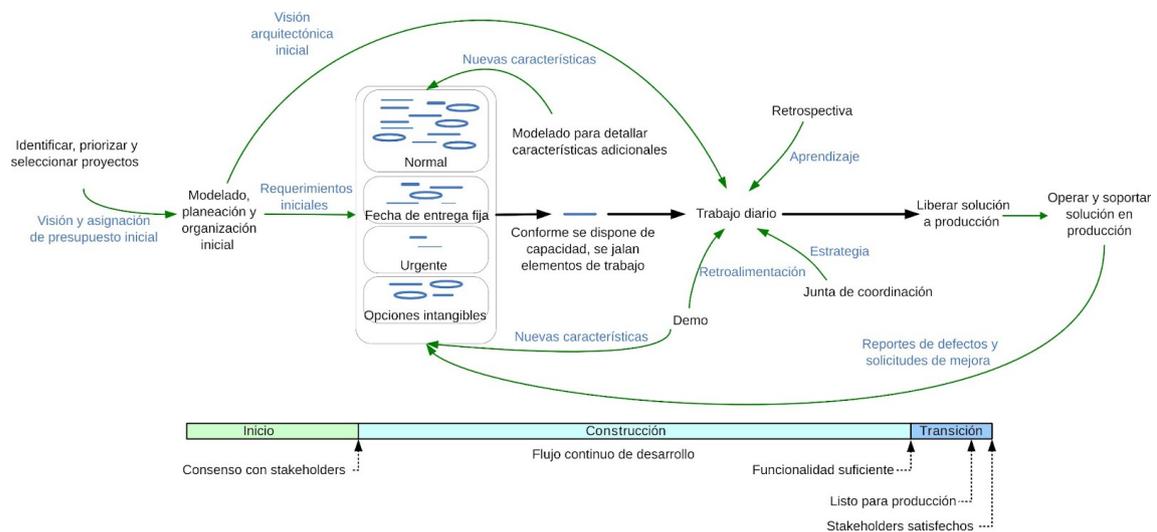


Imagen 5-6. Proyecto con ciclo de vida ágil disciplinado (Fuente: SG).

⁸ <https://sg.com.mx/revista/entrega-%C3%A1gil-disciplinada>. Visitada el 22/11/22.

Este enfoque está adoptado actualmente por algunas agencias de la ONU para llevar a cabo proyectos de desarrollo, y se está considerando introducir en el CPAS (Comprehensive Planning and Performance Assessment System), organismo supervisor que actualmente gestiona técnicamente las misiones de paz de las Naciones Unidas (United Nations Agile P., n.d.).

5.1.4. Proyectos con ciclo de vida híbrido.

Se han presentado diferentes enfoques para acometer la gestión de proyectos desde un punto de vista de incertidumbre prácticamente nula en los requerimientos en la fase de planificación, el enfoque predictivo, hasta una incertidumbre amplia, donde los requerimientos, la complejidad y los riesgos dinámicos son cuestiones habituales, los enfoques adaptativos, destacándose el enfoque ágil como un enfoque que sería uno de los más adecuados a la gestión de proyectos complejos (Boogaard, 2021).

Este primer acercamiento a la ejecución ágil de un proyecto requiere del conocimiento y aceptación por parte de los interesados de los requerimientos planteados para la obtención de un alcance óptimo. Las reuniones continuas, cuidadosamente preparadas, con todas las partes interesadas, detectadas de forma dinámica y la definición adecuada de las expectativas son esenciales. Contar con un grupo de trabajo altamente flexible y comunicarse de forma regular es fundamental para no perder información y evitar los cuellos de botella en la ejecución de los procesos. En la fase de planificación previa al sprint de ejecución debe mantenerse y colocar el backlog como elemento central de entrada – salida de trabajos a realizar. (Nikravan & Melanson, 2008).

Se introduce a continuación el enfoque híbrido, como combinación de elementos de diferentes ciclos de vida, a fin de lograr ciertos objetivos que, con un solo enfoque, podrían no lograrse. Sobre todo, a la hora de asumir la adaptabilidad de los proyectos.

Uno de los factores clave para implementar un enfoque híbrido es el equilibrio del uso de enfoques convencionales y enfoques no predictivos. El uso de herramientas de ambos tipos de enfoque dependerá de los requisitos del proyecto, el aumento de la productividad con limitaciones de recursos, la evaluación continua de riesgos, y la adaptabilidad a los posibles cambios. Con todo, subestimar las herramientas y técnicas puestas a disposición del enfoque adecuado puede llevar al colapso de un proyecto (Lalmi et al., 2021).

La mayoría de los enfoques híbridos combinan metodologías ágiles con otros enfoques, y en este sentido su uso seguirá dominando, por su gran adaptabilidad al cambio, en las dinámicas que puedan producirse. Dentro de los enfoques ágiles, existen algunos que se utilizan más que otros, dependiendo del marco de trabajo. Así SAFe (Scaled Agile Framework), es un enfoque ágil que utiliza un escalado flexible basado en la jerarquía del proyecto aplicado, no solo a un proyecto, sino a la organización que lo sustenta. Otro enfoque ágil muy utilizado, visto anteriormente en este trabajo de investigación, es DA (Disciplined Agile), un marco de toma de decisiones que pone al equipo de trabajo en el centro del proceso de toma de decisiones y

proporciona una guía para optimizar el proceso en función de requerimientos dinámicos (Gemino et al., 2021).

Según (Copola Azenha et al., 2021) las principales características generales de los enfoques combinados se indican a continuación:

- **Perspectiva de planificación.** La planificación a largo plazo se centra en todo el ciclo de vida del proyecto, mientras que la planificación a corto plazo se centra en la iteración.
- **Planificación en el proyecto.** Pueden plantearse diferentes tipos de planificación dependiendo del grado de sofisticación que se tenga que afrontar. Desde un listado lineal de requerimientos hasta una planificación refinada con reevaluaciones y refinamientos constantes.
- **Actividades.** Detalles predecibles, no lineales y medibles para el ciclo completo; impredecible e inconmensurable para las iteraciones. Entregas tanto incrementales como escalonadas, con documentación equilibrada y formal.
- **Alcance del proyecto.** Compuesto por una especificación a largo plazo con descripciones formales de los objetivos y resultados esperados para el proyecto en su conjunto, y una visión a corto plazo para las iteraciones.
- **Cambios.** Los cambios son identificados y a corto plazo. La planificación se ajusta para cada interacción, evitando desviaciones en la planificación a largo plazo.
- **Seguimiento y control.** Incorpora seguimiento tradicional desde una perspectiva de largo plazo y enfoque no predictivo desde una perspectiva de corto plazo.
- **Gestión.** Adaptativa y formal. Presencia de la figura de un director de proyectos. Equipos multidisciplinares con jerarquía media.

La utilización de un enfoque predictivo centra el éxito del proyecto en la consecución de los objetivos planteados con calidad, por debajo del coste inicialmente previsto y en tiempo. La utilización de un enfoque híbrido, además de los tres criterios indicados, centra el éxito en la satisfacción de los interesados en el proyecto y en la generación de valor permanente. La calidad del trabajo en equipo multidisciplinar y la cultura de organizaciones estuvieron, además, detrás de la consecución de estos criterios de éxito (Satpute, 2022).

La utilización de varias metodologías combinadas para crear un modelo híbrido no tiene por qué ser aplicado desde el principio del ciclo del proyecto o para todos los procesos. Se muestran algunos ejemplos mostrados en la *imagen 5-7* que aclararán este concepto (PMI, 2017):

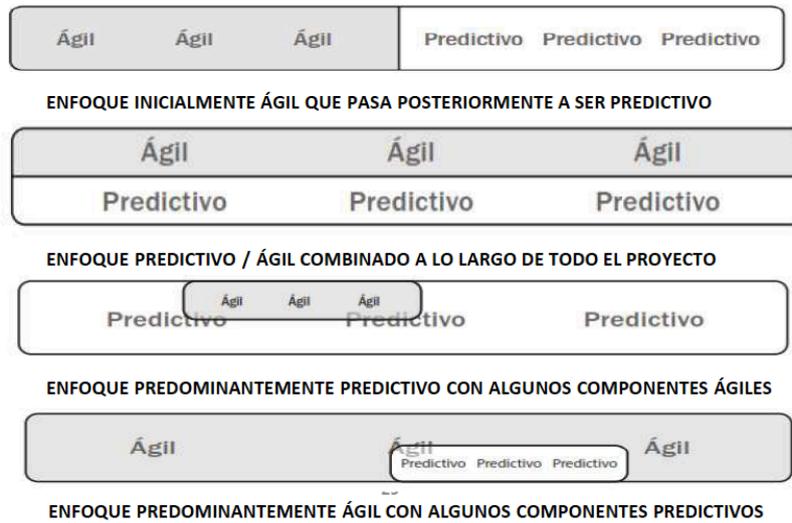


Imagen 5-7. Ciclo de vida híbrido. Algunos ejemplos (Fuente: PMI)

En el primer caso, se muestran los enfoques ágil y predictivo que son combinados para formar un modelo híbrido. Los primeros procesos utilizan un ciclo de vida ágil, el cual es seguido por un ciclo de desarrollo predictivo. Este enfoque híbrido se suele utilizar cuando existen incertidumbre, complejidad y riesgos dinámicos al comienzo del proyecto. Una vez solucionados, se cambia a un ciclo predictivo, donde ya están definidos todos los requerimientos y circunstancias que los acompañan para poder ser desarrollados, quizás por un equipo diferente. Un ejemplo de este tipo de enfoque híbrido puede ser la necesidad de realizar una fase de investigación y desarrollo previa al lanzamiento del producto o sistema creado. También podría ser utilizado en una misión de paz, teniendo una primera parte en la que se tenga que establecer una gobernanza, en situaciones de gran incertidumbre, con riesgos dinámicos y muchos interesados, y una vez establecido, desarrollar la misión desde un enfoque predictivo.

En el segundo caso, el enfoque híbrido viene definido por una combinación de enfoques híbridos y predictivos que se producen en el mismo ciclo de vida del proyecto. Este tipo de enfoque se realiza cuando se necesitan realizar algunos procesos en fase de agilidad (por ejemplo, iteraciones cortas, reuniones “daily standups” y retrospectivas) y otras, como estimaciones generales de alcance, planificación y costes, gestión de recursos o seguimiento del proyecto se realizan con enfoque predictivo. Ejemplos de este tipo de enfoques puede ser el desarrollo de un producto de software que desarrolla todo su ciclo de vida mediante enfoque ágil y partes predecibles como marketing, hardware o ventas se realizan mediante enfoque predictivo. También puede ocurrir en una misión de paz, donde la fase de gobernanza necesita pasos cortos y reuniones con interesados, rectificando los requerimientos mediante enfoque ágil y utilizar el enfoque predictivo para la realización de reconstrucción o en el despliegue para defensa de civiles en la zona de conflicto.

En el tercer caso, se muestra un pequeño elemento de agilidad en un proyecto en gran parte predecible. Podría ser que se esté abordando, en este caso, de manera ágil una parte del

proyecto con incertidumbre, riesgo o complejidad, estando el resto del proyecto realizado mediante enfoque predictivo. Por ejemplo, puede ocurrir que, en la realización de una infraestructura hidráulica de depuración de aguas residuales, que tiene un enfoque predictivo en su ejecución, se realice una pequeña parte de investigación en laboratorio, sobre la conveniencia, para el crecimiento bacteriano en el reactor biológico, para la aplicación de parámetros no definidos previamente. También puede ocurrir esto en una misión de paz de intermediación entre dos facciones con atención a civiles, estableciendo una desmovilización general, y aparecer de repente un grupo disidente al proceso de paz, dispuesto a alterar la situación consensuada, al no tener en cuenta sus exigencias, por lo que es necesario analizar los requerimientos a realizar, previamente establecidos, evaluar dinámicamente los riesgos o prever cambios rápidos.

En el último caso, se corresponde en gran medida con un enfoque ágil que tiene incrustado un pequeño componente predictivo. Este enfoque podría ser usado cuando un determinado elemento, en particular, debe ser desarrollado por ejemplo por un recurso externo al proyecto, que tiene un enfoque predictivo en su realización. En una misión de paz podría ser una operación en un ambiente de completa incertidumbre, y en un momento determinado, acordar la atención de cierta población en zona de conflicto con grandes necesidades.

El enfoque híbrido, a pesar de las dificultades que suele presentar en su desarrollo, es más popular de lo que en principio podría suponerse. Más del 75% de los proyectos que se ejecutaron en 2018 fueron híbridos en algún momento (Wolf Project, 2019).

Sería, por tanto, interesante, disponer de una herramienta, utilizable a alto nivel y en las fases de inicio y/o planificación, para saber qué tipo de enfoque escoger, utilizando para ello, parámetros generales que se puedan obtener de forma fácil y rápida, y que puedan ser representativos del proyecto.

5.2. Adaptación y resiliencia.

Una de las características fundamentales de los sistemas complejos, y por ende, de los proyectos complejos, es la necesidad de poder actuar sobre la incertidumbre, la volatilidad, la ambigüedad y la complejidad que se desprenden de su propia forma de ser. Para ello, la mejor garantía de actuación es poder adaptar la gestión de dichos proyectos y su resultado al medio ambiente en cuestión.

La adaptación implica una adecuación de la gestión del proyecto complejo mediante el enfoque adecuado, y emanando de él, la utilización de las herramientas, los procesos y la gobernanza más adecuadas a este.

La adaptación también implica comprender los objetivos de los interesados y el entorno operativo del proyecto complejo, aplicando, cuando sea necesario, un enfoque ágil para entregar valor lo antes posible, optimizándolo y adaptándolo al cambio. Para también, cuando sea preciso, escoger un enfoque predictivo para tener un control de costes y de planificación a través de herramientas tradicionales, estableciendo un análisis causa-efecto en aquellas partes donde el

proyecto no sea complejo. En definitiva, aplicar un sistema de gestión híbrida adaptativa que explote lo mejor de cada tipo de enfoque (PMBok_7, 2021).

Se plantea entonces qué es lo que se puede adaptar para realizar una gestión satisfactoria de un proyecto complejo. Además del enfoque, como ya se ha indicado en párrafos anteriores, sería necesario adaptar los procesos, con una mayor participación de los interesados y la utilización adecuada de métodos, herramientas y artefactos.

En cuanto a los procesos, es importante saber cuáles de ellos deben ser armonizados con el enfoque establecido, cuales deben ser agregados para asentar el enfoque y la metodología utilizada, cuales deben ser modificados y en qué términos, y cuales eliminados para reducir incertidumbre.

Un aspecto importante en el tratamiento de los proyectos complejos es el grado de participación de los interesados, tanto de los patrocinadores, como de los integrantes del proyecto, como finalmente de los afectados por la realización del proyecto. Este involucramiento procede directamente de los principios de la gestión ágil de un proyecto.

La adaptación de los medios que se utilizarán para lograr los resultados esperados deberá ser la apropiada al entorno, y para todo ello, se debe establecer un período inicial en el proyecto, que permita analizar y comprender el medioambiente donde se va a gestionar el mismo, posibilitando establecer los parámetros iniciales de trabajo.

Se reproduce en la figura 1 el gráfico donde se detallan los pasos en el proceso de adaptación. Dicho gráfico está en la sección 3.4 de la guía de fundamentos, “El proceso de adaptación” del PMBoK 7ed. (PMBok_7, 2021).

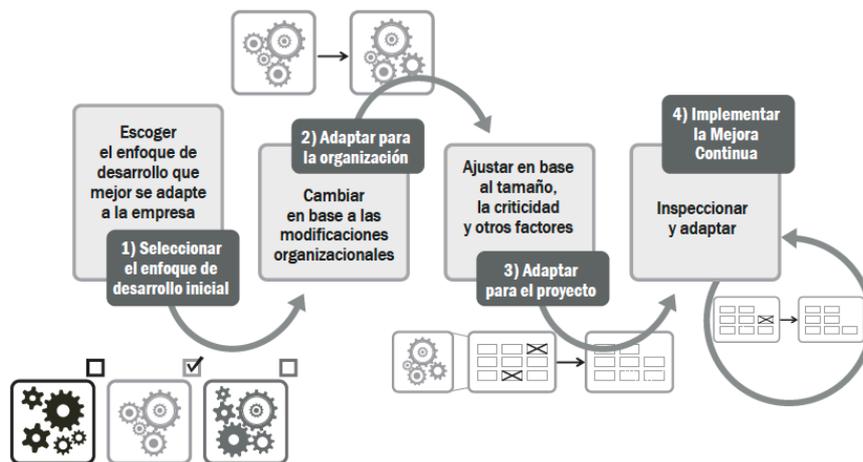


Imagen 5-8. Proceso de adaptación en un proyecto. (Fuente: PMI)

Como se puede observar en la imagen 5-8, el proceso de adaptación completo está compuesto por cuatro pasos:

- 1º Paso. Selección de enfoque (predictivo, ágil, híbrido).
- 2º Paso. Adaptación de la organización (modificaciones en la misma).
- 3º Paso. Adaptación del proyecto (Ajuste en base al tamaño, criticidad, interesados, etc.).
- 4º Paso. Implementación de mejora continua (supervisión y adaptación).

Sin embargo, este esquema adolece de un fallo importante, y es que el cuarto paso (mejora continua), debería reconectar con el primer paso (selección de enfoque), dado que una posible mejora del proyecto podría ser seleccionar otro tipo de enfoque en una fase posterior del mismo, conllevando modificaciones y adaptaciones en la gobernanza y en los procesos y herramientas a utilizar, como puede ocurrir en las misiones de paz, tal como se verá más adelante.

Como se ha destacado, al hablar de la complejidad, la resiliencia debe ser añadida a la gestión del proyecto para aumentar su fortaleza frente a procesos VUCA. La resiliencia es un concepto que aún está en el campo de la investigación, y no se ha aplicado formalmente, siendo únicamente definida y conceptualizada a través de trabajos como (Burns, 2007), (García, 2011), (Preiser et al., 2018), (Rahi, 2019) y (Nachbagauer & Schirl-Boeck, 2019), o bien parcialmente, como por ejemplo en (Pavez et al., 2021), donde se establecen pautas de resiliencia para equipos de proyectos donde se analizan las condiciones de trabajo en el contexto de la adversidad o el estrés, y la recomposición de este para mantener intacto el rendimiento mediante técnicas emotivas.

No obstante, se están dando pasos a la hora de sistematizar dicho concepto en otros campos, como el empresarial, a través de la resiliencia organizacional, que establece los procesos necesarios para aumentar la adaptabilidad de las organizaciones ante entornos de incertidumbre, y con un aumento considerable del riesgo. Sin embargo, no se revela un planteamiento único, sino una serie de técnicas transversales a otras disciplinas (AENOR ISO-UNE 22316, 2020).

5.3. El éxito de un proyecto.

El enfoque sobre que ciclo de vida va a llevar un proyecto es fundamental para orientar al director de un proyecto a utilizar la visión más adecuada para alcanzar los objetivos.

Para medir el éxito de un proyecto convencional, se necesita medir el éxito sobre “cómo se hace el proyecto” y sobre “qué resultado se obtiene del proyecto” siguiendo la estela de los diferentes estándares de gestión de proyectos, que diferencian la ejecución de un proyecto con la gestión del alcance a obtener.

El éxito del “cómo” depende de tres elementos principales, que se definen en muchos de los estándares de dirección de proyectos: el coste del proyecto; la duración del proyecto, y si los resultados de los proyectos cumplieron con los requisitos previos. El éxito del “qué” depende de si el resultado del proyecto cumple con las expectativas de los interesados. La mayoría de los directores de proyecto entienden que, si se cumple con los requisitos previos, que generalmente

se establecen en la fase de planificación, el alcance que se conseguirá cumplirá las expectativas de los interesados. Pero esto puede no ser del todo cierto, puesto que puede que algunos requisitos no se hubieran tenido en cuenta en la fase de planificación o no se hubiesen atendido durante la ejecución del proyecto. Por lo tanto, para que el proyecto pueda tener éxito, es muy importante (Crispieri, 2019):

- Tener una buena comprensión de los requisitos que debe cumplir el proyecto, por lo que se debe comunicar con todos los interesados, antes, durante la ejecución del proyecto y previo a la fecha de entrega en las fases de verificación y validación.
- Controlar los requisitos y gestionar sus cambios. Resulta necesario establecer el enfoque que se va a utilizar en la gestión del proyecto para obtener éxito en coste, tiempo y resultado.
- Supervisar, durante la fase de ejecución del ciclo de vida del proyecto, controlando tanto la planificación como los costes de proyecto según las herramientas de las que se dote el director de proyecto, y en base al estándar utilizado. Es importante controlar sobre todo los interesados y los riesgos.

Pero además del enfoque, es necesario saber si esa forma de abordar el trabajo es la más adecuada, dado que el éxito de una organización está íntimamente ligado al éxito de los proyectos que se ejecuten. Sería por tanto necesario realizar una medición real de ese éxito. Para ello, algunos autores proponen que la gestión del éxito sea una nueva área de conocimiento (por ejemplo, en ISO 21500 o en PMBoK). Esta área de conocimiento debería poder (Varajão, 2016):

- **Identificar los factores de éxito.** Este proceso identificará y describirá los factores de éxito del proyecto, definiendo su importancia relativa, identificando las fases del proyecto en las que los factores son relevantes, así como su revisión. Debe realizarse en la fase de planificación.
- **Definir los criterios de éxito.** Este es uno de los aspectos más relevantes de la gestión del éxito, dado que además debe incluir a todas las partes interesadas. Debe realizarse en la fase de planificación.
- **Realizar la evaluación del éxito.** Se encargará de evaluar durante la fase de ejecución la información para recabar si el proyecto será un éxito cuando se termine su ciclo de vida. Debe incluir herramientas para detectar nuevos factores de éxito y poderlos integrar en el primer proceso.
- **Validar e informar el éxito del proyecto.** Debe tener lugar durante la fase de cierre del proyecto. Revisará los diferentes aspectos del éxito del proyecto para la evaluación final de mismo, así como evaluar cuantitativamente que grado de éxito ha obtenido el proyecto.

Es importante reconocer que realizar un grupo de procesos para medir el éxito de un proyecto conlleva una parte de subjetividad, dado que existen diferentes percepciones en los interesados sobre ese grado de éxito. Además, no se tiene por qué plantear una nueva área de conocimiento dado que, se pueden aunar aspectos conocidos en otras áreas como la eficiencia, la eficacia, la gestión de riesgos, o la sostenibilidad del resultado obtenido para asegurar el éxito (Surco-Guillen et al., 2022).

Si el proyecto es complejo, la utilización de enfoques diferentes al tradicional o predictivo hace que la medición de su éxito se vuelva difícil de evaluar, sobre todo en sectores en los que existen una gran variabilidad de criterios. Los aspectos económicos son importantes, y la planificación de los trabajos constituye un importante hándicap a la hora de gestionar un proyecto. Existen sectores donde el éxito de la implementación de todos los objetivos es fácil de realizar, mientras que en otros sectores es complicado, y a veces deja de ser posible (Bosch-Rekvelde et al., 2018).

La creación de nuevos requisitos, para enfoques que son diferentes al predictivo pueden aumentar los factores de tiempo y costo de estos, y los objetivos pueden resultar en ocasiones imposibles de alcanzar, por tanto, se necesita definir (T. Williams, 2005):

- Métricas para comprobar las tres dimensiones fundamentales: coste, calidad y planificación.
- Formas en las que se puedan mezclar filosofías contrastables que permitan fusionar enfoques diversos (híbridos).
- Como encajar los diferentes enfoques de tal manera que se ajusten al ciclo de vida del proyecto.

A raíz de la bibliografía aportada, la medición del éxito de un proyecto se torna complicada cuando el enfoque utilizado no es el predictivo. Cuando se está utilizando enfoques ágiles o híbridos, se hace necesario poder establecer métricas ya sean cualitativas o cuantitativas (J. Bennett, 1991).

Algunos autores abogan por enfoques cualitativos, por ejemplo (Ireland et al., 2012), considera que se deben establecer varios procesos clave, como son la implementación de dinámica de sistemas, en aquellos elementos que sean complejos, la identificación de límites y la identificación de agentes adaptativos en el proyecto que se está ejecutando, teniendo en cuenta que se debe considerar la autoorganización como el elemento motor de los procesos. También (Owens et al., 2012), analiza de un modo cualitativo los elementos que caracterizan el éxito en un proyecto complejo y considera fundamental actuar de un modo integrado y considerar no sólo las tres áreas de gestión clásicas (coste, cronograma y entregables), sino que se deben añadir dos áreas más: financiación a lo largo del ciclo de vida, y enfoque a la hora de dirigir el proyecto.

Otros autores consideran que el éxito está en controlar aspectos cuantitativos. Así, (Xia & Chan, 2012), para proyectos complejos de construcción de infraestructuras, define un valor numérico,

denominado índice de complejidad, basado en seis aspectos consultados mediante metodología DELPHI (Función y estructura, método de construcción, cronograma, tamaño del proyecto, condiciones geológicas, entorno social al proyecto). También (Sinha et al., 2011) utiliza un valor numérico, en este caso, obtenido por descomposición funcional al dividir el proyecto en subtareas, soluciones para dichas subtareas y evaluación de las soluciones.

Por último, hay autores que enfatizan en que los sistemas de evaluación de complejidad y obtención de éxito deben basarse en los estándares existentes de gestión de proyectos, para garantizar la implementación de competencias y prácticas reconocidas en la gestión de proyectos complejos. Así, en (Poveda-Bautista et al., 2018), se considera que no existen, hoy en día, herramientas de aplicación directa para medir el éxito de un proyecto complejo, por lo que deben utilizarse metodologías sobre proyectos convencionales, y adaptarlas lo mejor posible. Para ello utilizan una nueva herramienta basado en el enfoque IPMA. Por otra parte, en (Kordova et al., 2021), se propone una herramienta para determinar el éxito de un proyecto utilizando herramientas de aprendizaje automático sobre metodología PMBoK, de tal manera que, para proyectos de tecnología, la utilización de esta metodología, con ciertas restricciones, es plausible.

A la hora de analizar el éxito de un proyecto se han revisado algunos conceptos en este apartado y se ha determinado que, con carácter general se debe de controlar tanto el “qué” como el “cómo”. Sin embargo, para poder establecer el éxito en un proyecto complejo, como es una misión de paz de las Naciones Unidas, es necesario revisar cuales pueden ser los parámetros específicos para su medición. Esto se realiza en el [capítulo 9](#) de este trabajo de investigación.

5.4. Herramientas para determinar proyectos complejos.

Como se indicó tanto en el [capítulo 2](#) como en el [capítulo 4](#), en proyectos con un entorno sin incertidumbre y con requisitos predefinidos, el enfoque que mejor se adapta en la gestión de este tipo de proyectos, es el enfoque convencional o predictivo. Además, cuando un proyecto es muy complejo, con gran incertidumbre inicial, alto riesgo y valor agregado, se deben utilizar enfoques adaptativos a lo largo de la ejecución del proyecto. Por lo tanto, en su gestión es esencial elegir el enfoque a establecer, para ejecutar y monitorear el proyecto.

El uso de un enfoque coherente también conlleva la complejidad del proyecto, ya que opera en un entorno con elementos altamente interdependientes en toda la red, que pueden cambiar a lo largo del ciclo de vida. Estas redes pueden introducir nuevos elementos que inicialmente no se detectaron, creando un riesgo e incertidumbre significativo (Brady & Davies, 2014).

En el [apartado 5.1.4](#), se indicó que puede no existir un único enfoque en un proyecto, pudiendo existir diferentes enfoques, ya sean secuenciales y/o paralelos, en el ciclo de vida del proyecto. Por lo tanto, sería interesante tener una herramienta de alto nivel que pudiera indicarnos qué tipo de enfoque de ciclo de vida se quiere adoptar en un proyecto, ya sea altamente predictivo, híbrido o puramente ágil, porque se tenga en este último caso un proyecto con mucha incertidumbre.

Por ende, también sería interesante utilizar esta herramienta, para poder saber que enfoque podrá tener una determinada misión de paz, y poder gestionar está en la dirección correcta.

Stacey planteó en su libro “Complexity and creativity in organizations” (Stacey, 1996), basándose en la complejidad que los proyectos, que de forma general, es difícil compaginar la planificación y la dirección de proyectos siguiendo un esquema predictivo, y planteó dos perspectivas con las que establecer la gestión de este: el grado de certeza que pudiera tenerse en la tecnología a utilizar, y el grado de acuerdo de los interesados con los requerimientos a tener en cuenta en el alcance del proyecto. Una manera de representar gráficamente estas dos perspectivas está reflejada en la *imagen 5-9* (Palacios, 2019).

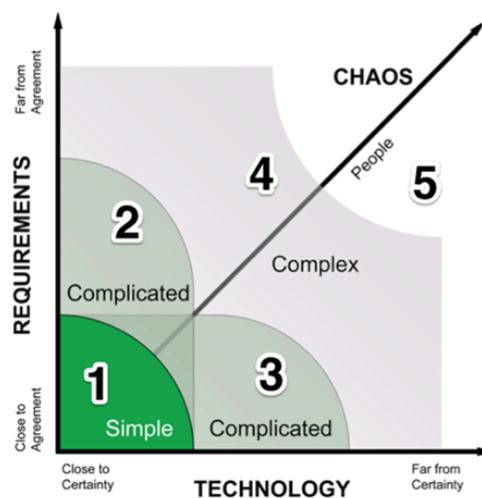


Imagen 5-9. Matriz Stacey de complejidad (Fuente: Palacios)

Este diagrama relaciona la jerarquía con los requisitos proporcionados por las partes interesadas en las primeras etapas del proyecto y la tecnología requerida para cumplir con estos requisitos.

En dicha imagen en el eje de ordenadas se implementa el nivel de acuerdo sobre los requerimientos a seguir para llegar a un alcance. Este nivel de acuerdo fluctúa entre el nivel inferior, donde el acuerdo es prácticamente total y no hay problemas en cuanto a los requerimientos necesarios para el alcance del proyecto y el nivel superior, donde no existe acuerdo sobre los requerimientos a establecerse. Esto implicará la celebración de muchas reuniones, cambios de opinión, establecimientos y cambios en las alianzas entre los interesados.

En el eje de abscisas se representa el conocimiento sobre la tecnología a utilizar para conseguir el alcance. En la zona cercana al origen de coordenadas se representa la zona donde el conocimiento sobre la tecnología es total. En la zona más alejada del origen de coordenadas se representa la zona donde el conocimiento sobre la tecnología es mínimo. Esto implicará que haya numerosos cambios de tecnología en diferentes fases del proyecto.

La progresión en este diagrama se produce por la inclusión de personal en el proyecto en ambas perspectivas.

El gráfico de Stacey, por lo tanto, divide el diagrama en cinco regiones:

- Zona 1. **Simple**. Donde el proyecto puede tener un enfoque predictivo.
- Zona 2 y 3. **Complicado**. Donde el proyecto puede tener algunos enfoques diferentes al predictivo. Así en la zona 2, un enfoque progresivo es altamente recomendable. En la zona 3, un enfoque iterativo es el más adecuado.
- Zona 4. **Complejo**. En esta zona un enfoque adaptativo, tipo ágil, podría ser lo más apropiado.
- Zona 5. **Caótico**. No existe un enfoque adecuado en esta zona, y se deberían analizar más detenidamente tanto requerimientos como tecnología, para poder tener una visión más clara de ambos, o bien abandonar el proyecto.

5.4.1. Contingencia y sistemas complejos.

La gráfica de Stacey (*imagen 5-9*) tiene problemas de especificidad y de precisión, dado que utilizar dos parámetros cualitativos puede eliminar datos para una toma de decisión más efectiva.

Matland, propuso sobre dos circunstancias, a saber, conflicto en el proyecto y grado de ambigüedad en los requerimientos cuatro entornos de gestión: entorno administrativo, donde hay poca conflictividad y un grado de ambigüedad pequeño; entorno político, donde hay alto conflicto y baja ambigüedad; entorno experimental, donde hay bajo conflicto y alta ambigüedad, y entorno simbólico, donde hay alto conflicto y alta ambigüedad (Matland, 1995).

Pich, Loch y Meyer plantearon que la elección de un determinado enfoque para la gestión de proyectos debería depender de la incertidumbre, la ambigüedad y la complejidad, no solo del proyecto, sino del entorno en el que se desarrolla este. Dependiendo de estos parámetros, plantearon tres estrategias para determinar el enfoque más adecuado: Instruccionista, mediante un enfoque convencional; aprendizaje, mediante enfoques ágiles, incrementales o iterativos, y seleccionista mediante enfoques adaptativos híbridos (Pich et al., 2002).

Estos autores y otros tantos, se decantan a la hora de elegir una herramienta para determinar el enfoque de la gestión de proyectos, en la denominada teoría de la contingencia Fiedler (Fiedler, 1993) aplicada a la gestión de proyectos, donde las ideas clave son que: no hay una manera mejor que otras para organizarse y establecer las herramientas adecuadas para desarrollar un trabajo en una organización, lo que conlleva por tanto multitud de sistemas de gestión; es necesaria una buena elección de percepciones diferentes para poder trabajar en diferentes entornos, y por último, la dirección debe preocuparse, sobre todo, de lograr la mejor alineación y el mejor ajuste para acometer el proyecto con garantías de éxito (Morgan, 1998).

Los estudios vistos hasta el momento plantean herramientas de decisión de enfoques que, aunque son capaces de discernir diferencias dependiendo del tipo de proyecto, y en algún caso del entorno, no plantean ninguna dinámica, siendo visiones completamente estáticas donde se

toma una determinada y se establece un enfoque a seguir, sin posibilidad, aparente, de poder cambiar.

Tampoco estos autores plantean la posible existencia de redes y multirredes entre interesados, requisitos, ambigüedades y otros parámetros a tener en cuenta.

Recientemente, Boonstra y Reezigt, consultando amplia bibliografía, han creado un marco de complejidad para la gestión de proyectos (Boonstra & Reezigt, 2023) en el que establecen dos dimensiones y tres dominios a la hora de analizar qué tipo de enfoque es el necesario para poder encontrar el más adecuado para gestionar un proyecto.

Las dos dimensiones, teniendo en cuenta la complejidad, son las siguientes:

- **Complejidad estructural.** Se refiere a los elementos, tanto internos como externos, y su organización dentro del proyecto. Una baja complejidad estructural considera que el proyecto es sencillo, y puede ser resuelto de forma autónoma por un grupo homogéneo de personal. Una alta complejidad estructural conlleva numerosos expertos de múltiples disciplinas que tienen que combinar aspectos técnicos, incluso no creados en ese momento, para poder gestionar dicho proyecto.
- **Complejidad dinámica.** Se refiere al nivel de cambios que deben realizarse en el ciclo de vida del proyecto. En un proyecto con una baja complejidad dinámica, los requisitos están bien establecidos, el alcance está consensuado, y todos los interesados están de acuerdo con él, la tecnología es bien conocida y no requiere cambios. Un proyecto con alta complejidad dinámica tiene numerosos cambios, numerosos interesados que pueden cambiar repentinamente de opinión o de interés, y la tecnología no es bien conocida y es posible que pudiera modificarse.

Los tres dominios que se tienen en cuenta son los siguientes:

- **Contenido.** Incluyen los objetivos, las estructuras creadas, las tecnologías, los recursos y las personas que realizan el proyecto. Los autores se refieren a este dominio como el “qué” del proyecto.
- **Contexto interno.** La organización del cual depende el proyecto, el medio ambiente del equipo de trabajo. Los autores se refieren a este dominio como el “dónde”.
- **Entorno externo.** Los interesados, los socios externos y el medio ambiente exterior a la organización que dirige el proyecto.

Dependiendo de las dimensiones y los dominios, establecidos los mismos mediante herramientas, se pueden obtener cuatro tipos de enfoque para realizar la gestión del proyecto:

- **Enfoque uniforme.** Prima el Instruccionismo. Para proyectos con baja complejidad estructural y baja complejidad dinámica.

- **Enfoque pluriforme.** Prima sobre todo la gestión de stakeholders. Para proyectos con alta complejidad estructural y baja complejidad dinámica.
- **Enfoque abierto.** Prima el aprendizaje y la experimentación. Para proyectos con baja complejidad estructural y alta complejidad dinámica.
- **Enfoque ambiguo.** Prima la dialéctica simbólica sobre la divergencia que pueda producirse. Para proyectos con alta complejidad estructural y alta complejidad dinámica.

Aunque en este último marco de trabajo, se implantan algunas herramientas de decisión de enfoque que tienen en cuenta la complejidad, desde un punto de vista estructural y dinámicamente, ambas parecen ser excluyentes en cuanto a posibles interacciones entre ambas. No se considera por tanto la coevolución. Por tanto, es necesario un acercamiento donde la dinámica de redes en contenido y contextos internos y externos sea tenida en cuenta.

5.4.2. Análisis de redes sociales y sistemas complejos.

Se definió en el [capítulo 4](#) de este trabajo de investigación el concepto de sistema complejo como una red multicapa en coevolución. Se introducen ahora herramientas para tratar con sistemas complejos desde un punto de vista de flujo y coordinación en redes.

Un proyecto, como sistema que es, puede representarse como una red con sus nodos, donde se introducen los distintos elementos estructurales del proyecto, y los enlaces, que son las interrelaciones e interdependencias entre dichos elementos estructurales. Dichas redes con sus nodos y enlaces implican incertidumbres y ambigüedades, debido a interdependencias entre múltiples interesados con diferentes objetivos y niveles desiguales de experiencia. Esto conlleva alto riesgo de incumplimiento en cuanto a plazos y presupuestos, y numerosos conflictos, independientemente que el proyecto tenga un pequeño o gran presupuesto (Jones & Lichtenstein, 2008).

A raíz del desarrollo de las redes sociales, se han potenciado las herramientas de análisis de redes sociales (SNA) que permiten investigar las relaciones entre elementos (nodos) y sus características y relaciones estructurales desde un punto de vista sistémico, y no desde relaciones diádicas que hacen perder la perspectiva de conjunto.

Pryke considera que las herramientas de análisis de redes sociales pueden ser enfocadas y adoptadas para el estudio de la gobernanza de proyectos, centrándose en dos de las propiedades características del estudio SNA, como son la densidad y centralidad, para comparar ciertos aspectos de un proyecto como pueden ser el papel de los interesados y de los tipos de contratos que puedan establecerse (Pryke, 2005).

A diferencia de otro tipo de redes, autores que han desarrollado estudios sobre aplicación de SNA a proyectos, como (Borgatti & Halgin, 2011; Carrington et al., 2005; Kenis & Oerlemans, 2008), consideran que las redes establecidas en proyectos son no repetitivas, temporales y suelen tener objetivos establecidos por interesados a través de requerimientos. Hoy en día los

proyectos no están realizados por una única empresa, sino que se produce una coordinación entre empresas de diferente índole, pudiendo ser sus interrelaciones formales (contrato), informales (acuerdos verbales o toma de posiciones), fuertes (realización de un trabajo determinado en una fase del proyecto) o débiles (una asociación enfrentada al paso de una tubería por una calle), frecuentes (realización de varios trabajos en el transcurso del proyecto) o infrecuentes (realización de un único trabajo), emocionales (realización de un reto social a través de un producto proyectado) o pragmáticos (realización de una obra sin interés social). Se establecen, por tanto, redes con elementos introducidos en relaciones que pueden generar oportunidades o amenazas.

Según Borgatti y Haldin (Op. Cit), existen dos modelos de investigación de redes para estudiar la gobernanza con una perspectiva estructural: el modelo de flujo y el modelo de coordinación.

El **modelo de flujo** abarca la interacción de la estructura de la red con un flujo dado para estudiar los actores individuales en cuanto a su posición en la red.

Propiedades estructurales, según el modelo de flujo, son:

- La **centralidad de grado, de cercanía y de intermediación**. Son propiedades a nivel de actor que refleja el volumen de actividad del nodo estudiado con respecto a otros nodos (Wasserman & Faust, 1994). Un nodo con un grado alto se presenta con mayor visibilidad, y está en contacto con otros nodos adyacentes de la red. Los actores con un alto grado suelen ejercer un dominio sobre otros actores periféricos (Stock et al., 1998). Medidas adicionales de centralidad de grado para redes no dirigidas son la centralidad de intermediación (que nodos actúan como puente entre otros nodos para establecer las rutas más cortas), la centralidad de cercanía (que nodos tiene la particularidad de recibir y enviar de manera eficiente la información lo más rápido posible), la excentricidad y la centralidad de valor propio (Freeman, 1978). Posteriormente Brin y Page ampliaron estos conceptos a redes dirigidas (Brin & Page, 1998).

En las redes dirigidas, además, se tiene el prestigio de entrada (número de grado entrante en un nodo) que se denomina soporte y el prestigio de salida (número de grado saliente en un nodo) denominado influencia. Los nodos con un nivel de soporte alto son prominentes. Los nodos con un nivel de influencia alto son influyentes.

- La **centralización**. Es una propiedad a nivel de red que indica en que parte de la red se concentra la mayor intensidad de flujo en el intercambio. Si está concentrada en pocos nodos la red será jerarquizada y si está ampliamente distribuida, es una red descentralizada (Kim et al., 2011). Las métricas más destacadas son:
 - o Diámetro. Estudia la proximidad entre diadas de actores en la red. Si una red tiene un diámetro grande, la red es dispersa. Si el diámetro es pequeño, la red es densa.
 - o Radio. La distancia mínima de excentricidad de la red.

- Distancia media. Para un grafo dirigido es la distancia geodésica entre un par de nodos. Representa la eficiencia del flujo de información en la red.
 - Coeficiente de clustering medio. Es una medida que indica la probabilidad de que dos vecinos de un nodo de la red, escogido aleatoriamente, esté conectado.
 - Medida de centralización de intermediación y medida de centralización de cercanía. Miden el nivel de los atractores de una red.
- La **densidad**. Es una propiedad a nivel de red que expresa el número de lazos establecidos sobre el número de lazos máximos posibles. Refleja la conectividad de la red.
 - La **complejidad**. Está relacionada con los dos parámetros anteriores, centralización y densidad. Se define como el número de relaciones de dependencia dentro de la red. Autores como Provan y Milward (Provan & Milward, 1995) consideran que redes con un gran número de actores con alta interdependencia entre ellos, requiere gran nivel de coordinación y por tanto de complejidad. Otros autores como Kim, Yan y Dooley (Op. Cit.) consideran que una mayor complejidad está asociada a un gran tamaño de red, una gran centralidad y una alta densidad de red. Por último, otros autores, como Choi y Hong (Choi & Hong, 2002) consideran que una alta centralización en la red de información indica interacciones débiles entre centro y periferia, una posible formación de consorcios entre actores, lo que tiende a ralentizar las operaciones y la toma de decisiones por lo que aumenta los costes y los fallos, por lo que aumenta la complejidad (Aggarwal, 2011).

El **modelo de coordinación** estudia cómo están unidos los nodos de una red. Si un nodo está unido a muchos nodos débiles (nodos con pequeño grado) se le considera un nodo poderoso. Si un nodo está unido a muchos nodos poderosos (nodos con grado grande) se le considera débil. A diferencia del modelo de flujo, el modelo de coordinación tiene una única métrica importante, la centralidad Beta o centralidad Bonacich (Bonacich, 1987).

La centralidad Beta es una centralidad basada en las centralidades del vector propio de la matriz de adyacencia de la red analizada. No se basa en la centralidad de un nodo en concreto sino en la centralidad de los vecinos de ese nodo, en la prominencia. Es decir, no todas las conexiones tienen la misma importancia, se tiene en cuenta la calidad de estas (Bonacich & Lloyd, 2001).

El parámetro Beta (β) es un factor de atenuación que determina los actores de la red que influyen en la centralidad de un determinado nodo (Rodan, 2011):

- Si β es pequeño, implica que la atenuación es alta y sólo los nodos adyacentes al nodo estudiado influyen, siendo su importancia meramente puntual.

- Si β es grande, implica que la atenuación es baja y no sólo son importantes los nodos adyacentes al nodo estudiado, sino que además son importantes los nodos adyacentes de los nodos adyacentes....
- Si β es cero, se estaría con la centralidad de grado del modelo de flujo.

El parámetro Beta (β) además tiene signo, de tal forma que:

- Si $\beta > 0$ los actores tienen una mayor centralidad cuando están conectados a otros actores centrales.
- Si $\beta < 0$ los actores tienen una mayor centralidad cuando están conectados a actores poco centrales.

Del modelo de coordinación se derivan otras propiedades a nivel de las relaciones entre tríadas (entre tres nodos / actores) como son la transitividad, “tertius gaudens” (un tercero que se beneficia de un conflicto entre otros dos actores) y “tertius iungens (un tercero que favorece el acercamiento entre otros dos actores) (Obstfeld, 2005).

La transitividad es la base de los agujeros estructurales, zonas de la red donde un nodo altamente interconectado con múltiples nodos es eliminado, produciendo un hueco dejando a los demás nodos aislados (Burt, 2018).

El método Adami y Verschoose.

Adami y Verschoose (Adami & Verschoore, 2018) proponen un marco de referencia de análisis estructural de un proyecto mediante redes formado por una multirred de tres niveles, apoyados por abundante bibliografía:

- **Red de suministro.** Esta red controla la coordinación y control del suministro de bienes y servicios. Además, estudia la distribución de poder y autoridad entre los actores. Según los autores, altos valores de centralización de grados implican una mayor centralización de la autoridad y, en consecuencia, existirán altos niveles de control en las redes de proyectos, y por ello estará sujeta a una alta carga de trabajo operativo por parte de sus proveedores. La centralidad a nivel actor permite identificar a los compradores y proveedores reales en las redes del proyecto. Las empresas con alto grado de centralidad asumirán el rol de empresas integradoras, al organizar sus bienes y recursos en el resultado final del proyecto.
- **Red contractual.** Esta red controla desde la implicación formal de las empresas en el proyecto y desde el poder formal asociado a los contratos. También se encarga de los instrumentos formales utilizados en nuevas relaciones y cuando se producen cambios de proveedores. Valores altos de centralización en la red de contratos indican interacciones débiles entre empresas centrales y periféricas y relaciones desconectadas entre

empresas en diferentes niveles de suministro. El grado de centralidad en una red contractual indica el alcance de la influencia de una empresa en las decisiones operativas, y el comportamiento de otras empresas en un proyecto. Una red contractual con un alto volumen de conexiones entre las empresas se relaciona con alta complejidad.

- **Red de información.** Esta red controla el poder informal de la información, contribuyendo a la gobernanza efectiva de las relaciones. Representa el funcionamiento real de la red. La propiedad de centralización suele estar asociada al control de las comunicaciones del proyecto por parte de una empresa. Con alta centralización, existirán restricciones en el intercambio de información entre los nodos más concentrados y los más periféricos. Esta comunicación, lenta y limitada, puede conducir a demoras en la solución de problemas locales y formación de nodos “resistentes” que pueden producir fallas en la operativa del proyecto.

Adami y Verschoose estudian la multirred mediante los dos modelos anteriormente vistos, flujo y coordinación. Así se puede resumir que:

- Red de suministro:
 - o Modelo de flujo:
 - Propiedades generales a nivel proyecto:
 - Alto grado de centralización asociado con centralización de la autoridad, alto nivel de control.
 - Alta complejidad asociada con una gran carga de trabajo operativa, dificultad para gestionar el flujo de bienes y servicios aguas arriba, necesidad de un mayor control.
 - Propiedades a nivel actor:
 - Centralidad de alto grado identifica a los proveedores o destinatarios reales, los integradores del proyecto.
 - o Modelo de coordinación:
 - Propiedades generales a nivel triádico:
 - Los agujeros estructurales identifican actores en posición de ejercer un mayor control sobre el flujo de materiales o servicios, pudiéndose beneficiar de un mayor control para una mejor gestión de su ámbito.
 - Propiedades a nivel actor. No se consideran.

- Red contractual:
 - Modelo de flujo:
 - Propiedades generales a nivel proyecto:
 - Alta centralización asociada con interacciones débiles entre empresas centrales y periféricas y relaciones desconectadas.
 - Alta complejidad asociada al volumen de relaciones que requieren coordinación.
 - Propiedades a nivel actor:
 - La centralidad de alto grado corresponde a las influencias sobre decisiones y comportamientos.
 - Actores en posición de actuar como coordinadores o mediadores de conflictos.
 - Modelo de coordinación:
 - Propiedades generales a nivel triádico:
 - Los agujeros estructurales señalan a los actores en mejores condiciones para poder efectuar intervenciones y controlar las actividades de los actores periféricos.
 - Se tiene una mayor oportunidad de negociar contratos más favorables y obtener beneficios para ellos mismos.
 - Propiedades a nivel actor:
 - La centralidad beta alta corresponde al poder de persuasión ejercido por un determinado actor.
 - Los actores en esta posición central tienen la legitimidad para actuar como líderes del proyecto.
- Red de información:
 - Modelo de flujo:
 - Propiedades a nivel de proyecto:
 - Alta concentración asociada a restricciones en el intercambio de información y conocimiento de empresa.

- Alta densidad asociada a intercambios no jerárquicos y relaciones colaborativas.
- Propiedades a nivel actor:
 - Centralidad de alto grado asociada con el control de la información, guardianes o difusores.
- Modelo de coordinación:
 - Propiedades a nivel triádico:
 - Los actores por encima de los agujeros estructurales pueden controlar y facilitar el flujo de información.
 - Pueden obtener información privilegiada y utilizarla para mejorar su posicionamiento. Pueden actuar como facilitadores.

La metodología utilizada por los autores está estructurada en tres etapas. Una primera etapa exploratoria para encontrar los proyectos adecuados al estudio, una segunda etapa de adquisición de información cualitativa mediante envío de cuestionarios, y una tercera etapa para poder obtener los resultados y conclusiones.

Para el análisis gráfico y analítico de las redes de estructura se ha utilizado el software de gestión de redes UCINET en su versión 6 descrito en (Borgatti et al., 2018).

UCINET⁹ es un programa informático que funciona sólo en el entorno Windows, y ofrece un análisis integral de redes sociales. Se creó en 2002, y sus autores fueron Borgatti, S.P., Everett, M.G. y Freeman, L.C. Desde un punto de vista funcional, la entrada de datos se realiza mediante tablas de adyacencia, que pueden representar redes unidireccionales, bidireccionales, no ponderadas o ponderadas en formato propio o bien utilizando herramientas externas, como puede ser Excel. Admite hasta 30.000 nodos y puede representar los datos de salida, bien analíticamente o bien gráficamente. Puede analizar multitud de parámetros asociados a redes sociales, incluyendo centralidad, identificación de subgrupos, análisis de roles en la red, teoría de grafos elementales y análisis estadísticos basado en permutaciones. Tiene asociado un gran número de paquetes de programación, entre los que se encuentran: análisis de matrices, álgebra de matrices, análisis estocástico multivariado. Dispone de un programa propio de representación gráfica de redes, o bien puede enlazar con el programa NetDraw¹⁰. Puede exportar datos a otros programas de análisis de redes como Mage y Pajek.

⁹ <https://sites.google.com/site/ucinetsoftware/home?authuser=0>. Visitada: 11/12/22.

¹⁰ <https://sites.google.com/site/netdrawsoftware/welcome?authuser=0>. Visitada: 14/12/22.

Análisis de la complejidad en un proyecto real.

Se analiza a continuación la complejidad de un proyecto real realizado por el autor. Se trata de la EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) de Marismas del Odiel, ya comentada en el [subcapítulo 2.2](#) de este trabajo de investigación. Dicha depuradora está situada cerca de la población de Punta Umbría (Huelva, España) y en las inmediaciones también del parque natural Marismas del Odiel, está preparada para tratar el agua residual de 145.000 habitantes equivalentes pertenecientes a Punta Umbría, Aljaraque y El Rompido situadas en la provincia de Huelva. Su construcción se realizó entre 2007 y 2012 y la tecnología utilizada fue bastante novedosa en su momento, dado que reducía mediante tratamiento biológico (tecnología A2O, Anaerobio, Anóxico, Óxico) tanto la contaminación por el carbono como los nutrientes (nitrógeno y fósforo) por debajo de los límites requeridos por la administración. El desarrollo de este proyecto tuvo dos dificultades importantes. Por un lado, la tecnología, que como se ha indicado era novedosa y por otro lado la implantación de la EDAR en terrenos aledaños a un parque natural. Esta segunda dificultad incluía adicionalmente el hecho de que el agua depurada entraba en dicho parque natural, por lo que diversas administraciones estaban muy interesadas en este proyecto. Se aplica la metodología Adami y Verschoose a través del análisis estructural de los tres niveles, contractual, suministros y recursos e información entre los interesados o stakeholders. Este ejemplo, se ha basado en la revisión de la documentación sobre el proyecto que dispone el autor y se ha realizado sobre los componentes principales.

- Red contractual:

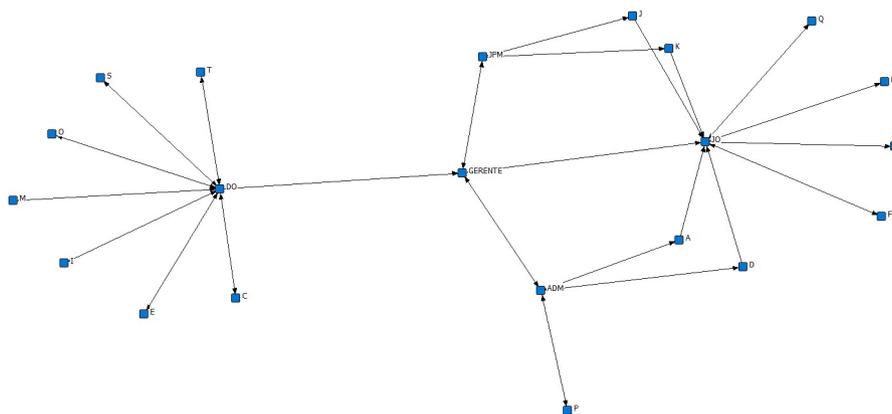


Imagen 5-10. Red contractual EDAR Marismas del Odiel (Fuente: Autor).

En esta red, representada en la *imagen 5-10*, el gerente de la UTE tiene una relación contractual con la administración a través de la figura del DO (director de obra) que contrata a su equipo de trabajo para controlar el desarrollo del proyecto. El director del proyecto (GERENTE), a su vez tiene una relación contractual con el responsable de administración (ADM), con el jefe de obra (JO) y con el jefe equipos mecánicos y puesta en marcha (JPM), y a su vez, cada gestor por debajo del gerente contratará a su equipo de trabajo. No obstante, el JO debe supervisar (no dirigida) a algunos elementos contratados dado que, aunque no

dependan jerárquicamente del jefe de obra, si van a estar colaborando con él durante la obra. La red es no dirigida, salvo los casos de supervisión comentados, dado que el contrato une a los dos actores en el cumplimiento de este. En realidad, la contratación no la realizan los gestores, pero normalmente, las propuestas de contratación o de cesión de personal, se hacen según los criterios de dichos gestores.

- Red suministros y recursos:

En esta red, representada en la *imagen 5-11*, se han presentado los suministros de los principales recursos y bienes comprados durante la realización del proyecto. Esta red se ha realizado, a diferencia de la anterior, como red dirigida, dado que son los proveedores quienes envían el equipo o los servicios necesarios hacia el proyecto. Se ha considerado que el JO es el máximo responsable de las contrataciones, salvo cuatro de las contrataciones, (trabajos de pilotación, soplantes, sistema eléctrico y sistema de control) que participa el GERENTE dado que estas contrataciones eran de vital importancia para la obra, y se debía de incluir a este. Posteriormente se derivarán a los diferentes subordinados responsables. La figura del DO se incluye debido a que los recursos deben de ser aprobados por él o por quien de él dependan para su visto bueno. Se han señalado en rojo a los proveedores y en azul a los miembros del proyecto.

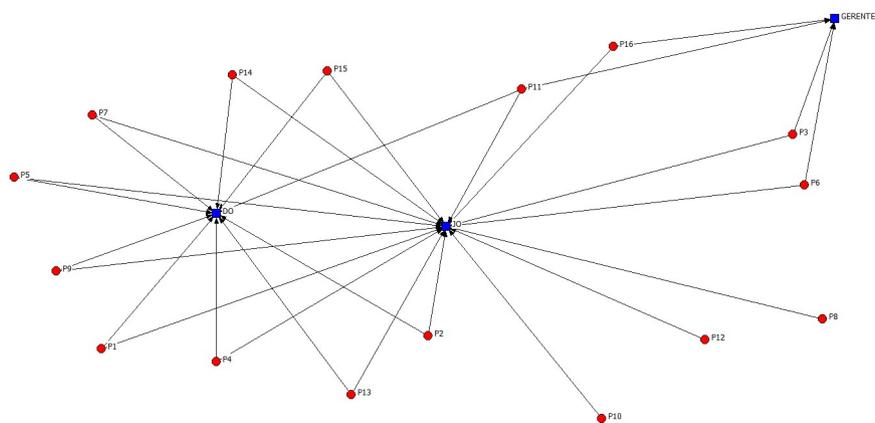


Imagen 5-11. Red suministros EDAR Marismas del Odiel (Fuente: Autor).

- Red de información entre interesados:

La red de información es una red no dirigida, que describe los flujos de información entre todos los interesados en este. Tal como se ve en la *imagen 5-12*, tanto el GERENTE como el JO son los interesados principales en esta red donde ahora el DO ya no ocupa una posición central, aunque sigue siendo importante.

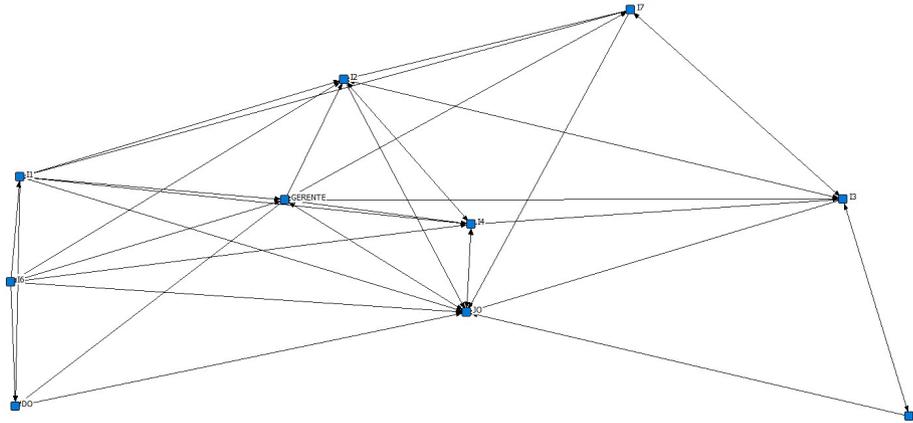


Imagen 5-12. Red información EDAR Marismas del Odiel (Fuente: Autor).

Se han analizado las tres redes por separado, aunque forman parte de una multirred para facilitar la comprensión de las métricas que se van a presentar en la siguiente tabla de resultados. Las métricas a nivel de proyecto corresponden a las propiedades de densidad, centralización y complejidad del modelo de flujo que se vio anteriormente. Además, se ha incluido la centralidad beta para analizar el modelo de coordinación. Se presentan en la imagen 5-13.

Nivel Proyecto	Red contractual	Red suministro	Red de información
Densidad (Promedio)	0,0907	0,875	0,5444
Centralización en grado	0,3853		
Centralización	0,3368	0,2986	0,3741
Densidad del núcleo	0,2971	0,3189	0,5227
Densidad de núcleo a periferia	0,0681	0,1964	0,2151
Densidad de periferia a núcleo	0,1183	0,1294	0,2217
Densidad de periferia	0,0017	0,0026	0,0058
Centralidad Beta	0,3325	0,2197	0,1935

Imagen 5-13. Métricas nivel proyecto EDAR (Fuente: Autor).

Los datos obtenidos indican que la densidad en la red contractual es muy pequeña con respecto a las otras dos redes, aunque la densidad de la red de suministro e información es baja. La estructura de contratación, tipo llave en mano y por subcontratación, facilita, mientras los componentes oficiales sigan siendo operativos, las relaciones diádicas. Los componentes más centralizados como son GERENTE, DO, JO y JPM favorecen este tipo de actuación.

En la red de proveedores, la centralidad esta igualada respecto a las otras dos redes teniendo en cuenta que, en este tipo de obra, el responsable de las contrataciones es el JO, con el visto bueno del DO y firma final del GERENTE, que puede establecer relaciones directas con los proveedores, fuera de los cauces que pueda establecer el JO. Quizás esto sea debido al conocimiento previo que, de estos proveedores, tiene el GERENTE de otras obras anteriores.

En la red de información, la densidad está por debajo de la red de suministro, pero es muy superior a la red contractual, pero no llega a tener una fuerte densidad. Se ha de indicar que se han reflejado sólo las interacciones más importantes.

Tanto en centralidad como en densidades de núcleo a periferia y de periferia a núcleo, la red de información presenta unos datos algo mayores que en las otras dos redes, pero sin llegar a ser importantes ni complejas.

En cuanto al parámetro de centralidad β , en todos los casos es positivo, por lo que refleja que todas las redes tienden a una centralidad que se manifiesta en todos los casos. Al ser pequeño su valor, sólo los nodos adyacentes influyen, y se dan componentes diádicos como así se refleja.

Las redes de suministro y contractuales tuvieron una complejidad (como conjunción entre centralidad y densidad) mínimos. En cuanto a la red de información, si muestra aparentemente una gran densidad de comunicaciones y es bastante descentralizada en órganos superiores de dirección de proyecto. Por tanto, puede indicarse que estructuralmente este proyecto no es complejo.

Se establecen ahora que tipos de métrica se pueden utilizar para saber, de forma aproximada, cuando se puede considerar que un sistema / proyecto es complejo de forma más sencilla.

Métricas para medir la estructura de un sistema complejo.

Hay que indicar la dificultad manifiesta de intentar saber cuándo un sistema es complejo dada su naturaleza de cambio continuo (Sancho Caparrini, 2016), sin embargo, es necesario conocer algunas métricas que puede ser interesante tener en cuenta, de cara a introducirlas en el modelo de decisión de enfoque que se presentará en el [capítulo 7](#) de este trabajo de investigación.

Lo primero que se debe establecer es que tipo de red va a representar a los proyectos complejos que se están estudiando, dado que es importante para saber los elementos que deben definirlo. En el [apartado 4.4.2](#) de este trabajo de investigación se presentaron las redes aleatorias, como aquellas redes que pueden “autogenerarse” cambiando completamente su estructura y sus interrelaciones. Dentro de las redes aleatorias, se vieron diferentes tipos de redes, entre ellas, las redes de pequeño mundo. Estas redes, como se describió, presentan a la vez valores pequeños de longitud característica promedio entre nodos, como las redes de azar, y tienen altos valores de agrupamiento. Estas redes son características de los sistemas sociales, redes de energía eléctrica, redes de colaboración, proyectos técnicos de innovación, funcionamiento de industrias, grupos terroristas, asociaciones de vecinos o redes sociales en general (Fellman et al., 2014; Frenken, 2000).

Otra de las características que se debe tener en cuenta son las relaciones de beneficio mutuo, es decir, las redes se pueden establecer aleatoriamente, como se ha visto, pero siempre va a haber un desequilibrio en su formación, y a este desequilibrio se le denomina “beneficio mutuo” o mutualista, y se dan en redes de pequeño mundo con relaciones de dependencia bien

establecidas, formando redes bipartitas. Es decir, si un determinado proyecto técnico de innovación entra en una red donde otros proyectos técnicos pueden establecer beneficios mutuos, su nivel de supervivencia es superior a otros que no puedan establecer esta relación. Ocurre también en la naturaleza con las interacciones entre plantas y animales que las polinizan (Bascompte & Jordano, 2007).

En el diseño estructural de las redes que representan a los sistemas / proyectos complejos, se pueden establecer algunas métricas interesantes. Por ejemplo, establecer que, dentro de las posibles redes que se puedan formar, la información es el principal elemento de complejidad dentro de un proyecto. En el ejemplo de la EDAR Marismas del Odiel, se pudo observar que la red de información era la más compleja de la triada (Suministros, Contrataciones, Información).

Así en (Suh & Suh, 2001) se establecen dos medidas de complejidad, real e imaginaria, que son ortogonales, la correlación de Pearson entre ellas es mínima, y pueden calcularse de manera intuitiva. La complejidad real está relacionada con el cumplimiento de los requisitos del sistema mediante el sumatorio de los logaritmos de la probabilidad de surgimiento de problemas en el sistema, sin signo. La complejidad imaginaria da la información relacionada con las probabilidades de que se resuelvan de manera satisfactoria los problemas surgidos en el sistema. Si se es capaz de resolver los problemas, el sistema no abandona su equilibrio. Pero si no se resuelven, el sistema se desequilibra. Por tanto, una extensión de la medida de complejidad imaginaria es obtener el grado de ese desequilibrio a través del cálculo de su entropía Boltzmann en función de tres parámetros de densidad de redes: variabilidad; vulnerabilidad, y correlación.

Estas métricas, a pesar de ser intuitivas, implican cálculos bastante específicos y se necesita conocer de manera explícita el sistema y su representación en una red.

Summers y Shah, (Summers & Shah, 2010), establecen una serie de herramientas basadas en tres dimensiones dispuestas en multirred: tamaño, acoplamiento y “solubilidad” (entendida como objetivos conseguidos mediante todos los requerimientos dados).

Para la dimensión tamaño se analizan tres parámetros: tamaño de los objetivos, tamaño de los problemas y tamaño de los procesos que hay que establecer entre objetivos y problemas. Para la dimensión acoplamiento define un algoritmo para encontrar el nivel de interrelación que existe en la red compleja. Para la dimensión de solubilidad se estudia el grado de semejanza entre las distintas variables que forman parte del problema, el proceso y el objetivo. Cuanta más semejanza haya, mayor capacidad tiene el sistema de conseguir el objetivo a partir de un problema determinado.

Estas métricas son un buen camino dado que son capaces de analizar la estructura del sistema desde un punto de vista holístico. Sin embargo, es necesario conocer bien las redes planteadas. Existen muchas más métricas que intentan establecer el grado de complejidad de un sistema, usando numerosas técnicas y metodologías, un conjunto de ellas se puede ver en (Polančič & Cegnar, 2017). Sin embargo, su utilización en fases tempranas de análisis, las hacen complejas.

Se hace necesario encontrar una métrica de realización rápida y que no requiera de un análisis profundo de la red o multirred creada.

Una métrica que, si es fácilmente utilizable, la plantean Lassen y Aalst en (Lassen & van der Aalst, 2009). En dicho estudio intuyen que la complejidad estructural está formada por tres parámetros semejantes a los que planteaban Summers y Shah, que ahora denominan: tamaño, conexiones y solvencia, basándose en la complejidad ciclomática de McCabe (McCabe, 1976) pero considerando solamente el número de componentes fuertemente conectados, denominando a esta complejidad ciclomática ampliada:

$$ECyM(PN) = |E| - |N| + p \quad (5.1)$$

Donde PN (P,T,F) es una red de Petri (Petri, 2005) con tres parámetros fundamentales: P es el número de nodos; T es el número de estados o transiciones, y F es el número de interrelaciones de la red. E es el número de enlaces, N es el número de nodos y p es el número de componentes fuertemente conectados (SSC). Se propone el siguiente ejemplo, ver *imagen 5-14*, sacado de (Lassen & van der Aalst, Op. Cit.) donde se puede establecer la complejidad ciclomática de una red de suministro.

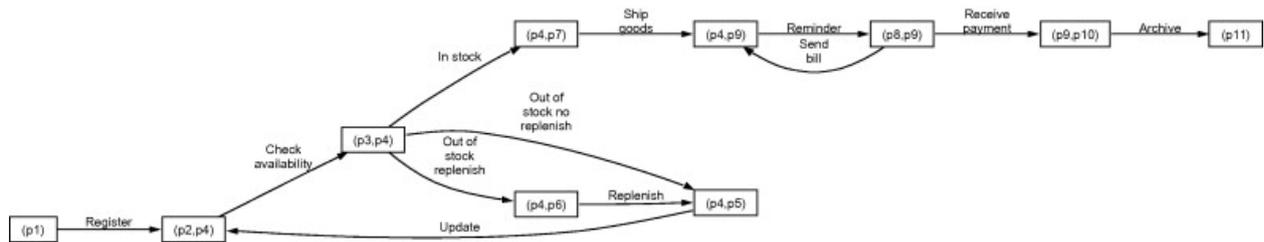


Imagen 5-14. Red de Petri de un proceso de suministro (Fuente: Lassen & Van der Aalst)

Aplicando la fórmula de complejidad ciclomática se obtiene obtener su valor:

$$ECyM(PN) = 12 - 10 + 6 = 8 \quad (5.2)$$

Según McCabe este valor se considera que responde a un sistema simple.

Si se aplicara esta fórmula a un sistema con más enlaces, por ejemplo, 30 enlaces, en una red del mismo número de nodos y del mismo número de componentes conectados, la complejidad ciclomática definida en la ecuación (5.10) sería de:

$$ECyM(PN) = 30 - 10 + 6 = 26 \quad (5.3)$$

Según McCabe este valor se considera que responde a un sistema complejo.

Aunque la complejidad ciclomática mide bien la complejidad en sistemas de pequeño mundo, lo hace teniendo en cuenta las transiciones de estado, básicas en una red para saber el movimiento en la misma. Podría ocurrir que se pudiera tener una red con una ECyM pequeña por tener un

gran número de restricciones de partida (eliminación de enlaces de beneficio mutuo por no darse las condiciones adecuadas), siendo extremadamente compleja si alguna de las restricciones se elimina. Además, la medición de la complejidad estructural adolece de un grave problema, no mide el cambio en las interacciones provocadas por la coevolución. Por tanto, esta métrica debe ser complementada.

Métricas para medir la dinámica en sistemas complejos.

Cuando en una red compleja, tanto las variables de estado como las interrelaciones tienen un comportamiento dinámico, resulta necesario considerar la evolución de ambos elementos en función del tiempo.

Así Iñiguez y Barrio establecen una métrica sencilla para medir la coevolución de una manera previa al estudio de su evolución, que haría difícil poderlo estudiar a priori (Iñiguez & Barrio, 2009).

Establecen para su estudio dos parámetros temporales, la microdinámica y la macrodinámica. La microdinámica del sistema se refiere a que la evolución del estado de las interrelaciones en la red sólo depende de un conjunto concreto de variables de estado que se establecen a nivel de intercambio nodal, estableciendo que dichos cambios se desarrollan de una manera rápida y las denominan “dt”. La macrodinámica se refiere al cambio cuando se produce en toda la red a través de la evolución de todos los vectores de estado. Esto requiere de un tiempo muy superior al de la microdinámica, y lo denotan como “dT”. Definen un parámetro de coevolución g como el cociente entre ambos tiempos:

$$g = \frac{dT}{dt} \tag{5.4}$$

Se establecen, según el valor de g tres regiones de comportamiento de la coevolución dependiendo del resultado de la operación indicada en (5.4). Si $g \rightarrow 0$, es un caso límite donde no existe coevolución y la complejidad del sistema vendrá dada por su complejidad estructural. Si $g \rightarrow \infty$, no existe una red topológicamente hablando, y sólo existe una función evolutiva permanente. Entre ambos valores, coexisten las dos complejidades, la estructural y la dinámica. Y es aquí donde la interacción entre estructura y coevolución producen, en tiempos finitos, similares propiedades evolutivas emergentes, dado que la red tiende a ser completamente heterogénea con comunidades.

Pero se necesita poder calcular el parámetro de coevolución con variables que no dependan de un análisis profundo de la red. Iñiguez y Barrio proponen obtener el parámetro g mediante la siguiente relación:

$$g = \frac{\langle k \rangle}{[N\langle C \rangle]} \tag{5.5}$$

Donde $\langle k \rangle$ representa el grado promedio de la red, que en el caso de redes de pequeño mundo se puede considerar como el grado de mayor orden de la red (Sancho Caparrini, Op. Cit.), N es el número de nodos y $\langle C \rangle$ representa el agrupamiento promedio, donde para una red en forma de anillo, valor mínimo de agrupación, esta tiene un valor de 0,75.

Según indican Iñiguez y Barrio, conforme N crece, g se acerca a una asíntota horizontal en 0,1, tal como puede observarse en la imagen 5-15:

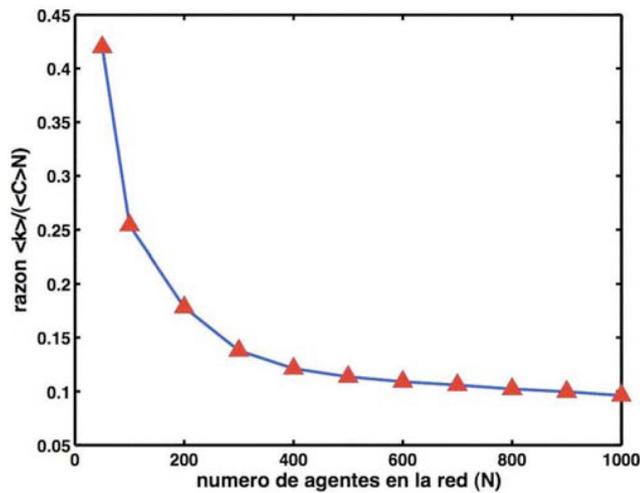


Imagen 5-15. Variación del parámetro de coevolución g con N . (Fuente: Iñiguez y Barrio)

Se deduce de esta curva que, en redes con pocos nodos, la coevolución es un elemento a tener en cuenta de manera preferencial, a medida que el número de nodos de la red aumenta, la coevolución es muy difícil que pueda darse, salvo en comunidades pequeñas con dt bastante pequeño.

Corolario.

Se tienen, por tanto, dos métricas, fáciles de usar, con las debidas reservas establecidas por sus autores, que permiten establecer el nivel de complejidad de un sistema / proyecto:

- Estructuralmente mediante el uso de la complejidad ciclomática ampliada.
- Dinámicamente mediante el uso del parámetro de coevolución g .

En el [subcapítulo 7.2](#) se analizará si la complejidad se estudia si la complejidad se estudia sobre las tres redes (suplidos, contratos, información entre interesados) o sobre alguna de ellas exclusivamente.

6. GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS COMPLEJOS.

Se analiza en este capítulo la gestión de riesgos en proyectos complejos, que manejan gran cantidad de incertidumbre. No sólo se basa en realizar los diferentes procesos de gestión de riesgos de las principales metodologías, sino que se trata de identificar, valorar, integrar y escalar hasta conseguir obtener un riesgo general corporativo en ambiente complejo.

6.1. Acercamiento a riesgos en proyectos complejos.

Si se considera cuál es la gran diferencia entre un proyecto convencional y un proyecto complejo es que el riesgo asociado a la complejidad aumenta significativamente (Kerzner & Belack, 2010).

Existen diferentes modelos de gestión de proyectos complejos que integran el riesgo asociado a varios atributos del proyecto, analizados desde un punto específico o desde un punto de vista general. Así, Hass asocia el riesgo con aspectos específicos del proyecto (Hass, 2009):

- Coste /Duración.
- Composición y rendimiento del equipo.
- Urgencia / Viabilidad.
- Claridad en los entregables del proyecto.
- Volatilidad en los requisitos.
- Sensibilidad con los stakeholders.
- Estructura y adaptabilidad organizacional.

Otros autores asocian el riesgo con elementos generales, ya sean internos o externos del proyecto. Por ejemplo, Remington / Pollack lo asocian con (Remington & Pollack, 2016):

- Aspectos técnicos en el desarrollo de soluciones.
- Aspectos direccionales de la organización.
- Aspectos estructurales del equipo del proyecto.
- Aspectos de planificación temporal.

Cualquiera que sea el ámbito de asociación, es claro que hay diferencias de gestión en cuanto al manejo de estos. Así, en los proyectos convencionales, la gestión de riesgos es un proceso que se limita a identificar, analizar y administrar riesgos, que en la mayoría de los casos, pueden considerarse previsibles, y en aquellos casos en los que estos se conviertan en imprevistos, se abordan mediante reservas de contingencia, perfectamente estudiadas (Culp, 2002).

Habitualmente el estudio de los riesgos, realizado por el director del proyecto, sobre todo en proyectos que están más cerca de los proyectos predictivos, requiere de sesudos estudios, donde es muy probable que la presentación de importantes bolsas de incertidumbre en la aseveración de los riesgos implique una terminación abrupta del proyecto. Por tanto, es necesario en estos casos contar con un responsable del proyecto que tenga bastante experiencia, dado que cuanto más experimentado sea, mayor conocimiento en el tratamiento de riesgos tendrá. Sobre todo, en el manejo de las estructuras de desglose tanto de tareas (EDT) como de desglose de riesgos (EDR) (Culp, Op. Cit).

Sin embargo, cuando se tienen proyectos de carácter complejo, los riesgos a los que se enfrenta un director de proyecto, son amplios, diversos y, casi siempre, desconocidos. Así, muchos de esos riesgos pueden derivar de aspectos en los que la mayoría de los directores de proyectos, y también de muchos miembros de sus equipos de trabajo, tienen poca o nula experiencia. Aspectos técnicos que puedan estar en desarrollo, o que involucren diferentes tecnologías, algunas de ellas novedosas, múltiples culturas, gran cantidad de interesados, intereses políticos, etc.... que pueden quedar fuera del ámbito de un director de proyecto (Barafort et al., 2018).

Existe, adicionalmente, otro condicionante en cuanto a la gestión de riesgos en proyectos convencionales, y es que, de forma general, la interdependencia entre los riesgos que pueden darse en un proyecto suele ser pequeña, a lo sumo pudieran estar conectados un par de riesgos o tres, de tal manera que esta dependencia puede ser seguida fácilmente mediante un proceso de trazabilidad no muy profundo (Hopkin, 2018).

Sin embargo, esto no es lo normal en los proyectos complejos, dado que muchos riesgos pueden aparecer durante el ciclo de vida del proyecto debido al carácter emergente y de autoorganización de los proyectos complejos, de tal forma que si la dirección del proyecto no detecta estos riesgos se puede dar el caso que, a medida que pasa el tiempo sin ser detectados, puedan interrelacionarse y aumentar su dependencia, evitando una terminación exitosa del proyecto (Rahman, 2018).

Habitualmente, en un riesgo convencional, la valoración del riesgo se basa en relacionar la probabilidad de que ocurra el riesgo con la severidad de su daño o de su beneficio. Sin embargo, en un riesgo complejo, esto no siempre es suficiente, dado que este análisis no tiene en cuenta la interdependencia, y además, el análisis puede quedar fuera del campo de actuación del director del proyecto, expandiéndose tanto interna como externamente al proyecto, siendo incluso posible que dichos riesgos se conviertan en un riesgo general del proyecto o un riesgo para la organización (Hillson, 2017).

Por tanto, es necesario plantear algunas estrategias para poder abordar los riesgos en proyectos complejos. Una de las estrategias planteadas por diversos autores Hass (Op. Cit.), Remington / Pollack (Op. Cit), Kerzner /Belack (Op. Cit) y metodologías como PM2 plantean la colocación de puertas virtuales entre fases, de tal manera que se pueda evaluar el proyecto por parte del equipo

de proyecto y todos los interesados detectados, y que dichas evaluaciones supongan un veredicto favorable para continuar con la siguiente fase del proyecto.

Otra de las estrategias que plantean algunos autores como Remington / Pollack (Op. Cit), Kerzner /Belack (Op. Cit), (Rolstadås et al., 2019) o (T. Williams, 2017) es un uso de un enfoque adecuado al ciclo de vida en el que se encuentra el proyecto y que este pueda ser cambiado de forma tal que pueda haber una adaptación clara durante su ejecución.

6.2. Identificación de riesgos en proyectos complejos.

La identificación de riesgos es un proceso totalmente estructurado dentro de las diferentes metodologías que se han revisado anteriormente. Es un elemento clave, conjuntamente con su evaluación, y requiere de mucho esfuerzo, no sólo para establecer los riesgos, sino sobre todo para conocer sus interrelaciones, de tal forma que se pueda averiguar si pueden existir efectos indeseados o contradicciones a la hora de gestionar un riesgo (Marle et al., 2013).

Para poder identificar riesgos en proyectos complejos existen diferentes técnicas: existen enfoques de tipo “Up/Bottom” cuya esencia se basa en el conocimiento previo que puedan tener los responsables de proyecto o miembros del equipo de gestión, o bien, como se indicó anteriormente, conseguir establecer un coste de contingencia adecuado que permita dar una respuesta al riesgo o riesgos interrelacionados. Existen otros enfoques de tipo “Bottom/Up” que requieren realizar un esfuerzo de identificación de riesgos a bajo nivel, mediante herramientas cualitativas (BrainStorming, Delphi, estructuras de desglose de trabajos, diagramas causales o cognitivos, etc.) que permiten capturar todos los riesgos que pueden darse en los procesos (Béatrix, 2018).

Este último enfoque es el que más se está utilizando en las metodologías no predictivas, donde el empoderamiento del equipo es una de las piezas angulares de su gestión. Pero este empoderamiento implica que puede haber una competencia con la gestión de riesgos, sobre todo en las posibles interrelaciones que puedan darse, y es poco probable que equipos de diferentes fases de un proyecto complejo puedan adoptar un entorno integrado de gestión (T. M. Williams, 1997).

Tal como indican Remington y Pollack (Op.cit.), todas estas técnicas, adolecen, en los proyectos complejos, al menos de dos elementos clave:

- ¿cómo identificar todos los riesgos, inclusive, aquellos que pueden aparecer de forma repentina debido a acciones de coevolución, emergencia o autoorganización de un proyecto complejo?
- ¿Cómo lograr encontrar interrelaciones entre los riesgos que se pueden presentar en un proyecto complejo?, ¿hay riesgos interactivos?, ¿existen riesgos en cascada?

6.2.1. Identificación dinámica de riesgos.

Los riesgos constituyen un aspecto importante para tener en cuenta en la gestión de proyectos, derivan del ambiente VUCA en el que este se desarrolla. Todos los proyectos tienen riesgos y en la actualidad numerosos estudios dan las pautas necesarias para el control de los principales riesgos conocidos, pero no se tienen buenas herramientas para tratar con aquellos que son desconocidos, ocultos o ambiguos (Gumz, 2012).

En todas las metodologías de gestión de proyectos convencionales consultados, la revisión de los requisitos en la fase de planificación, la experiencia del equipo de gestión de proyectos y las lecciones aprendidas han aportado la base para la identificación de los riesgos en los proyectos convencionales o predictivos.

Sin embargo, en proyectos complejos, suelen utilizarse metodologías no bien estudiadas, y particularizadas según el sector al que esté adscrito el proyecto. Sirva como ejemplo la utilización de una matriz VUCA (volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad) donde se reflejan en cada cuadrante los riesgos adscritos a cada uno para su clasificación (Szpitter & Sadkowska, 2016).

En proyectos complejos, los principales tipos de riesgos, en los que no existen conocimientos suficientes y que pueden presentar dificultades para una identificación clara, son los riesgos emergentes. Tal como se comentó en el [subcapítulo 3.2](#) de este trabajo de investigación, los riesgos pueden dividirse en cuatro categorías, siendo dos de ellas las que mayores problemas pueden dar en proyectos complejos (Paltrinieri et al., 2012):

- Desconocidos – Conocidos. No somos conscientes de su existencia para poder conocer y prever al considerar las alertas tempranas disponibles.
- Desconocidos – Desconocidos. No hay información de los riesgos ni de sus consecuencias.

Hay metodologías que combinan matrices VUCA con retroalimentación final para observar el grado de identificación de los riesgos que se obtuvieron. Esta retroalimentación se realizó mediante cuestionarios estructurados que se entregaban a los responsables de distintos proyectos complejos. Del resultado de dichos cuestionarios se realizaban, para cada riesgo, curvas donde se establecía el tipo de riesgo según VUCA (Fridgeirsson et al., 2021).

Otras se basan en clasificaciones de riesgos dependiendo de la experiencia del director de proyecto que esté al cargo de su gestión y dependiendo de los datos que se desprenden de proyectos anteriores, y clasifican los mismos en riesgos convencionales o riesgos complejos en la fase de planificación. Este tipo de metodologías incluyen también aspectos interesantes de integración de riesgos a nivel de proyecto, programa, portfolio y corporativo (Garrett, 2005).

Otro grupo, que suele utilizarse, se basa en considerar que los riesgos tienen una determinada variabilidad que pueden modelarse mediante distribuciones de probabilidad objetivas en las

zonas donde se conoce su variabilidad. En aquellas zonas donde no se conoce se utilizarían entornos de probabilidad. Aquí se diferencian de los modelos convencionales donde la probabilidad se considera uniforme (Dubois, 2010).

Existen otras metodologías que utilizan conceptos cuantitativos similares al EVM de los proyectos tradicionales, pero aplicados a tres conceptos: riesgo, valor y oportunidad. Se van cuantificando, y se presentan en la fase de planificación para su aceptación, dependiendo de las incertidumbres y complejidades encontradas. Posteriormente se hace un seguimiento y al final del proyecto, se realiza una valoración de su idoneidad en el control del riesgo (Browning, 2019).

Similar a lo anterior, existen revisiones técnicas que consideran al riesgo como un valor modificable, tanto como la complejidad que tiene el proyecto, hasta la terminación de este y que dicho valor tiene dos dimensiones: la primera es como medir el valor cuantitativo aplicando una escala que asegure la comprensión de los resultados, y la segunda es el valor que se crea, teniendo en cuenta también, de qué forma se crea (Willumsen et al., 2019).

Por último, algunas metodologías no estudian directamente los riesgos en proyectos complejos, sino que analizan como de complejo es el proyecto y, a partir de ese momento, establecen si se debe de realizar un seguimiento más exhaustivo de los riesgos que existen en dicho proyecto. Llegando incluso a contratar a especialistas en gestión de riesgos que puedan incidir en aquellos riesgos que se decidan en los comités de gestión de riesgos (G. F. Mitchell, 2005).

Sin embargo, del repaso realizado a las distintas metodologías, se denota una incapacidad de poder analizar o establecer un método para encontrar los riesgos emergentes (conocidos – desconocidos o desconocidos – desconocidos).

Para poder detectar riesgos “conocidos – desconocidos”, parece básico un proceso integral de identificación de riesgos, en base a los conocimientos previos que se tengan y de las alertas tempranas de las que se disponga durante la fase de seguimiento del proyecto (Paté-Cornell, 2012). Sin embargo, de la bibliografía consultada al respecto de establecer un análisis dinámico de riesgos de este tipo no parece que se puedan obtener estos, dado que, o bien no se analizan integralmente, o bien no se realizan seguimiento a alertas tempranas (Čepin & Mavko, 2002; Meel & Seider, 2006).

Para poder detectar riesgos “Desconocidos – Desconocidos” parece, también, básico una cultura de gestión de riesgos en proyectos bien asentada. Tener una visión de gestión de riesgos, desde un punto de vista organizacional, abona esta tesis. Sobre todo, en la revisión de posibles alertas tempranas, con indicadores apropiados para ello (Kaplan & Garrick, 1981; PMI, 2009). Sin embargo, tampoco se puede garantizar al máximo el reconocimiento de posibles riesgos y sus interrelaciones, dado que las mismas se estudian por medio de datos históricos, árboles causales y modelados físicos establecidos en lecciones aprendidas, y no se tiene en cuenta que algunos sistemas sometidos a estrés pueden evolucionar hacia la posibilidad de registrar riesgos en sus

procesos. Esta circunstancia no suele tenerse en cuenta en las planificaciones (Aven, 2015; Derbyshire & Wright, 2014).

En procesos industriales con accidentes de alto impacto (industria química, petroquímica, etc.) existen métodos estandarizados de identificación de riesgos, denominados HAZID (HAZard IDentification) basados en diferentes procesos como pueden ser (checklists, relative ranking, What-if, FMEA, FTA, análisis causa – consecuencia, etc..) y que se utilizan para poder encontrar el máximo número de riesgos (Paltrinieri & Wardman, 2010).

Sin embargo, este tipo de procesos en los que se basa HAZID adolecen de dos problemas: el primero es que son cualitativos y dependen de aspectos subjetivos humanos, y el segundo es que no poseen retroactividad en sus análisis, por lo que no es posible encontrar alertas tempranas que puedan facilitar riesgos emergentes (Jovanović & Renn, 2013; Lönnermark & Ingason, 2009).

Para establecer la posibilidad de poder identificar dinámicamente riesgos (Paltrinieri et al., 2013), se usó una herramienta de sistematización de nuevos riesgos a raíz de alertas tempranas en procesos industriales que puede utilizarse con los debidos cambios, a la gestión de riesgos en proyectos complejos. La metodología se denomina DyPASI (Procedimiento dinámico para identificación de escenarios atípicos).

Este método tiene como objetivo la sistematización de información a partir de alertas tempranas de riesgos pasados, estudios de riesgos, y posibles riesgos que se puedan dar para poder obtener riesgos emergentes. Este método combina diferentes herramientas realizadas de forma secuencial (Paltrinieri et al., 2015):

0. **Análisis “Bow-Tie”** o de pajarita que establece para cada riesgo considerado superior, un diagrama en forma de pajarita, donde a su izquierda, se establece un árbol de varios niveles de riesgos primarios e intermedios, que dan como resultado dicho riesgo superior, y a su derecha un árbol de eventos consecuencia, siendo la causa de este árbol el riesgo superior (Delvosalle et al., 2006; Markowski & Kotynia, 2011).
1. **Recuperación de riesgos.** Se analiza para cada riesgo considerado superior, posibles informaciones relevantes no detectados en el análisis anterior. Dicha información se debe realizar mediante sistemas de búsqueda inteligentes como HECHOS, MHIDAS, MARS, ARIA, DEVONAGENT, etc.... clasificando la información más relevante reformulando la búsqueda para afinar la misma. Existe bibliografía adecuada para poder poner en marcha este tipo de búsquedas.
2. **Priorización.** Una vez recopilada la información, se determinará si esta es significativa para poder ser encuadrada en el árbol de riesgos y las posibles consecuencias en el árbol de eventos.

3. **Identificación de escenarios de riesgo.** Se separan los escenarios potenciales de las alertas tempranas recopiladas, y se desarrollan cadenas causa-consecuencia. Esto puede dar lugar a nuevos esquemas “Bow-Tie”. Existen varias metodologías para realizar esta identificación (Canvas, Ishikawa).
4. **Identificación de barreras de seguridad.** Estas barreras serán necesarias a la hora de evaluar el impacto, pero previamente se incorporan a los árboles de evento del diagrama Bow-Tie. Las barreras se pueden dividir en cuatro tipos (para evitar, para prevenir, para controlar y para limitar) (Sklet, 2006).
5. **Seguimiento de la identificación de riesgos.** Seguimiento de los riesgos y reiteración del procedimiento de DyPASI en los siguientes escenarios.
 - En un cambio de ciclo de proyecto.
 - Cambios en la percepción social de un proyecto.
 - Cambios en los aspectos técnicos del proyecto.
 - Intervalos prefijados previamente, o bien por adaptación al tempo¹¹ del proyecto.

Con este procedimiento se logrará la actualización permanente en la identificación de los riesgos, durante todo el ciclo de vida del proyecto. Aun siendo una herramienta cualitativa, se establece un enfoque sistémico, que facilita la revisión continua.

6.2.2. Riesgos compuestos y en cascada. Interrelaciones.

Los riesgos compuestos son conjuntos de riesgos, no analizados previamente, y que pueden ser causa de múltiples efectos en un proyecto. Estos pueden darse de manera simultánea o secuencial, pueden amplificarse por situaciones sobrevenidas dentro del proyecto y que nada pudieran tener que ver inicialmente con el proyecto. Por último, pudiera darse las circunstancias de que su impacto no sea el promedio detectado, sino que se manifieste con una probabilidad extrema (Abdellaoui et al., 2015).

Puede ocurrir que, en casos determinados, se puedan producir mecanismos y combinaciones no esperadas debido a diferentes factores o coincidencias. Es lo que se denomina interactuación de riesgos, que puede analizarse mediante técnicas estadísticas multivariadas entre relaciones causales mediante ecuaciones estructurales PLS-SEM (Hair Jr et al., 2017).

Si la identificación de los riesgos es importante en proyectos complejos, las interrelaciones entre riesgos no lo son menos, dado que podría ocurrir que, aunque se tengan identificados los riesgos,

¹¹ El concepto de Tempo está relacionado con un tiempo relativo, del momento oportuno, del instante clave en el que ocurre algo especial. Se trata de calidad de tiempo. Barceló, M., & Guillot, S. (2013).

sus causas y sus consecuencias, puedan darse relaciones cruzadas no detectadas previamente que podrían producir problemas en la gestión del proyecto (Stapelberg, 2008).

Para encontrar relaciones cruzadas existen herramientas que combinan aspectos cualitativos y cuantitativos como por ejemplo la descrita en (Utne et al., 2011), donde se describen los pasos a realizar:

- Descripción del evento iniciador.
- Identificación de interdependencias y análisis cualitativo de estas.
- Realización de evaluación semicuantitativa del riesgo del escenario.
- Realización de evaluación cuantitativa de las interdependencias.
- Dotación de medidas para reducir interdependencias.

El riesgo en cascada tiene una apreciación más amplia y difusa, anteriormente se le llamaba “cadena descontrolada de riesgos” en sistemas en red, o también accidentes sistémicos, dado que se consideraba un único riesgo que era capaz de hacer caer un sistema (Pescaroli & Alexander, 2018).

A partir del año 2000 se estudiaron mejor y se consideró que tenían entidad propia (Little, 2002) y se determinó que no era un conjunto de otro tipo de riesgos, pues su estudio estaba siendo limitado dado que las consecuencias que producían (caídas de redes eléctricas o de comunicación) solían ser rápidamente subsanadas (Millen & Schwartz, 1988; D. E. Newman et al., 2005). Algunas metodologías buscaban la simulación de estos tipos de riesgos y su replicabilidad. Adicionalmente, se emplearon numerosos medios para intentar amortiguar los sistemas y hacerlos más resilientes (Greenberg et al., 2011). Otra forma de solucionar este tipo de riesgos consiste en una estrategia de descentralización, sin embargo, las acciones de mitigación coherentes eran limitadas (Helbing, 2015).

El SFDRR (Sendai Framework Disaster Risk Reduction) puede considerarse el primer paso para tener un marco holístico que contemple todos los tipos de riesgos que pueden darse en un proyecto complejo, y suele aplicarse en la gestión de desastres. Fue generado por la ONU a partir de 2015, y provee de un enfoque integral e híbrido para riesgos que puedan amortiguar los efectos en crisis climáticas, alimentarias, sociales o políticas. Sus prioridades de acción son las siguientes (UNISDR, 2015):

- **Prioridad 1:** Comprender el riesgo de desastres.
- **Prioridad 2:** Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo.
- **Prioridad 3:** Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia.

- **Prioridad 4:** Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y poder reconstruir en los ámbitos de la recuperación, rehabilitación y la reconstrucción.

A partir de este documento, otras instituciones gubernamentales, como por ejemplo la Unión Europea, generó una serie de documentación marco denominada genéricamente FP7 compuesta por FORTRESS, CASCEFF, SNOWBALL, CIPRNet y STREST para investigar y aunar resultados, de cara al control de riesgos en sistemas complejos, incluidas crisis alimentarias, sociales y políticas. Sin embargo, todavía no se han obtenido resultados claros, debido a la falta de conocimiento entre dependencias encargadas de la planificación y las de ejecución a la hora de mitigar los riesgos de las crisis que pudieran darse (Luijff & Klaver, 2013).

6.3. Evaluación dinámica de riesgos.

El análisis probabilístico ha proporcionado, en la gestión de riesgos, la base para la evaluación de estos en proyectos convencionales o complicados, que eran hasta fechas recientes los enfoques que se utilizaban. Sin embargo, los nuevos enfoques para gestionar proyectos complejos requieren evaluar riesgos de los cuales se tiene información mucho más limitada debido a la gran incertidumbre que se maneja en este tipo de proyecto (Zio, 2018).

Además, los métodos convencionales de evaluación de riesgos tienen una gran desventaja, y es que son métodos estáticos, utilizando datos promedio obtenidos, bien por experiencia o por datos históricos y estos, a su vez, no son realimentados en el seguimiento y control durante el ciclo de vida del proyecto, por lo que puede autogenerarse mayor incertidumbre (Shalev & Tiran, 2007).

Es necesario que la evaluación de riesgos sea, no solamente dinámica, sino que se retroalimenten las estimaciones que se obtienen de existencia de riesgos, de tal forma que se actualicen, y se obtenga una visión en tiempo real de la capacidad de uno o varios riesgos para realizar un determinado daño al proyecto. Si en los enfoques de evaluación de riesgos en proyectos convencionales sólo se ve la probabilidad directa de su aparición, será necesario realizar un estudio probabilístico mucho más adecuado para este tipo de riesgo, mucho más cuando en muchas ocasiones están interrelacionados (Kalantarnia et al., 2009; Rathnayaka et al., 2011).

6.3.1. Análisis por árbol de fallos. Limitaciones.

Un árbol de fallos es una representación gráfica en forma de árbol (grafo simple no dirigido y no cíclico) donde se organizan las condiciones que causan el desenlace de un fallo no deseado, denominado “suceso superior” que suele considerarse desde un punto de vista general como el “fallo sistémico”.

La UNE-EN 61025 describe la herramienta y la forma de generarse (UNE-EN 61025:2007. Análisis de Árbol de Fallos., 2011).

El desarrollo del análisis del árbol de fallos (AAF o FTA) se realiza mediante una técnica Up-Down comenzando con el “suceso o fallo superior” o “fallo sistémico”, y se va descendiendo mediante la colocación de puertas lógicas hacia los denominados “fallos intermedios”. Estos fallos intermedios son, a su vez, dependientes de otros “fallos principales” o “fallos primarios” que son provenientes de sucesos independientes, cuyas particularidades propias son establecidas por el analista del sistema. Existen dos opciones de representación de fallos principales: fallos de estructura serie o fallos de redundancia en paralelo.

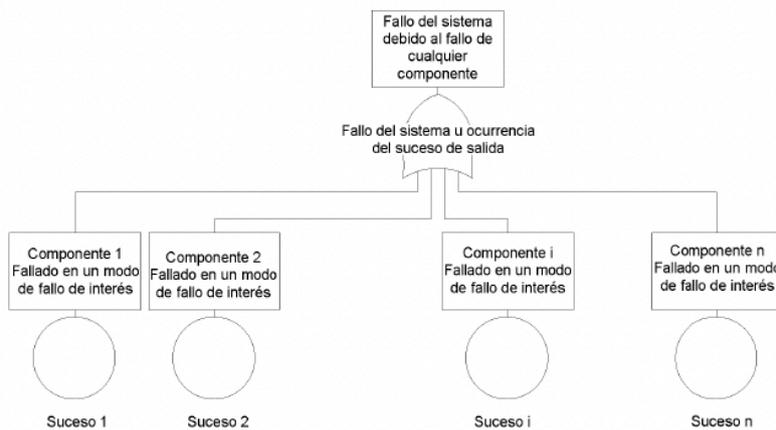


Imagen 6-1. Representación del árbol de fallo de una estructura serie (Fuente: AENOR).

El fallo de estructura serie como el mostrado en la imagen 6-1 se basa en una aritmética mediante puerta OR. Si cada suceso tiene un nivel de fallo F_i , el fallo sistémico o fallo superior será igual a:

$$F_s = F_{suc1} + F_{suc2} + F_{suc3} + F_{suc4} \quad (6.1)$$

Es decir, cualquier suceso i dispara el fallo del sistema.

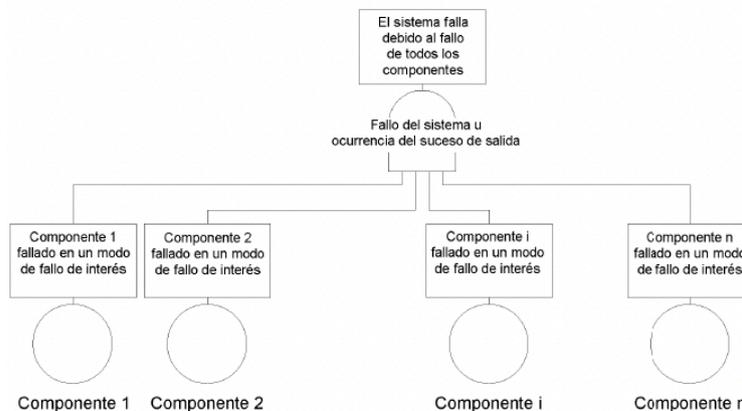


Imagen 6-2. Representación del árbol de fallo en paralelo (Fuente: AENOR).

El fallo de estructura paralelo como el mostrado en la *imagen 6-2* se basa en una aritmética mediante puerta AND. Si cada suceso tiene un nivel de fallo F_i , el fallo sistémico o fallo superior será igual a:

$$F_s = F_{suc1} \times F_{suc2} \times F_{suc3} \times F_{suc4} \quad (6.2)$$

Es decir, se deben de producir todos los fallos para que se dispare el fallo sistémico.

El análisis del árbol de fallos avanza sobre el flujo de sucesos, e identifica las causas hacia los sucesos independientes que están en las ramas del árbol. Este análisis puede ser lógico (cualitativo) para seguir los pasos necesarios para establecer la metodología adecuada, o bien también cuantitativo mediante el estudio de la probabilidad estática de cada uno de ellos, según la aritmética establecida por las puertas lógicas.

Los objetivos principales de los análisis cualitativos o cuantitativos en un AAF se resumen en los siguientes puntos:

- Identificación de los fallos que pueden darse en el sistema y que pueden dar lugar a un fallo sistémico, colocación de la lógica combinatoria y, en caso de un análisis numérico establecer la probabilidad que se puede dar en cada suceso.
- Establecer la mitigación de los fallos aumentando la seguridad en aquellos sucesos que tengan una mayor probabilidad de ocurrencia, o bien los que por la lógica combinatoria introducida pueda darse.
- Evaluación de la tolerancia a fallos del sistema y búsqueda de información para localizar componentes críticos y mecanismos de fallos.

Esta evaluación de riesgos mediante AAF adolece de la posibilidad de poder realizarse dinámicamente, dado que su análisis es completamente estático. Este método no es adecuado para problemas complejos debido a la limitación para representar explícitamente las dependencias de los eventos y actualizar dinámicamente las probabilidades de ocurrencia (Wu et al., 2015).

Se hace por tanto necesario establecer un método que pueda paliar esta limitación.

6.3.2. Análisis de riesgos complejos por métodos estocásticos.

El análisis dinámico de riesgos implica necesariamente establecer un comportamiento estocástico para poder analizar este.

Es importante establecer una serie de requisitos en el modelado estocástico de los riesgos (Bañuls et al., 2017):

- Se deben representar todas las conexiones posibles entre los riesgos del proyecto, dado que no todos están al mismo nivel (riesgo principal, riesgo intermedio, etc..).

- Debe incluir aspectos de incertidumbre, implementando su probabilidad y los cambios de esta.
- El análisis de riesgos debe incorporar redes como expresión gráfica de los riesgos. No se deben excluir los riesgos que tienen comportamiento cíclico.
- Deben tener en cuenta la aleatoriedad del comportamiento del riesgo que puede dar lugar al fallo.
- Deben funcionar con escasa o nula información sobre el tipo de riesgo que se va a producir.
- Deben proporcionar información, tanto de la probabilidad como de la severidad del riesgo que se está estudiando.

Existen diferentes métodos para analizar el comportamiento estocástico de un riesgo, en este caso de un riesgo principal o riesgo sistémico.

Modelado de riesgos mediante redes bayesianas.

Las redes bayesianas modelan fenómenos estocásticos mediante la representación de un conjunto de factores y las interrelaciones entre ellos. Dichas interdependencias se estudian mediante métodos holísticos modelando la red de riesgos como un sistema abierto (Qazi et al., 2015), en el cual se aplican métodos bayesianos para poder establecer las interrelaciones entre los riesgos, tal como se relata en (Kelly & Smith, 2009).

Para el análisis utilizan modelos de confiabilidad física, definiéndose estas como la probabilidad de que un componente o sistema realice una función requerida durante un período de tiempo determinado, cuando se usa en condiciones estándar (Ebeling, 2019). Aunque esta definición introduce más en aspectos de fiabilidad de sistemas físicos, se traslada en este trabajo de investigación, al campo de los riesgos en procesos y actividades de proyecto. Aunque algunos autores no se manifiestan a favor de esta (Ching & Leu, 2009; P. L. Hall & Strutt, 2003; Osama et al., 2021)

Dentro de la confiabilidad física, Khakzad et al., utiliza dos modelos: uno denominado *de covariables*, donde la variable principal depende de elementos físicos, y un *modelo estático*, en el que no se considera al tiempo como parámetro influyente. Por tanto, para la actualización del análisis de riesgos se utilizan dos modelos simultáneos, fijando los riesgos principales mediante el modelo estático y al que van sumando las variables como alerta temprana. No obstante, hoy en día con las herramientas informáticas disponibles de gestión de riesgos como BUGS® o @RISK® (mediante modelos de Markov o de Montecarlo, respectivamente) pueden utilizarse distribuciones de probabilidad diferentes o adaptables durante el ciclo de vida del proyecto si es necesario (Siu & Kelly, 1998).

Sin embargo, estos sistemas no consideran la incertidumbre que pueda producirse en la fase inicial del análisis, no son capaces de cuantificar el fallo de manera iterativa y tampoco tienen en cuenta la variación de las fases de proceso y el tiempo (Abdo & Flaus, 2016).

Por último, los sistemas complejos, tal como se comentó anteriormente, suelen no ser markovianos, es decir su variación no depende del último paso en la generación de probabilidades, dado que estos dependen de la historia.

Modelado de riesgos mediante redes neuronales y lógica fuzzy.

Las redes neuronales o mapas cognitivos fuzzy (FCM) son herramientas para modelar sistemas dinámicos. Está compuesta por redes neuronales y lógica difusa. En general, las redes neuronales están compuestas por tres capas: *capa de entrada*, la cual recibe la información a analizar; *capa de salida* que es la encargada de dar respuesta al sistema, y una *capa oculta* capaz de coevolucionar bien con la entrada o con la salida para dar un grado de libertad mayor a la hora de realizar el análisis (del Brío & Molina, 2001).

La lógica difusa utiliza reglas heurísticas de programación donde los criterios de decisión son conjuntos difusos, es decir, tienen componentes estocásticos (Kosko & Isaka, 1993).

El aprendizaje de la red neuronal es el punto más crítico de una red neuronal, dado que es la encargada de actualizar el conocimiento inicial que se tenía del sistema, e ir actualizando el mismo, dependiendo de los datos históricos que van obteniéndose, a medida que el sistema de análisis de riesgo va evolucionando. Existen tres grupos de técnicas de aprendizaje: *basados en la teoría de asociación sináptica o Hebbian*; *basado en población* y sus incrementos, e *híbrida*. En cuanto al primer grupo de técnicas, se basan sobre todo en la *preminencia del intercambio* de información entre nodos adyacentes. El segundo grupo se basa en las agrupaciones que se dan en las redes como creadoras de conocimiento. El tercer grupo mezcla conceptos de ambas (Jamshidi et al., 2018).

El principal problema de las redes neuronales para obtener la evaluación de los riesgos de forma dinámica se basa precisamente, en su herramienta clave, el *proceso de aprendizaje*. Errores de simulación, baja capacidad de generalización, dependencias de estados iniciales o falta de datos históricos limitan la capacidad y pueden desembocar en estados estacionarios no deseados (Papageorgiou et al., 2015).

Modelado de riesgos mediante análisis de impacto cruzado y modelado estructural interpretativo.

Bañuls, López, Turoff y Tejedor (Bañuls et al, Op. Cit.) proponen la evaluación de riesgos dinámicos en proyectos complejos, mediante la conjunción de dos herramientas. El *análisis de impacto cruzado (CIA)* y el *modelado estructural interpretativo (ISM)*.

CIA es una metodología, que persigue encontrar las relaciones entre riesgos que pueden impactar sobre otros riesgos, reduciendo la incertidumbre en los siguientes pasos de iteración

mediante redes bayesianas. Para poder hallar las probabilidades futuras se utiliza sobre todo los coeficientes de correlación que se calculan mediante funciones de distribución Fermi-Dirac estudiando la entropía del sistema complejo.

ISM se basa en el estudio de las matrices de adyacencia de las redes creadas por los riesgos, añadiendo la matriz identidad para poder incorporar los riesgos que pueden retroalimentarse a sí mismos. Las herramientas utilizadas en análisis de redes como centralidad, agrupamiento y otras pueden obtenerse en este método.

Las transformaciones de los resultados obtenidos en el método CIA, sobre el modelo ISM, intenta equilibrar el sistema, y por tanto aumentar la entropía mediante un proceso denominado *perturbación*, tomando los impactos de mayor valor, en valor absoluto, y los reescribe como ceros o unos dependiendo de la relación adyacente que pueda establecerse, posteriormente se recalcula los valores de centralidad, incorporando los factores, no aleatoriamente, sino clasificando los riesgos en dependencia con la centralidad (Ramírez de la Huerca et al., 2015).

El proceso CIA-ISM que combina redes bayesianas con estudio de redes complejas tiene limitaciones. La principal, la importancia de establecer los eventos, sus interrelaciones y sus probabilidades, dado que una vez introducidos, los resultados obtenidos pueden no tener nada que ver con la realidad (R. Wang et al., 2022).

6.4. Gestión de riesgos corporativos.

Se puede agrupar los riesgos individuales que existen en ciertos procesos de la gestión de proyectos en un riesgo general para el proyecto. Esto no sólo incluye a dichos riesgos individuales, sino a los provenientes de todas las fuentes de incertidumbre que interaccionen con el proyecto (Hillson, 2014), (PMBok_7, 2021).

Pero no sólo se puede tener riesgos generales en los proyectos, sino que también se podría agrupar los riesgos en uno de tipo general para la organización. Para ello, es importante actuar no solamente sobre los procesos de trabajo, sino además en la gobernanza y en los grupos de trabajo. Por tanto, en la gestión de riesgos se puede observar que esta no sólo debe ser tratada en el proyecto, sino en la organización (Thamhain, 2013).

Un enfoque general en toda la empresa en cuanto a gestión de riesgos permite a una organización considerar el impacto de los riesgos provenientes no solo de los proyectos, sino de las operaciones, actividades, partes interesadas y servicios. En 2004 se puso en marcha por parte de COSO (Committee of Sponsoring Organizations of the Tredway Commission) un estándar sobre Gestión de Riesgos Empresariales (en inglés ERM, en español GRE, denominado también Gestión de riesgos Institucionales para la administración pública GRI).

En líneas generales, se establece una arquitectura de gestión de riesgos a través de las estructuras de la empresa, teniendo cada estructura una misión en la gestión. Desde la dirección

general hasta los trabajadores. Es lo que se denomina análisis de riesgo empresarial (ERM, en inglés).

La primera ERM se denominó 1.0 y establecía un marco claro y definido, con funciones y responsabilidades, disponía de un proceso estructurado de identificación, evaluación, monitoreo y actualización de riesgos clave. Se denominó gestión de riesgos basado en las “7R/4T” que se enumeran a continuación:

- 1) **Reconocimiento o identificación del riesgo.**
- 2) **Ranking de los riesgos identificados.**
- 3) **Respuesta a los riesgos más significativos.**
 1. **Tolerar.**
 2. **Tratar.**
 3. **Transferir.**
 4. **Terminar.**
- 4) **Recursos para tratar los riesgos.**
- 5) **Reacción a los riesgos.**
- 6) **Reporte y vigilancia de las actuaciones sobre los riesgos.**
- 7) **Revisión del marco de gestión de riesgos.**

Se establecían protocolos de notificación periódica de riesgos a nivel de gerencia, y los responsables de toma de decisiones y, por último, se implantaban campañas de comprensión de los riesgos a todos los interesados de la empresa (Association, 2010).

En 2017 se estableció una actualización del estándar ERM, la 2.0, que incluía, en líneas generales, la introducción de la gestión de riesgos en las decisiones estratégicas de la empresa, y nuevas formas exploratorias de identificación de riesgos tanto a nivel gerencial como de los trabajadores (Ho & Li, 2019).

Algunas empresas e instituciones siguen el modelo ERM, aunque en vez de utilizar el método “7R/4T” de gestión directa de riesgos, utiliza los procesos planteados en el capítulo 6 de la ISO 31.000, al ser un estándar internacional y tener muchas organizaciones implementada su metodología. Una de las instituciones que plantea su gestión de riesgos de esta manera es la ONU y sus principales agencias (Nikolić, 2017; Terzi & Istvan, 2010).

6.5. Modelo Bow-Tie para riesgos complejos.

En (Khakzad et al., 2012), se propone un enfoque combinando los árboles de posibles riesgos con los árboles de eventos que pueden producirse en una parte o en todo el proyecto, (en (Khan et al., 2016), se amplía este enfoque con la gestión integral, aunque no se define el método de forma clara). Se trata del análisis Bow-Tie o de “pajarita” que se describe a continuación.

El modelo en cuestión consta de una zona central donde se representa el riesgo superior, que puede ser considerado también como el riesgo del sistema, objeto de estudio, a su izquierda se introduce un árbol de riesgos enlazados mediante puertas lógicas que representarán si los riesgos interactúan, son interdependientes o actúan en cascada. A la derecha del riesgo superior se coloca el árbol de sucesos que puede causar la aparición de dicho riesgo. La representación gráfica de este modelo se muestra a continuación en la *imagen 6-3*:

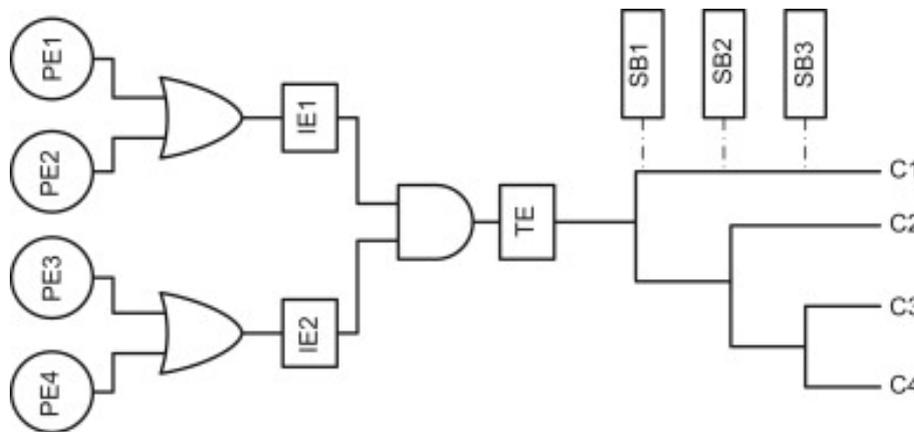


Imagen 6-3. Modelo "Bow-Tie" (Fuente: Khakzad et al).

A la izquierda, en el árbol de riesgos (AR), PE, IE y TE son los riesgos principal, intermedio y superior, objeto del estudio. A la derecha, en el árbol de sucesos (AE) están SB y C que significan barrera de seguridad y consecuencia. Mediante este modelo se representa totalmente el riesgo superior a analizar, los riesgos que pueden desencadenarlo, actuando como alertas temprana, y las consecuencias. Una vez establecido el modelo, debe poder actualizarse a medida que se observan nuevos datos constituyendo un ente dinámico. Es necesario, por tanto, plantear los riesgos como una red compleja para poder analizarlos, sobre todo a nivel de riesgo sistémico.

A la derecha, en el árbol de sucesos, se colocan las diferentes consecuencias (C_i) que pueden producirse a raíz de la materialización del riesgo, y cuáles serán las circunstancias que deberán ser consideradas. Habitualmente, se colocan en orden cronológico esperado, con la posibilidad de repercutir un valor de probabilidad de materialización. La posibilidad de que se produzca una determinada consecuencia está definida por la probabilidad de éxito o fallo de las barreras de seguridad que se impongan en el riesgo considerado (Bestratén Belloví, 1991).

En el ejemplo de la *imagen 6-4*, se puede observar el funcionamiento de un árbol de sucesos.

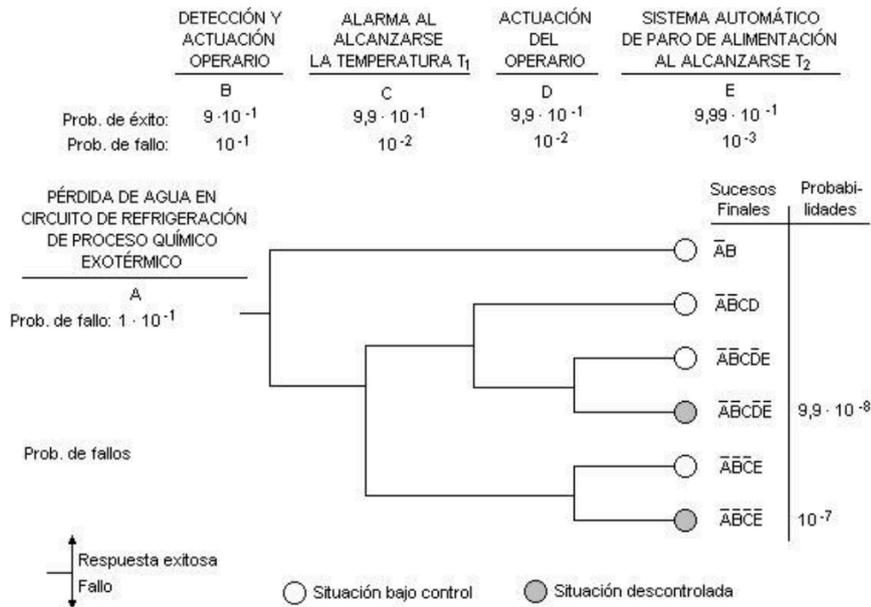


Imagen 6-4. Ejemplo de árbol de sucesos (Fuente: Bestratén Belloví).

Cada bifurcación en el árbol de sucesos proviene de que la barrera de seguridad planteada tenga éxito o no. En este caso, un sentido ascendente en la bifurcación, indica que la barrera planteada ha tenido éxito. Un sentido descendente en la bifurcación, indica que la barrera no ha tenido éxito. Cada barrera tiene dos probabilidades asignadas, una probabilidad de éxito, y una probabilidad de fallo. La consecuencia final de la materialización del riesgo será la probabilidad total de su ocurrencia, que vendrá definida por las operaciones aritméticas de las bifurcaciones.

Así en el ejemplo de la *imagen 6-4*, la consecuencia C debido a la materialización del riesgo A (pérdida de agua en circuito de refrigeración de proceso químico exotérmico), al fallo de la detección y actuación del operario (barrera B), al éxito de que se activase la alarma de temperatura (barrera C), al fallo de la actuación del operario (barrera D) y al fallo del sistema automático de paro de alimentación al alcanzarse la temperatura T_2 , tiene un valor de probabilidad igual a $9,9 \times 10^{-8}$.

Por tanto, queda definido, mediante probabilidades, las consecuencias que se pueden tener si un fallo se produce con las barreras planteadas.

La aplicación de un análisis exhaustivo de los riesgos, y sus consecuencias mediante la herramienta Bow-Tie es bastante eficaz para poder determinar todos los riesgos que se pueden presentar, así como el denominado *riesgo sistémico*.

6.6. Herramienta para establecer el riesgo en un proyecto complejo.

Tal como se vio en el [apartado 4.4.6](#) de este trabajo de investigación, es prácticamente imposible poder extraer cuál puede ser el *riesgo sistémico* de una red compleja. Una posible forma de hacerlo es el estudio de la centralidad de su red (la red de riesgos) y sus componentes fuertemente conectados (SSC).

Si se disponen los riesgos como una red compleja, en la que se producen cambios aleatorios de estructura, y de dinámica, debido a la interacción entre los diferentes nodos, se puede obtener la participación de la *coevolución* en dicha red.

Se puede, por ello, utilizar las mismas métricas que se resumieron en el [apartado 5.4.2](#) del capítulo anterior. Dichas métricas, fáciles de usar, con las debidas reservas establecidas por sus autores, permiten establecer el nivel de riesgo de un sistema / proyecto:

- Estructuralmente, mediante el uso de la complejidad ciclomática ampliada.
- Dinámicamente, mediante el uso del parámetro de coevolución g .

Queda, por tanto, saber sobre que disposición de red se pueden realizar estas medidas. Para ello, de una manera sucinta, se pueden establecer redes que simulen el árbol de fallos, del modelo Bow-Tie, hasta llegar el fallo sistémico o superior.

A diferencia de redes de información entre interesados, las redes de riesgos serán redes unidireccionales, con pocos enlaces, y con SSC prácticamente inexistentes, salvo si se produjera algún camino hamiltoniano entre riesgos, debido a la ocurrencia de un riesgo que pudiera dispararse en varias puertas OR o AND a la vez.

Debe incluirse como uno de los riesgos principales, el riesgo corporativo ERM tal como se ha comentado anteriormente.

7. HERRAMIENTA ENFOQUE – COMPLEJIDAD – RIESGO.

Se estudiará en este capítulo cómo establecer el tipo de enfoque de una OMP, a través de una herramienta, que tenga en cuenta las características de la misión, para saber cuál de los tipos de enfoque utilizar: predictivo, ágil o híbrido.

Se ha elegido la herramienta del Project Management Institute (PMI®) denominada *herramienta de idoneidad de enfoque* (PMI & Agile Alliance, 2017), de carácter cualitativo, porque es una de las más utilizadas para determinar qué tipo de ciclo de vida puede tener un proyecto, ya sea ágil, híbrido o predictivo (de Freitas et al., 2019; Rosenberger & Tick, 2018).

Se realizará la modificación de la herramienta de PMI, para incorporar al enfoque la complejidad y el riesgo. Una vez modificada, se utilizará en el [capítulo 10](#), en el análisis de enfoque de tres misiones de paz de Naciones Unidas: UNMISS en Sudán del Sur, MONUSCO en la República Democrática del Congo (RDC) y MINUSTAH en Haití.

Todas son operaciones de 4ª generación, y todas llevan o han llevado un período largo de tiempo sobre el terreno, de tal forma que se podrán analizar dado que los datos están disponibles.

7.1. Herramienta de idoneidad de enfoque.

En (Álvarez-Espada et al., 2022) se utilizó la herramienta de idoneidad de enfoque de carácter cualitativo para determinar el tipo de enfoque que se debería seguir en la gestión de un proyecto. Esta herramienta está compuesta por tres dimensiones:

- **Proyecto.** Esta dimensión analiza si en el desarrollo del proyecto habrá cambios, si el proyecto es crítico para los interesados y el número de entrega de resultados que existirán en el transcurso del ciclo de vida.
- **Equipo.** Esta dimensión analiza el número de miembros del equipo, su experiencia y el acceso de estos a los interesados del proyecto.
- **Cultura.** Esta dimensión analiza si los miembros del equipo tienen capacidad de toma de decisiones, si la organización tiene confianza en el equipo y si esta acepta enfoques de gestión no convencionales.

A su vez, cada dimensión está dividida en tres parámetros, siendo nueve el total. Cada parámetro tendrá un valor tabulado en tres sectores, que en general pueden dividirse en una contestación negativa, una contestación media y una contestación positiva a la pregunta realizada para cada uno de los parámetros. Los parámetros con sus preguntas y la tabulación de los resultados son los siguientes:

- **PROYECTO:**

- **CAMBIOS.** ¿Qué probabilidad existe de que haya cambios en los requisitos iniciales? (MUCHOS/1, MEDIO/5, POCOS/10).
- **CRITICIDAD (DEL RESULTADO).** ¿Cómo de crítico para los interesados es que el proyecto falle? (MUY CRÍTICO/1, CRÍTICO/5, NADA CRÍTICO/10).
- **ENTREGA.** ¿El proyecto debe entregarse por partes y rápidamente? (SI/1, PARCIAL/5, NO/10).

- **EQUIPO:**

- **TAMAÑO.** ¿Cuál es el tamaño del equipo principal? (<10/1, 45-60/5, > 200/10).
- **EXPERIENCIA.** ¿El personal del equipo principal es experto en ambientes de incertidumbre, gestión de cambios y gestión de crisis? (SI/1, PARCIAL/5, NO/10).
- **INTERESADOS.** ¿El equipo principal de proyecto tendrá acceso libre a los interesados? (SI/1, PARCIAL/5, NO/10).

- **CULTURA:**

- **ACEPTACIÓN (DEL ENFOQUE).** ¿Existe dentro de la organización que va a realizar el proyecto el apoyo para realizar un enfoque ágil? (SI/1, PARCIAL/5, NO/10).
- **CONFIANZA.** ¿Existe confianza en la organización de que el equipo va a funcionar bien en el enfoque ágil, con el apoyo de esta? (SI/1, PROBABLEMENTE/5, NO/10).
- **TOMA DE DECISIONES.** ¿Se le dará autonomía al equipo para tomar sus propias decisiones locales para realizar los trabajos del proyecto? (SI/1, PROBABLEMENTE/5, NO/10).

Los resultados se presentan en forma gráfica mediante un diagrama radar en cuyo fondo se muestra los tres enfoques antes mencionados. Se expone su aplicación a la EDAR Marismas ([subcapítulo 2.2](#) y [apartado 5.4.2](#)). En la *imagen 7-1*, se muestra la tabla de asignación cualitativa a los parámetros que conforman la herramienta, y en la *imagen 7-2* su representación gráfica mediante un diagrama radial:

Cultura	Aceptación del enfoque	9	¿Existe dentro de la organización que va a realizar el proyecto apoyo para realizar un enfoque ágil? (SI = 1 / PARCIAL = 5 / NO = 10)
	Confianza en el equipo	8	¿Existe confianza en la organización de que el equipo va a funcionar bien en el enfoque ágil, con el apoyo de esta? (SI = 1 / PROBABLEMENTE = 5 / NO = 10)
	Toma de decisiones del equipo	9	¿Se le dará autonomía al equipo para tomar sus propias decisiones locales para realizar los trabajos del proyecto? (SI = 1 / PROBABLEMENTE = 5 / NO = 10)
Proyecto	Probabilidad de cambio	10	¿Qué probabilidad existe de que haya cambios en los requisitos iniciales?. (MUCHOS = 1 / MEDIO = 5 / POCOS = 10)
	Criticidad del resultado	9	¿Cómo de crítico para los interesados es que el proyecto falle?. (MUY CRÍTICO = 1 / CRÍTICO = 5 / NADA CRÍTICO = 10)
	Entrega	9	¿El proyecto debe entregarse por partes y rápidamente? (SI = 1 / PARCIAL = 5 / NO = 10)
Equipo	Tamaño del equipo	8	¿Cuál es el tamaño del equipo principal?. (1-9 = 1 / 10-20 = 2 / 21-30 = 3 / 31 - 45 = 4 / 46-60 = 5 / 61-80 = 6 / 81-110 = 7 / 111 - 150 = 8 / 151-200 = 9 / 201+ = 10)
	Niveles de experiencia	8	¿El equipo principal del proyecto es experto en ambiente de incertidumbre, gestión de cambios y gestión de crisis? (SI = 1 / PARCIAL = 5 / NO = 10)
	Acceso a los interesados	8	¿El equipo principal de proyecto tendrá acceso libre a los interesados? (SI = 1 / PARCIAL = 5 / NO = 10)

Imagen 7-1. Tabla de introducción de datos en la herramienta para EDAR Marismas (Fuente: Autor).

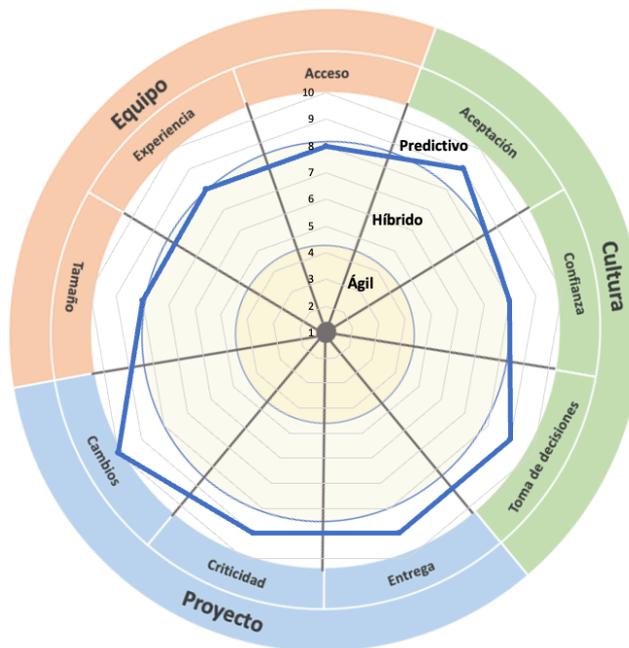


Imagen 7-2. Resultado en herramienta de idoneidad de enfoque para EDAR Marismas (Fuente: Autor).

Se puede deducir, que el enfoque más adecuado para gestionar este proyecto es el enfoque predictivo, a pesar de ser una planta con un fuerte componente de I+D debido a un proceso novedoso de depuración de aguas, que puede conllevar aspectos híbridos en la gestión.

En los siguientes subcapítulos se van a cambiar parámetros en la herramienta original de idoneidad de enfoque, introduciendo los conceptos de complejidad y riesgo. En el último subcapítulo se presentará la herramienta totalmente modificada.

7.2. Introducción de la complejidad en la herramienta de idoneidad de enfoque.

Dado que se planteó en el [apartado 5.4.2](#) de este trabajo de investigación, la complejidad de un proyecto como el estudio de redes complejas sobre tres aspectos importantes (suministros, contratos e información), se debería poder circunscribir el estudio de la complejidad, para facilitar

su estudio, en una de las redes, a ser posible la que tenga una preponderancia mayor. Se ha podido comprobar, que numerosos autores consideran que analizar los interesados y sus interrelaciones, adquiere gran importancia en la gestión de un proyecto. Así (Batty & Collins, Op. Cit.), (Kerzner & Belack, Op. Cit.), (Aguirre Pérez, Op. Cit.), (Lorman & Basili, Op. Cit.) consideran que tener en cuenta a los interesados, conocer los efectos que pueden producir o saber la importancia que tienen, es vital para poder gestionar un proyecto. Como se verá posteriormente, otros autores, consideran que, para sociedades en conflicto, o para misiones de paz, es importante saber quiénes son los interesados y sobre todo no olvidarse de ninguno a la hora de analizar y planificar las acciones de un proyecto, en este caso una misión de paz.

Por tanto, en este trabajo de investigación, para facilitar el estudio previo de la complejidad en la herramienta de idoneidad de enfoque, se va a circunscribir este, a la *red de interesados del proyecto*, pudiendo posteriormente poder incorporar las otras dos dimensiones vistas (suplidos y contratos) o cualquier otra que se crea oportuna formando una multired, todo ello dependiendo del proyecto.

En el subcapítulo anterior se introdujo la herramienta de idoneidad de enfoque incluyendo tres dimensiones (proyecto, cultura y equipo). Así, originalmente se establecía que la *dimensión PROYECTO* estaba formado por tres parámetros (cambios, criticidad y entrega).

Se procede a sustituir el parámetro CAMBIOS por el parámetro COMPLEJIDAD. Manteniendo los valores de complejidad, parejos a los valores de cambios que se tenía en el modelo previamente visto. Se dividirá, el tipo de proyecto en función de las definiciones proporcionadas por Stacey (Stacey, Op. Cit.). Así:

- **Proyecto sin complejidad. Valor de referencia, 10.**
- **Proyecto moderadamente complejo. Valor de referencia, 5.**
- **Proyecto complejo. Valor de referencia, 1.**

Tal como se describió, se establecieron dos métricas conjuntas para medir la complejidad:

- Complejidad estructural (CE) mediante la medición de complejidad ciclomática ampliada. Dicha complejidad esta siempre presente, ya que depende de la estructura que tenga la red que representa el proyecto. Así, se considerarán los siguientes valores de referencia (MacCabe, Op. Cit) y sus asignaciones al nivel de complejidad:
 - o **Complejidad ciclomática ≤ 10 .** Proyecto simple. La complejidad estructural tendrá un **valor de 0**.
 - o **Complejidad ciclomática > 10 y ≤ 20 .** Proyecto complicado. La complejidad estructural tendrá un **valor de 3**.

- **Complejidad ciclomática > 20.** Proyecto complejo. La complejidad estructural tendrá un **valor de 5**.
- Complejidad dinámica (CD) mediante la aplicación del parámetro de coevolución g , que dependerá del número de nodos. Así se considerarán los siguientes valores de referencia (Iñiguez y Barrio, Op. Cit.) y asignaciones al nivel de complejidad:
 - **Número de nodos ≤ 25 .** Coevolución alta. La complejidad dinámica tendrá un **valor de 4**.
 - **Número de nodos > 25 y ≤ 100 .** Coevolución media. La complejidad dinámica tendrá un **valor de 2**.
 - **Número de nodos > 100.** Coevolución baja. La complejidad dinámica tendrá un **valor de 0**.

Para poder establecer la complejidad total del proyecto (CT), esta deberá ser función tanto de la complejidad estructural (CE), como de la complejidad dinámica (CD). Dicha expresión será:

$$CT = 10 - (CE + CD) \quad (7.1)$$

7.3. Introducción del riesgo en la herramienta de idoneidad de enfoque.

Al igual que en el punto anterior, para obtener una visión previa, sin tener que realizar un estudio profundo de los riesgos, mediante el método Bow-Tie, que debería realizarse durante la fase de planificación, se introduce en la herramienta descrita en el inicio de este capítulo, un cambio de parámetro dentro de la *dimensión PROYECTO*.

Se procede a cambiar el parámetro CRITICIDAD por el parámetro RIESGO, entendido este último como riesgo sistémico. Manteniendo los valores de RIESGO parejos a los valores de CRITICIDAD que se tenía en el modelo previamente visto. Así:

- **Proyecto con riesgo bajo. Valor de referencia, 10.**
- **Proyecto con riesgo moderado. Valor de referencia, 5.**
- **Proyecto con riesgo alto. Valor de referencia, 1.**

Tal como se describió en el [subcapítulo 6.6](#) de este trabajo de investigación, se establecieron dos métricas conjuntas para medir la complejidad que también se empleará en la medición del riesgo, dado que se establecerá como red compleja:

- Riesgo estructural (RE) mediante la medición de complejidad ciclomática ampliada. Dicha complejidad esta siempre presente ya que depende de la estructura que tenga la red que representa el proyecto. Así, se considerarán los siguientes valores de referencia (MacCabe, Op. Cit) y asignaciones al nivel de riesgos:

- **Riesgo ciclomático ≤ 10 .** Proyecto sin riesgos. El riesgo estructural tendrá un de **valor 0**.
 - **Riesgo ciclomático > 10 y ≤ 20 .** Proyecto con riesgos moderados. El riesgo estructural tendrá un de **valor 3**.
 - **Riesgo ciclomático > 20 .** Proyecto con riesgos complejos. El riesgo estructural tendrá un de **valor 5**.
- Riesgo dinámico (RD) mediante la aplicación del parámetro de coevolución g , que dependerá del número de nodos. Así se considerarán los siguientes valores de referencia (Iñiguez y Barrio, Op. Cit.) y asignaciones al nivel de complejidad:
- **Número de nodos ≤ 50 .** Coevolución alta. El riesgo dinámico tendrá un **valor de 4**.
 - **Número de nodos > 50 y ≤ 200 .** Coevolución media. El riesgo dinámico tendrá un **valor de 2**.
 - **Número de nodos > 200 .** Coevolución baja. El riesgo dinámico tendrá un **valor de 0**.

Para poder establecer el riesgo total del proyecto (RT), esta deberá ser función tanto del riesgo estructural (RE) como del riesgo dinámico (RD). Dicha expresión será:

$$RT = 10 - (RE + RD) \quad (7.2)$$

7.4. Estructura final de la herramienta.

Una vez analizados y vistos los cambios individualmente para introducir la complejidad, [subcapítulo 7.2](#) y el riesgo, [subcapítulo 7.3](#) se presenta la herramienta modificada.

La *herramienta de idoneidad de enfoque modificada* sigue basándose en 3 dimensiones (proyecto, equipo y cultura) y sigue teniendo 9 parámetros, 3 parámetros por dimensión.

En la herramienta original, los 9 parámetros eran todos parámetros cualitativos, es decir, en base a las contestaciones que se obtenían al realizarse las preguntas correspondientes, a cada parámetro, se daba un valor cuantitativo. Ahora la herramienta es cuantitativa-cualitativa, dado que la complejidad y el riesgo se cuantifican, por operaciones aritméticas sobre los datos obtenidos en análisis de redes de interrelaciones de interesados para el caso de la complejidad, y de redes de riesgos principales para el caso del riesgo de proyecto, estudiando su estructura y su dinámica, en ambos casos. Se describe a continuación las dimensiones y parámetros de la herramienta modificada.

- **PROYECTO:**

- **COMPLEJIDAD.** ¿Qué complejidad tiene el proyecto a gestionar? (COMPLEJO/1, MEDIANAMENTE COMPLEJO/5, SIMPLE/10).
- **RIESGO.** ¿Qué riesgo tiene el proyecto a gestionar? (ALTO/1, MODERADO/5, BAJO/10).
- **ENTREGA.** ¿El proyecto debe entregarse por partes y rápidamente? (SI/1, PARCIAL/5, NO/10).

- **EQUIPO:**

- **TAMAÑO.** ¿Cuál es el tamaño del equipo principal? (<10/1, 45-60/5, > 200/10).
- **EXPERIENCIA.** ¿El personal del equipo principal es experto en ambientes de incertidumbre, gestión de cambios y gestión de crisis? (SI/1, PARCIAL/5, NO/10).
- **INTERESADOS.** ¿El equipo principal de proyecto tendrá acceso libre a los interesados? (SI/1, PARCIAL/5, NO/10).

- **CULTURA:**

- **ACEPTACIÓN (DEL ENFOQUE).** ¿Existe dentro de la organización que va a realizar el proyecto el apoyo para realizar un enfoque ágil? (SI/1, PARCIAL/5, NO/10).
- **CONFIANZA.** ¿Existe confianza en la organización de que el equipo va a funcionar bien en el enfoque ágil, con el apoyo de esta? (SI/1, PROBABLEMENTE/5, NO/10).
- **TOMA DE DECISIONES.** ¿Se le dará autonomía al equipo para tomar sus propias decisiones locales para realizar los trabajos del proyecto? (SI/1, PROBABLEMENTE/5, NO/10).

[Aplicación de la herramienta de idoneidad modificada a la EDAR Marismas.](#)

Se presentan ahora un ejemplo sobre la utilización de la herramienta modificada sobre el proyecto de la EDAR Marismas del Odiel ([subcapítulo 2.2](#) y [apartado 5.4.2](#)).

Complejidad

Para estudiar la complejidad, en primer lugar se debe estudiar los interesados en el dicho proyecto. Para ello se realiza una tabla donde se coloca la variable que representa al interesado y al propio interesado.

Dado que esta obra, está sujeta a confidencialidad en las empresas contratistas principales y subcontratistas, no se ha puesto el denominación de estas, sino que se ha puesto nombres supuestos. No todos los interesados que se representan han tenido el mismo protagonismo en todo el ciclo de vida del proyecto. Por tanto, sólo se han incluido en la tabla una fotografía de los principales interesados.

Se establece en primer lugar la tabla de interesados que se detectaron en el transcurso de la realización del proyecto. Esta tabla fue utilizada para desarrollar la red de interesados que se mostró en la *imagen 5-12*.

GRUPO INTERESADOS. EDAR	
DENOMINACIÓN	REPRESENTANTE
I1	Ayuntamiento
I2	Empresa Constructora 1
I3	Empresa Instaladora 1
I4	Empresa Control 1
GERENTE	GERENTE
I5	Empresa control 2
JO	JO
I6	Adm. Medioambiente
DO	DO
I7	Empresa Constructora 2

Imagen 7-3. Red de interesados del proyecto EDAR Marismas (Fuente: Autor).

Se estudia ahora, de manera sucinta, la red de información de interesados. Es interesante, previamente, analizar algunos parámetros de centralidad de redes, que se expusieron en el [capítulo 4](#), cuando se abordaron estos de forma teórica. Para ello, se utilizará, como se hizo anteriormente en apartados anteriores, el programa gratuito UCINET.

Uno de los parámetros más interesantes de la centralidad, es la identificación de los actores “más importantes de la red”, y esto se puede buscar bajo tres conceptos:

- **Centralidad de grado.** Se basa en localizar aquellos nodos que tienen más enlaces. Es decir, están más interconectados. Como se puede ver en la *imagen 7-4*, el jefe de obra (JO) es el actor que más interconectado está con el resto de los interesados, fuera y dentro de la obra. En la realidad, esta representación que se hace se ajusta al escenario, dado que dicho actor es uno de los más importantes en un proyecto de construcción. Por debajo de él, se encuentra el GERENTE, como representante legal del contratista en la obra. Externo a la contrata, existe un interesado nombrado como I1 que es uno de los más activos y que en este caso correspondía al representante del ayuntamiento de la población donde se colocó la EDAR y que planteó numerosas exigencias durante el transcurso del proyecto.

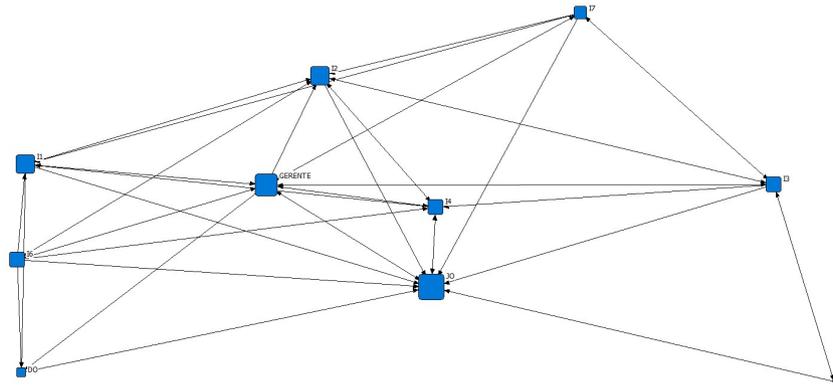


Imagen 7-4. Red de información de interesados. Centralidad de grado (Fuente: Autor).

- **Centralidad de cercanía.** Indica, por qué nodo va más rápida y más eficientemente la información de un nodo a otro. Como se puede observar en la *imagen 7-5*, el nodo I5, que corresponde a la *empresa de control 2* que realizaba el enlace de control con la compañía de aguas de la zona tiene una preponderancia sobre la red mayor que el resto. Él solamente se relaciona con el nodo I3, que corresponde a la *empresa instaladora 1* y con el JO. Corresponde este hecho a los cambios continuos en las prescripciones a realizar en el control y SCADA y su repercusión en las necesidades de la instalación de los equipos a controlar. Aparentemente se podría creer que I4, *Empresa de control 1*, empresa que realizaba la instalación de los equipos de control de la planta o el JO pudieran ser los nodos más importantes, pero aquí se mide la velocidad de cambio y eso se consigue cuando se está débilmente conectados.

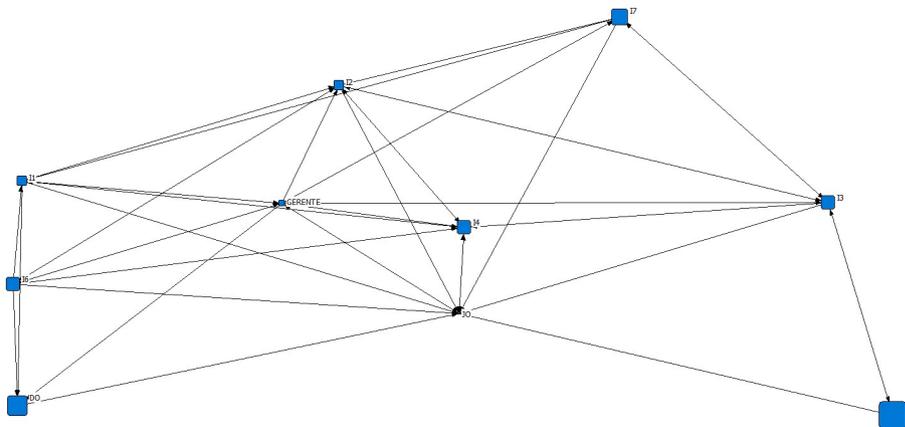


Imagen 7-5. Red de información de interesados. Centralidad de cercanía (Fuente: Autor).

- **Centralidad de intermediación.** En este caso, se cuantifica la frecuencia en la que un nodo actúa como puente en la ruta más corta entre dos nodos, cualquiera que sea. En este caso, el nodo de intermediación es el que posee la capacidad de controlar o regular los flujos de información. En la *imagen 7-6* se puede observar como el nodo de

intermediación es el JO. Y en la realidad así ocurre. Por el jefe de obra pasa toda la información, y es el encargado de poderlo transmitir al resto de la red:

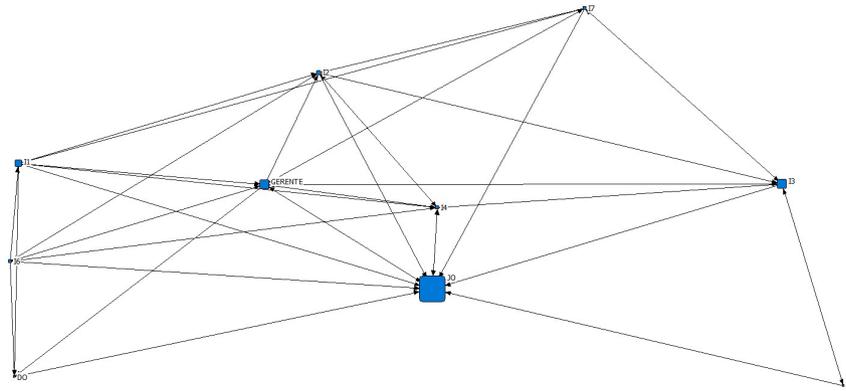


Imagen 7-6. Red de información de interesados. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor).

Aunque se puede conseguir por métodos tradicionales de conteo, el programa UCINET puede obtener los tres parámetros que se necesitan para obtener la complejidad estructural. En el caso de la red de información de interesados de la EDAR Marismas que se está analizando, se obtienen los siguientes datos:

whole network measures			
		1 KNOKI	2 KNOKM
1	# of nodes	10	10
2	# of ties	43	0
3	Avg Degree	4.300	0

Imagen 7-7. Algunos parámetros de estructura de la red de información interesados (Fuente: Autor).

En esta red se tienen, por tanto, 10 nodos y 43 enlaces. En este caso, la red de interesados se representa como red dirigida, por tanto, el número de enlaces es el que aparece en la imagen 7-7. Pudiera ocurrir, que se represente la red de interesados como una red no dirigida, en ese caso, el número de enlaces real será la mitad de los obtenidos con el programa UCINET.

El grado medio de cada nodo es de 4,3. Además se puede obtener el número de componentes fuertemente conectados (SSC), que es la tercera variable del cálculo de la complejidad estructural. Este parámetro indica aquellos actores que más cerca están y están más conectados entre sí que el resto. Este parámetro es fundamental en *redes de pequeño mundo*, que son las que se están tratando con mayor profundidad.

En el caso analizado, se tendrá 2 componentes fuertemente conectados, denominado en inglés mediante la palabra *clique* (una traducción formal de este término en inglés sería *componentes fuertemente conectados*). En la imagen 7-8 se observa dos SSC, el primero está formado por la relación entre los nodos I3, GERENTE y el nodo I7, y el segundo, por la relación entre los nodos I4, GERENTE y JO.

```

-----
Minimum Set Size:
Input dataset:

2 cliques found.

1: I3 GERENTE I7
2: I4 GERENTE J0

Clique Participation Scores: Prop
      1      2
-----
I1  0.333 0.333
I2  0.333 0.333
I3  1.000 0.333
I4  0.333 1.000
GERENTE 1.000 1.000
I5  0.333 0.000
J0  0.333 1.000
I6  0.333 0.333
D0  0.000 0.000
I7  1.000 0.333

```

Imagen 7-8. Número de componentes fuertemente conectados (Fuente: Autor).

La complejidad total será la suma de la complejidad estructural y de la complejidad dinámica:

a) **Complejidad estructural.** Analizando la red de información con los interesados se obtiene los siguientes parámetros:

- Número de enlaces (E): 43
- Número de nodos (N): 10
- SSC: 2

$$ECyM(PN) = 43 - 10 + 2 = 35 \quad (7.3)$$

Se obtiene una complejidad ciclomática de 35, por tanto, según lo indicado en el [apartado 7.2](#) de este trabajo de investigación, al ser un valor mayor que 20, el proyecto de la EDAR tiene un valor de complejidad estructural igual a 5.

b) **Complejidad dinámica.** En este caso se observa que el número de nodos que tiene la red es de 10 nodos, por tanto, según lo indicado en el [apartado 7.2](#) de este trabajo de investigación, al ser menor que 25 nodos, la EDAR tiene un valor de complejidad dinámica igual a 4.

Por tanto, la complejidad total del proyecto de la EDAR será de:

$$CT = 10 - (5 + 4) = 1 \quad (7.4)$$

Al ser el valor de la complejidad total igual a 1, según lo indicado en el [apartado 7.2](#) de este trabajo de investigación, el proyecto de la EDAR se corresponde a un proyecto complejo.

Riesgo.

En cuanto al riesgo, se debe estudiar tanto el riesgo estructural como la dinámica.

Para estudiar el riesgo estructural, se ha aplicado el panel de riesgos de primer y segundo nivel de desglose que figura en el PMBoK 6 (Op. Cit.). En dicho manual aparecen categorizados los riesgos por medio de una estructura de desglose con una cierta representación jerárquica. El siguiente desglose (ver *imagen 7-8*) representa un tipo de desglose de riesgos que puede servir de inicio a la hora de identificar riesgos. Adicionalmente debe incluirse el riesgo corporativo como un riesgo adicional más, tal como se ha indicado en el [subcapítulo 6.4](#) estudiando o aplicando el modelo ERM.

NIVEL 0 de RBS	NIVEL 1 de RBS	NIVEL 2 de RBS
0. TODAS TODAS LAS FUENTES DE RIESGO DEL PROYECTO	1. RIESGO TÉCNICO	1.1 Definición del alcance
		1.2 Definición de los requisitos
		1.3 Estimaciones, supuestos y restricciones
		1.4 Procesos técnicos
		1.5 Tecnología
		1.6 Interfaces técnicas
	Etc.	
	2. RIESGO DE GESTIÓN	2.1 Dirección de proyectos
		2.2 Dirección del programa/portafolio
		2.3 Gestión de las operaciones
		2.4 Organización
		2.5 Dotación de recursos
		2.6 Comunicación
	Etc.	
	3. RIESGO COMERCIAL	3.1 Términos y condiciones contractuales
		3.2 Contratación interna
		3.3 Proveedores y vendedores
		3.4 Subcontratos
		3.5 Estabilidad de los clientes
		3.6 Asociaciones y empresas conjuntas
	Etc.	
	4. RIESGO EXTERNO	4.1 Legislación
		4.2 Tasas de cambio
		4.3 Sitios/Instalaciones
4.4 Ambiental/clima		
4.5 Competencia		
4.6 Normativo		
Etc.		

Imagen 7-9. Estructura de desglose de riesgos para un proyecto tipo (Fuente: PMI)

Se ha aplicado dicha estructura de riesgos al proyecto de la EDAR Marismas llegando a la siguiente red de riesgos representada en la *imagen 7-10*.

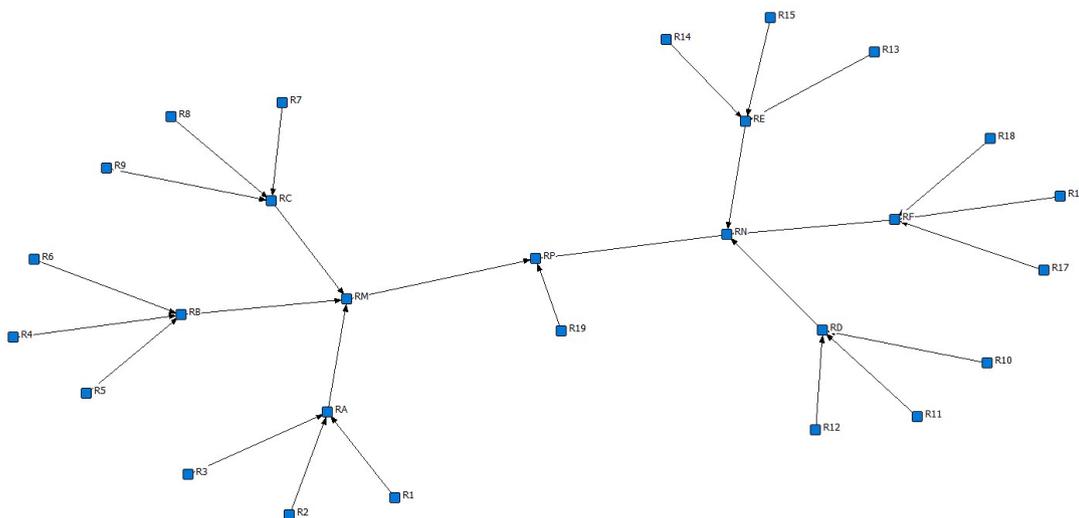


Imagen 7-10. Red de riesgos no exhaustiva de EDAR Marismas (Fuente: Autor).

Se ha incluido en el análisis de riesgos, el riesgo corporativo ERM (R19), en este caso, el riesgo de malfuncionamiento de la EDAR condicionaba el riesgo de no contratación de nuevas plantas y el riesgo de indemnizaciones. Como se puede observar de la *imagen 7-11*, se tiene una red en forma de árbol dirigida con un riesgo superior RP o riesgo sistémico que puede provocar la caída del proyecto. En esta red es interesante observar cuál es la centralidad de intermediación dado que cada riesgo RA, RB, RC, RD, RE, RF, RM, RN son “concentradores de riesgos” simulando de manera precaria las puertas OR, AND del árbol de fallos o de riesgos.

La red de riesgos de la imagen anterior proviene de la tabla de riesgos generales que se estudió para este proyecto y que se puede observar en la siguiente imagen (*Imagen 7-11*).

RIESGOS. EDAR	
DENOMINACIÓN	REPRESENTANTE
R1	Alcance
R2	Requisitos
R3	Estimación
R4	Investigación Anaerobio
R5	Investigación Anóxico
R6	Investigación Aerobio
R7	Proceso recirculación
R8	Proceso aireación
R9	Proceso terciario
R10	Gestión proyecto
R11	Gestión proveedores 1
R12	Gestión proveedores 2
R13	Equipo interno
R14	Comunicación
R15	Daño ayuntamiento
R16	Daño medioambiente
R17	Incumplimiento normativo
R18	Incumplimiento calidad
R19	Riesgo corporativo
RP	Riesgo sistémico
RA	Riesgo técnico 1
RB	Riesgo técnico 2
RC	Riesgo Procesos
RD	Riesgo Gestión
RE	Riesgo comercial
RF	Riesgo Externo
RM	Riesgo técnico total
RN	Riesgo Comercial total

Imagen 7-11. Tabla de riesgos no exhaustiva en la EDAR Marismas (Fuente: Autor).

Se puede observar en la *imagen 7-12*, que como no podía ser de otra manera, la centralidad de intermediación se hace mayor a medida que los riesgos van escalando hacia el riesgo sistémico o superior.

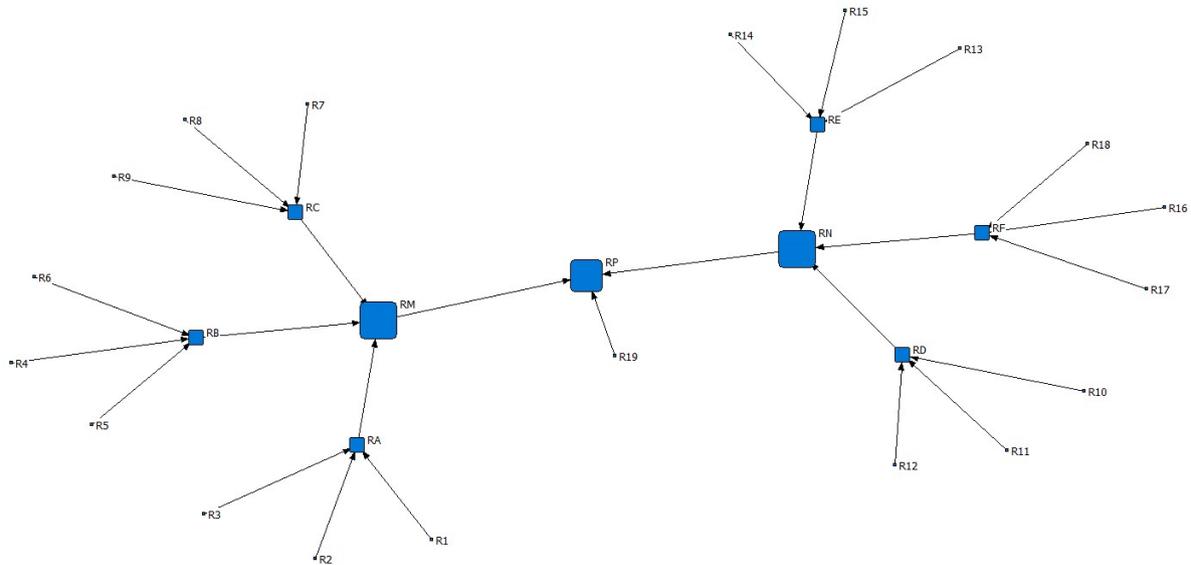


Imagen 7-12. Red de riesgos no exhaustiva. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor).

Se obtienen a continuación (ver imagen 7-13) el número de nodos y el número de enlaces de la red de riesgos. Tal como se puede observar, y resulta trivial, no hay componentes fuertemente conexos en el árbol.

```
whole network measures
# of nodes      28
# of ties      27
Avg Degree      0.964
red_risgos     1
```

Imagen 7-13. Algunos parámetros de estructura de la red de riesgos (Fuente Autor).

De los datos obtenidos en UCINET sobre la red de riesgos de la EDAR Marismas, se tiene los siguientes resultados:

a) **Riesgo estructural.**

De la red de riesgos principales se obtienen los siguientes parámetros:

- Número de enlaces (E): 28
- Número de nodos (N): 27
- SSC: 0

$$ECyM(PN) = 28 - 27 + 0 = 1 \quad (7.5)$$

Al tener el proyecto EDAR una complejidad ciclomática de 1, según lo indicado en el [apartado 7.3](#) de este trabajo de investigación, al ser menor de 10, el proyecto de la EDAR tendrá un riesgo estructural de 0.

- b) **Riesgo dinámico.** En este caso se observa que el número de nodos que tiene la red es de 27 nodos, por tanto, al ser menor que 50 nodos, la EDAR tiene un riesgo dinámico de 4.

Así pues, el riesgo total del proyecto de la EDAR tendrá de:

$$RT = 10 - (0 + 4) = 6 \quad (7.6)$$

Al ser el valor del riesgo total igual a 6, según lo indicado en el [apartado 7.3](#) de este trabajo de investigación, el proyecto de la EDAR se corresponde con un proyecto con nivel de riesgo medio.

Se presenta, a continuación en la *imagen 7-14*, la tabla de evaluación de idoneidad:

Cultura	Aceptación del enfoque	9	¿Existe dentro de la organización que va a realizar el proyecto apoyo para realizar un enfoque ágil? (SI = 1 / PARCIAL = 5 / NO = 10)
	Confianza en el equipo	8	¿Existe confianza en la organización de que el equipo va a funcionar bien en el enfoque ágil, con el apoyo de esta? (SI = 1 / PROBABLEMENTE = 5 / NO = 10)
	Toma de decisiones del equipo	9	¿Se le dará autonomía al equipo para tomar sus propias decisiones locales para realizar los trabajos del proyecto? (SI = 1 / PROBABLEMENTE = 5 / NO = 10)
Proyecto	Complejidad	1	Estudio de la complejidad total en base a la complejidad estructural y la complejidad dinámica.
	Riesgo	6	Estudio del riesgo total en base al riesgo estructural y el riesgo dinámico
	Entrega	9	¿El proyecto debe entregarse por partes y rápidamente? (SI = 1 / PARCIAL = 5 / NO = 10)
Equipo	Tamaño del equipo	8	¿Cuál es el tamaño del equipo principal?. (1-9 = 1 / 10-20 = 2 / 21-30 = 3 / 31 - 45 = 4 / 46-60 = 5 / 61-80 = 6 / 81-110 = 7 / 111 - 150 = 8 / 151-200 = 9 / 201+ = 10)
	Niveles de experiencia	8	¿El equipo principal del proyecto es experto en ambiente de incertidumbre, gestión de cambios y gestión de crisis? (SI = 1 / PARCIAL = 5 / NO = 10)
	Acceso a los interesados	8	¿El equipo principal de proyecto tendrá acceso libre a los interesados? (SI = 1 / PARCIAL = 5 / NO = 10)

Imagen 7-14. Ejemplo de tabla de introducción de datos en la herramienta (Fuente: Autor)

La gráfica de la herramienta de idoneidad de enfoque se puede observar en la *imagen 7-15*.

Si se observan de manera conjunta las dos gráficas obtenidas para la EDAR de Marismas, la del [subcapítulo 7.1](#), *imagen 7-2* y la de la *imagen 7-15*, obtenida por inclusión de la complejidad y el riesgo en la herramienta, se puede observar que tanto el riesgo medio-alto como la complejidad alta, hacen variar el tipo de enfoque. En subcapítulo 7.1 se tenía un enfoque predictivo, sin embargo, el resultado obtenido con los nuevos parámetros conlleva un cambio de enfoque de predictivo a híbrido o incluso a ágil. Este cambio reconoce, por tanto, que los aspectos de I+D sobre nuevos procesos de depuración, y debido a estar en terrenos circundantes a un parque natural, que se comentó en dicho subcapítulo, están representados en esta reforma de la herramienta de idoneidad de enfoque.

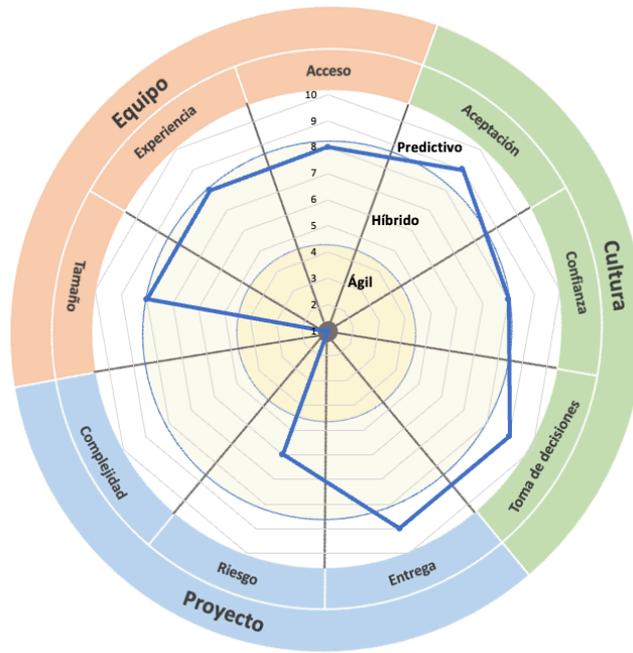


Imagen 7-15. Idoneidad de enfoque EDAR de Marismas (Fuente: Autor).

8. OPERACIONES DE MANTENIMIENTO DE LA PAZ DE LA ONU.

Este capítulo examina la historia de las operaciones de mantenimiento de la paz de la ONU y luego analiza algunas de las características del mandato actual que podrían ser comparables al concepto del programa.

8.1. Desarrollo histórico de las misiones de paz de la ONU.

Desde la fundación de las Naciones Unidas en 1945, las operaciones de mantenimiento de paz han demostrado ser una de las herramientas más eficaces a disposición del Consejo de Seguridad para ayudar a las naciones en conflicto a conseguir la paz (Woodhouse & Solá-martín, 2011).

La carta de las Naciones Unidas (NN.UU., 1945) estipula claramente la voluntad de la organización de tomar todas las medidas necesarias para mantener la paz. El artículo 1, el establece que el propósito de las Naciones Unidas es mantener la paz y la seguridad internacional. El artículo 2.3, también establece que los estados miembros resolverán las disputas internacionales por medios pacíficos.

Como actor principal en el orden internacional, el Consejo de Seguridad tiene la capacidad de imponer sanciones, pedir soluciones pacíficas y otras medidas coercitivas, y usar la fuerza para mantener la paz. El Artículo 33 (Solución de Controversias por Medios Pacíficos) es de particular interés porque prevé todos los medios pacíficos de solución, tanto diplomáticos como judiciales, y permite a las partes en controversia elegir el medio que estimen adecuado.

Desde 1948 hasta el colapso de la Unión Soviética, en el marco de la guerra fría, las misiones de paz siguieron las descritas en el capítulo 6 sobre resolución pacífica de conflictos, son las denominadas “misiones de 1ª Generación”. Su cometido principal, y casi único, ha sido intervenir en situaciones de conflicto (interestatales) en diferentes escenarios, como por ejemplo en Oriente Medio, Cachemira o Chipre (Añaños Meza, 2010).

El objetivo de estas primeras misiones era eliminar las hostilidades, asegurar que no hubiera combates y que el conflicto no se reiniciara posteriormente. Se trataba de misiones destinadas a promover la seguridad militar, a la espera de negociaciones que pudieran resolver disputas políticas y que no dieran lugar a nuevos combates. Las principales características de estas misiones eran el consentimiento de los beligerantes, la neutralidad e imparcialidad, y el uso de la fuerza únicamente en defensa propia (Añaños Meza, Op. Cit., p. 10), (Vega Fernández, 2010, pp. 59–62).

Estas primeras misiones resaltaban las diferencias entre lo emanado de la Asamblea General y lo dictado por el Consejo de Seguridad con respecto al compromiso de los diferentes países que participaban, las contribuciones económicas, y el despliegue en áreas de conflicto armado en curso. De igual forma, en esta primera fase se intentó establecer una fuerza permanente de mantenimiento de la paz, UNEF, que pudiera hacer frente a despliegues rápidos necesarios. El

establecimiento de esta fuerza no fue posible debido a la situación de bloques políticos de aquella época. Como alternativa, las principales potencias de entonces consideraron que el Consejo de Seguridad sería el responsable de ordenar el despliegue de las misiones de paz (Cardona Llorens, 2006, pp. 246–247).

Después del final de la Guerra fría en 1989, las operaciones de paz se intensificaron, debido a los conflictos que surgieron en la esfera de influencia de la antigua Unión Soviética y en países del tercer mundo. También aumenta la influencia de las Naciones Unidas, no sólo en la realización de operaciones de intervención de primera generación, sino también incluyendo otros aspectos, además del simple mantenimiento de la paz. Proteger los derechos humanos y crear condiciones favorables para transformar el conflicto en una verdadera paz positiva. Estas son las denominadas “operaciones de paz de 2ª generación” que incluyen misiones de seguridad y misiones de mantenimiento de la paz. Además, las misiones de 2ª generación, ya no sólo se despliegan en conflictos interestatales (UNIMOG, Misión de observación del Conflicto Irán-Irak o UNGOMAP, Misión de buenos oficios en Afganistán y Pakistán), sino también en conflictos internos (GANUPT para ayudar en el proceso de transición política de Namibia o la APRONUC en Camboya) (Cardona Llorens, Op. Cit., p. 248).

A principios de los años 90 del siglo pasado, se abordaron nuevos conflictos más directamente relacionados con dificultades debido a problemas humanitarios. En estos asuntos, el capítulo VI utilizado anteriormente era inadecuado. Dicho capítulo incluía la posibilidad de enviar una misión de paz en caso de amenazas, violación de la paz o acto de agresión, determinando el Consejo de Seguridad si esa amenaza podría ser real, según el artículo 39, y podría por tanto decidir las medidas, sin incluir el uso de fuerzas de interposición, que habrían de tomarse para hacer efectivas sus decisiones (artículo 41). Si estas medidas no fueran suficientes, dicho Consejo, podría ejercer medidas coercitivas con medios militares según lo indicado en los artículos 42 y 43 (Franke, 2006, p. 7).

Si el consejo de seguridad emite una resolución, es necesario verificar si esta se refiere a la posible aplicación del capítulo VII de la Carta, es decir, si se trata de criterios que derivarán en actuaciones coercitivas, llegando incluso al empleo de la fuerza armada. Al decidir autorizar el uso de la fuerza, se suele utilizar frases como, “se adoptarán todas las medidas necesarias”. Ejemplo de utilización de este tipo de paráfrasis ocurrió en la resolución 794 (S/RES/794, 1992), sobre el deterioro de la situación política en Somalia o la resolución 1973 (S/RES/1973, 2011) sobre la intervención militar en Libia en 2011. Esto no ocurrió en 2002, en la resolución 1441 (S/RES/1441, 2002) sobre la falta de cooperación de Irak con las investigaciones del equipo de la ONU sobre la posibilidad de existencia de armas de destrucción masiva. En este último caso, el Consejo de Seguridad reflejaba en la resolución que Irak se “expondría a graves consecuencias”.

En 1992, Boutros-Ghali, en aquel momento Secretario General de las Naciones Unidas, planteo una nueva visión para las operaciones de paz de la ONU. En su informe “Un programa para la

Paz” (Annan, 1995), indicaba que ya no debían requerir el consentimiento de las partes en una disputa, y además proponía la inclusión en las misiones de dos componentes: un componente civil centrado en tareas de ayuda humanitaria y reconstrucción de infraestructuras e instalaciones, y un componente militar centrado en la prevención de acciones violentas contra civiles y el aseguramiento de la llegada de ayuda humanitaria a la población. Este nuevo enfoque también establecía cuatro niveles de acción que las Naciones Unidas podrían utilizar: la diplomacia preventiva; el mantenimiento de la paz; el establecimiento de la paz, y la consolidación posconflicto (Añaños Meza, Op. Cit., p. 11).

En ese mismo año 1992, se estableció el Departamento de Operaciones de Mantenimiento de la Paz (DPKO) bajo la supervisión del Departamento de Operaciones de Paz (DPO, en inglés) para fortalecer la supervisión de las operaciones de mantenimiento de la paz. Además, la “Unidad de lecciones aprendidas”, conocida actualmente como “Unidad de mejores prácticas de Mantenimiento de la Paz, se estableció en 1995 para monitorear, documentar y evaluar las experiencias obtenidas durante las misiones de paz (Woodhouse et al, Op. Cit., p.32).

Se crearon las llamadas “operaciones de mantenimiento de la paz de 3ª Generación”. El motivo de su creación fue basar las mismas en el capítulo VII de la Carta Fundacional de las Naciones Unidas. Estas se desarrollarían en áreas donde no se hubieran firmado tratados de paz, priorizándose la asistencia humanitaria para garantizar la seguridad, retirando, utilizando la fuerza si fuera necesario, a los combatientes de aquellas zonas que se determinase como “zonas seguras para la población”. Para llevar a cabo dichas misiones, se dotarían a los miembros de dichas operaciones de paz de los medios ofensivos que fueran necesarios para llevar a cabo el mandato recibido (Díaz Barrado et al., 2006, pp. 130–153).

Estas nuevas directrices establecidas por las Naciones Unidas no fueron suficientes, bien por ser demasiado vagas en la aplicación del mandato, bien por razones geopolíticas a nivel regional o internacional, para frenar algunos de los conflictos más sangrientos de aquellos años: operación de paz UNAMIR en Ruanda en 1994 (asesinato de cientos de miles de personas de etnia Tutsi y Hutus moderados), o la misión de paz UNPROFOR en Bosnia-Herzegovina en 1995 (asesinato de miles de musulmanes en Srebrenica).

Teniendo en cuenta las consecuencias de estas misiones, el entonces secretario general Kofi Annan dio un paso atrás y en 1995 publicó el “Suplemento del programa para la Paz” con un enfoque previo al establecido por Boutros-Gali, es decir: el acuerdo de las partes, imparcialidad y uso de la fuerza sólo en casos de legítima defensa (Cardona Llorens, Op. Cit., p. 252), (Annan, Op. Cit.).

Años después del fracaso de las operaciones de mantenimiento de la paz en Bosnia y Ruanda y la publicación del suplemento, hubo un proceso de reflexión sobre como acometer las nuevas misiones y poderlas adaptar al nuevo entorno internacional, encontrando las deficiencias y estableciendo recomendaciones realistas. Como consecuencia de este proceso, se genera el “Informe Brahimi”, de extraordinaria importancia, donde se indicaba que las operaciones de paz

de la ONU deberían estar bien dotadas de recursos, equipadas de acuerdo con los peligros reales a los que pudieran enfrentarse, proyectando de manera viable, clara y convincente el mandato a desempeñar (Brahimi, 2000).

Antes de la aparición de este informe, la misión UNAMSIL para el mantenimiento de la paz en Liberia, estuvo a punto de naufragar, si no llega a ser por la intervención unilateral británica para estabilizar la situación, y el posterior redespiegue de las misiones de mantenimiento de la paz. El ejército británico reconoció posteriormente, que las misiones de 3ª generación no podían ser sostenibles, si no existía la voluntad clara de lograr la paz, no solo por medios diplomáticos y civiles, sino también por medios militares. Esta nueva visión de las operaciones de paz se denominó “Operaciones de apoyo a la paz” (PSO) (Ramsbotham et al., 2008, pp. 238–239).

Otro aspecto importante a destacar del “Informe Brahimi” es la motivación estratégica dada a las operaciones conjuntas de mantenimiento de la paz. Anteriormente, con el informe de “Un programa para la Paz” del secretario Boutros-Ghali se buscaba implementar operaciones de paz con un control más unificado sobre los medios y objetivos a alcanzar. Sin embargo, fue a raíz de la misión integrada de Kosovo en 1999 cuando se configuran las directrices del “Informe Brahimi” (Woodhouse et al, Op. Cit.)(Debuysere & Blockmans, 2019).

Tras el informe, la Secretaría de las Naciones Unidas siguió desarrollando reformas operativas. La más importante fue la llamada “Doctrina Capstone” (Aguado Arroyo, 2013). Dicha doctrina se basaba en principios básicos ya conocidos. Consentimiento requerido por las partes, e Imparcialidad, aunque no neutralidad, sin uso de la fuerza excepto en defensa propia. Además, consideraba aspectos interesantes como la orientación a la integración en los sistemas de seguridad y en la planificación, el énfasis en la inteligencia, el análisis geoestratégico y el control operativo exhaustivo de las tareas a realizar.

De este nuevo desarrollo, surge las llamadas “misiones de paz de 4ª generación” que deberían llevar a efecto las reflexiones emanadas por el tándem “Informe Brahimi / Doctrina Capstone”. Estas misiones requerían reglas de enfrentamiento claramente establecidas respecto del uso de la fuerza, especialmente para que los civiles pudieran estar protegidos. Deberían, asimismo, mostrar disuasión a las partes en conflicto y frente aquellas partes interesadas que quisieran torpedear el proceso de paz. Estas nuevas misiones trajeron, también, procesos de “renacionalización” y de establecimiento de misiones multinacionales que, sin estar bajo los mandatos directos de las Naciones Unidas, colaboraban en el establecimiento de la paz (Díaz Barrado et al., Op. Cit., pp. 155–156).

Ejemplos de operaciones de esta cuarta generación son MONUC/MONUSCO en la República Democrática del Congo y la misión de mantenimiento de la paz FINUL en el Líbano.

En 2003, se publicó el informe ZEID que establecía nuevos códigos de conducta y disciplina en los despliegues de tropas de mantenimiento de la paz, a fin de evitar incidentes con la población civil de tipo sexual, para llamar la atención de los países contribuyentes, en los que habían

participado con fuerzas armadas y policiales, argumentos que hoy en día siguen siendo esgrimidos para evitar la proyección de fuerzas de paz en zonas de conflicto (Zeid Al-Hussein, 2003).

Otro paso importante se dio en 2005, con la adopción del principio de “responsabilidad de proteger” del que ya se había hecho referencia con anterioridad (ICISS, 2001). Este principio combinaba tres conceptos: la prevención de conflictos, la protección de los civiles en los conflictos que pudieran ser objeto de posibles asesinatos y genocidios, y las tareas de reconstrucción.

El futuro de las misiones de mantenimiento de la paz de Naciones Unidas se concibió hacia un enfoque conjunto cívico-militar conocido como “misiones conjuntas”. Un informe publicado por el entonces secretario Kofi Annan en 2006 titulado “In large Freedom”, reconoció la falta de coordinación en las misiones a medida que esta pasaba de la fase inicial de mantenimiento a la fase final de consolidación, y cubría aspectos más amplios para conseguir eliminar situaciones inestables (A/59/2005, 2005).

La tarea de integración fue un buen ejemplo de los que se describen en el [Capítulo 2](#) de este trabajo de investigación, sobre los proyectos adaptativos. Es decir, misiones que combinaban múltiples componentes para realizar múltiples acciones, todas ellas con el mismo objetivo de estabilizar o crear un espacio de gobernanza.

En 2006, se estableció la Comisión de Consolidación de la Paz de las Naciones Unidas para reunir y coordinar los recursos necesarios, transfiriendo adecuadamente a los países que salían de un conflicto y desarrollando un proceso de consolidación de la paz. Lamentablemente, esta iniciativa, no recibió apoyo, ni estuvo a la altura de sus expectativas (Aguado Arroyo, Op. Cit., p. 9).

En 2009, se desarrolló y reformó un nuevo programa de cooperación denominado “Nuevo Horizonte” para las operaciones de mantenimiento de la paz. En este programa, los principales problemas, políticos y económicos, fueron evaluados. Este informe se dividía en tres partes: el primero indicaba la necesidad de establecer nuevas estrategias para alcanzar los objetivos que en ese momento estaban lanzados, para que estos pudieran ser terminados antes de finalizar 2015; en la segunda parte, se argumentaba que los estados miembros de las Naciones Unidas acordaran la creación de una comisión de consolidación de la paz, para poder potenciar este importante aspecto del tránsito del conflicto a la paz, y en tercer lugar se pedía el afianzamiento del estado de derecho, respetar los derechos humanos y establecer sistemas de gobierno comparables a los regímenes democráticos. También se pedía en las conclusiones, un rediseño de la Asamblea General y la creación de un Consejo de Seguridad más representativo (DPKO & DFS, 2010).

En 2014, el entonces Secretario General Kofi Annan autorizó una comisión independiente para informar sobre el estado de las operaciones de mantenimiento de la paz. En 2015, se publicó el

resultado denominado “Informe HIPPO” (High-Level Independent Peace Operations Council), que produjo un conjunto de recomendaciones para las tareas antes mencionadas, y que como elemento primordial, establecía un enfoque adaptativo para las misiones de paz con nuevas consignas. Estas conllevaban que las misiones estuvieran centradas en las personas, mecanismos de gestión de la misión, incluyendo estudios de riesgos, alertas tempranas mejoradas y con la necesaria flexibilidad para adaptarse a posibles cambios (Coning, 2018).

Un aspecto clave fue la mayor participación de las organizaciones y alianzas regionales en la realización de misiones multilaterales para el mantenimiento de la paz. En 2017, el 50% de las operaciones de paz estuvieron a cargo de estas organizaciones regionales. Las organizaciones africanas fueron responsables de siete misiones. La UE, la OTAN y la OSCE llevaron un total de 23 operaciones de mantenimiento de la paz, y en América, la OEA realizó una misión, al igual que el Foro de las Islas del Pacífico (van der Lijn, 2006).

En 2017, el Secretario general Antonio Guterres lanzó una nueva iniciativa de mantenimiento de la paz de Naciones Unidas, la iniciativa A4P (Action for Peacekeeping) que comprendía ocho sectores: mujer; paz y seguridad; protección; seguridad y autodefensa del personal de mantenimiento; desempeño y rendición de cuentas; construcción y sostenimiento de la paz; Asociaciones locales, y Dirección de operaciones de paz. Aunque obtuvo un fuerte apoyo en su presentación, aún está en fase de implantación (DPO, 2020).

Finalmente, se mencionarán los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), que llaman a la acción para reducir la pobreza, proteger el medio ambiente y mejorar sustancialmente la vida y perspectivas de las personas. Estos objetivos también existen para las misiones de mantenimiento de la paz (*Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible*, n.d.).

8.2. Características de las operaciones de mantenimiento de la paz.

Algunas de las características de las operaciones de mantenimiento de la paz que pueden ser útiles para analizar los factores de éxito de tales misiones se analizan a continuación. Los siguientes puntos se basan en el documento “Principios y Directrices para las Operaciones de Mantenimiento de la Paz de las Naciones Unidas” elaborado por el Departamento de Operaciones de Mantenimiento de la Paz (DPO) y el Departamento de Apoyo sobre el Terreno (DFS, en inglés) (DPO & DFS, 2008).

8.2.1. Sistema de paz y seguridad de las Naciones Unidas.

La “Doctrina Capstone” incluía el establecimiento de tres principios fundamentales de las operaciones de mantenimiento de la paz de las Naciones Unidas: cumplimiento del mandato y especialmente el consentimiento de las partes; Imparcialidad, y uso de la fuerza sólo en caso de defensa propia.

- **Consentimiento de las partes.**

En ese sentido, se consideró que la razón del éxito de una operación consistía en obtener un beneplácito de las partes en conflicto. Por ello, se estimó necesario dejar a un lado uno de los principios de las “operaciones de 3ª generación” y considerar lo indicado en el “Suplemento del programa de paz” del, entonces, Secretario General Annan, es decir, obtener el compromiso de las partes en conflicto para poder actuar sobre el terreno. (Annan, Op. Cit.).

Otros autores, como Ortega Villar, consideran que el consentimiento de las partes (todas) es fundamental para la operación, porque si no fuera así, podría considerarse coercitiva (Ortega Villar, 2018). Esto no quiere decir que podrían interrumpirse las operaciones de mantenimiento de la paz si una de las partes quisiera romper el acuerdo de consentimiento y, por tanto, el consentimiento debería estar más cerca del Capítulo VII de la Carta que del capítulo VI (Lijn, Op. Cit.), (Añaños Meza, Op. Cit.).

En este sentido, Añaños Meza se expresa argumentando que puede que ni siquiera sea posible buscar el consentimiento de las partes porque no existen poderes establecidos o no son accesibles para todas las partes (Añaños Meza, Op. Cit.).

- **Imparcialidad.**

Este principio no era, ni es, sinónimo de neutralidad y no implica el beneficio de ninguna de las partes en una disputa. El “Informe Brahimi” lo define como la conformidad a los principios de la Carta Fundacional de las Naciones Unidas y los objetivos de la misión derivados de ellos (van der Lijn, 2010a).

En este sentido, algunas ONG, que a menudo operan bajo la apariencia de misiones de mantenimiento de la paz, han expresado una visión más sesgada de su participación, tal como se desprende de la queja de Cedric Thornberry, director de asuntos civiles de la UNPROFOR (Bratt, 1999).

- **Uso de la fuerza en legítima defensa durante el desempeño del mandato.**

Este principio se ha manifestado prácticamente en todas las misiones de mantenimiento de la paz que se han desarrollado desde sus inicios, con algunas excepciones, siendo un imperativo para el personal de las misiones de paz durante su despliegue. El uso de la fuerza está muy justificado y debe tener, si es posible, por las circunstancias dadas, la aprobación del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas (Ortega Villar, 2018).

Sin embargo, las nuevas misiones representan un cambio cualitativo transitando de la actitud defensiva a la ofensiva para proteger las misiones establecidas, y a veces, defender al estado anfitrión (Peter, 2015).

Esto ha podido deberse a milicias, bandas criminales y otros tipos de saboteadores de los procesos de paz que han estado presentes y deambulan libremente en áreas no protegidas. En este caso, la presencia de una fuerza militar puede tener un efecto disuasorio.

En algunos casos, el uso de la fuerza no es un tema fácil para las Naciones Unidas y, por tanto, se siente más cómoda en operaciones donde la seguridad es proporcionada por terceros, por ejemplo, por organizaciones regionales, incluso si estos apoyan los mandatos que regulan dichas misiones desde la propia ONU (Peter, Op. Cit.).

Aunque esta tesis tiene como objetivo central relacionar enfoque, riesgos y éxito en un proyecto complejo como puede ser una misión de paz, resulta necesario poder diferenciar los cuatros pasos, a veces secuenciales, a veces paralelos o únicos, que forman parte de las operaciones de mantenimiento de la paz. Dichos pasos son: la prevención de conflictos, el establecimiento de la paz, la imposición de la paz y la consolidación de la paz (DPO & DFS, 2008).

- **Prevención de conflictos (Conflict Prevention).**

Esto incluye medidas estructurales o diplomáticas para evitar que los conflictos y las tensiones se conviertan en conflictos violentos. Su base es la de considerar aspectos estudiados en paralelo, como las señales de alerta temprana, recopilación de información y análisis de las causas del conflicto. Las acciones de prevención de conflictos incluyen, la aplicación preventiva y medidas del fomento de la confianza. Se comentará este aspecto más adelante puesto que es un aspecto importante a reseñar.

- **Pacificación (Peacemaking).**

Este paso se centra en las etapas del conflicto, e incluye procedimientos para resolver disputas mediante la acción diplomática, para llevar a las partes contrarias a un acuerdo negociado. El Secretario General de las Naciones Unidas, a petición del Consejo de Seguridad, o por iniciativa propia, puede proporcionar “buenos oficios” para facilitar las actividades de asentamiento. Otros constructores de paz también pueden incluir gobiernos, grupos nacionales u organizaciones regionales.

- **Aplicación de la paz (Peace Enforcement).**

Este paso incluye la adopción de medidas aprobadas por el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, incluido el uso de la fuerza militar. Estas acciones están dirigidas a restaurar la paz y la seguridad internacionales si el Consejo confirma la existencia de una amenaza declarada a la paz, o un acto real de agresión. La aplicación de la paz también incluye el uso de la fuerza, pero sólo a nivel geoestratégico o internacional.

- **Mantenimiento de la paz (Peacekeeping).**

Es un paso diseñado para mantener la paz donde han terminado los combates y ayudar en la implementación de los acuerdos realizados por las operaciones de mantenimiento de la paz. La naturaleza diversa del conflicto requiere que las fuerzas armadas amplíen sus operaciones de campo de misiones militares “tradicionales” a misiones militares complejas, del tipo multidimensional, que integren la vigilancia de los derechos humanos, el desarme de las partes en conflicto, desmovilización y, a veces, reforma de los sistemas de seguridad.

Según se especifique en el mandato, cada operación de paz tiene objetivos distintos, pero todas ellas comparten el mismo objetivo de fortalecer los derechos humanos y construir instituciones para una paz duradera. Dependiendo de los objetivos de la misión, las operaciones de mantenimiento de la paz pueden tener como objetivo:

- Estabilizar áreas de conflicto, después de un alto el fuego y facilitar las negociaciones para un acuerdo de paz.
- La implementación de los acuerdos de paz.
- Evitar que los conflictos estallen y se extiendan por otros países.
- Ayudar a las naciones en la transición hacia un gobierno estable basado en una buena gobernanza, el desarrollo económico y los principios democráticos.

Una misión de paz fuerte significa utilizar la fuerza, a nivel táctico, autorizado por las partes principales del conflicto y el gobierno anfitrión, si lo hubiere, para defender a los miembros de la misión de paz y el cumplimiento de su mandato.

- **Construcción de la paz (Peacebuilding).**

En este paso se incluye tomar medidas para reducir el riesgo de recaída o recurrencia del conflicto mediante el fortalecimiento de la capacidad de los Estados en todos los niveles para gestionarlo y sentar las bases para la paz y el desarrollo sostenible. La consolidación de la paz funciona abordando las causas estructurales de los conflictos violentos de manera holística y fortaleciendo la capacidad de los estados para llevar a cabo la gobernanza de manera efectiva.

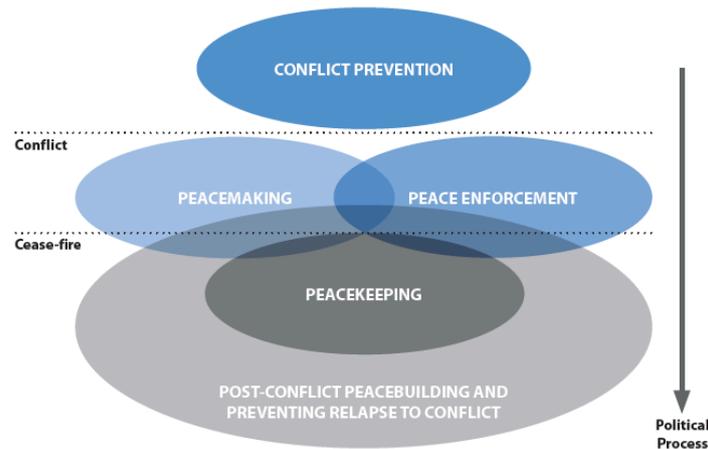


Imagen 8-1. Diferentes tipos de misiones (Fuente: ONU).

Como se puede observar en la *imagen 8-1*, además de la prevención de conflictos, otro tipo de tareas tienen ramificaciones limitadas, especialmente en el período posterior al conflicto.

Las fuerzas de mantenimiento de la paz de las Naciones Unidas se despliegan inicialmente para ayudar a implementar ceses del fuego o acuerdos de paz, pero por lo general desempeñan un papel activo en los esfuerzos para mantener la paz y en las primeras operaciones de consolidación de la paz. Otras organizaciones y países pueden, entonces, participar sobre todo aquellos países que comparten fronteras y patrocinadores, en general todos los interesados en la instauración de la paz. Se puede observar en la *imagen 8-2*:

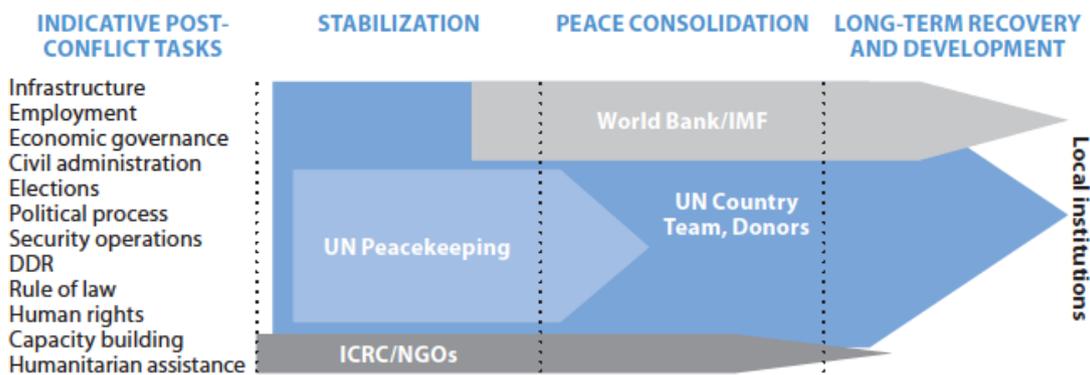


Imagen 8-2. Participación externa en las fases de operaciones de paz de la ONU¹² (Fuente: ONU).

8.2.2. Alerta temprana y los conflictos sociales persistentes de Azar.

Es importante establecer los requisitos previos para que los proyectos, y las misiones de paz satisfagan a la mayoría de las partes interesadas, incluidos los residentes de las zonas de

¹² DDR: Disarmament, Demobilization and Reintegration.
IMF: International Monetary Fund.

conflicto, las partes y los vecinos de la región, y las organizaciones nacionales, regionales e internacionales.

Un aspecto interesante del estudio de un probable conflicto es lo que, Edward Azar, llamó conflicto social persistente (CSP), refiriéndose sobre todo a los conflictos que podrían darse intraestatalmente (Ramsbotham et al., 2008, pp. 158–161).

Azar, en su estudio, determinó la existencia de cuatro elementos a estudiar. En primer lugar, lo que Azar llamó “contenido comunitario” refiriéndose con este término al análisis de situaciones contenidas, en lo que Maslow denominó identificación a un grupo, ya sea este racial, religioso o étnico en su famosa pirámide de necesidades (Gámez, 2019).

En segundo lugar, Azar define la privación de la suficiencia de las necesidades humanas, que Maslow define como seguridad y autorrealización. Es decir, se cubren las necesidades de seguridad física, recursos, propiedad y participación política.

En tercer lugar, Azar cree que la interrelación entre individuo y la administración del Estado es fundamental. El conflicto social puede surgir cuando las personas sienten que esa administración no satisface sus necesidades y/o identidades personales. En ese caso, el conflicto social puede producirse.

Finalmente, Azar argumenta que las relaciones internacionales o las afiliaciones con grupos internacionales pueden confundir puntos previos que podrían generar conflictos. La inmigración, las exportaciones de armas y las relaciones con los países del entorno pueden causar problemas internos. Estos CPS pueden estar ocultos durante mucho tiempo y como se mencionó en el apartado anterior, se necesita poder monitorearlos para actuar rápidamente, y evitar que se materialicen en posibles conflictos (Gromes, 2019).

De resultados de este análisis, existen dos objetivos que deben ser llevados a cabo por los organismos internacionales. En primer lugar, identificar los tipos de conflictos cuya probabilidad de inicio sea alta, y determinar qué tipos de conflictos son propensos a volverse violentos, y en segundo lugar, encontrar un conjunto de indicadores que puedan ser tenidos en cuenta a la hora de analizar la posibilidad de un conflicto. Ramsbotham da ejemplos del trabajo que está haciendo el Banco Mundial para desarrollar un conjunto de indicadores económicos que clasifican el riesgo de conflicto. El principal problema de este tipo de indicadores, no obstante, es que son muy específicos y pueden enmascarar otros riesgos potenciales (Ramsbotham et al., 2008, p. 199).

Sería difícil para una organización como las Naciones Unidas, llevar a cabo su misión de investigación, más que de inteligencia, sin la ayuda de otros organismos nacionales e internacionales. Sin embargo, para operaciones de paz complejas, el “Informe Brahimi” establece que se deben desplegar operaciones de inteligencia sobre el terreno para contrarrestar los posibles delitos de quienes interfieren en el proceso de paz. Este es un elemento complementario al carácter integrador del proceso de paz, y también en la gestión de proyectos (Brahimi, 2000).

8.2.3. Enfoque integrado en las misiones de paz.

Como se mencionó anteriormente, la operación de mantenimiento de la paz en Kosovo (UNMIK) fue la primera misión integral en la historia de las Naciones Unidas. La misión no sólo garantizó la seguridad, sino que también desplegó una fuerza policial internacional, restaurando un gobierno básico en términos de administración y servicios, que se ocupó del retorno de los refugiados y dirigió el proceso de la celebración de elecciones para el establecimiento de nuevos gobiernos. Esta misión continúa, hoy en día, con operaciones en la región (Iglesias Velasco, 2002).

Desde entonces, varias misiones de este tipo se han llevado a cabo desde que “Un programa para la paz” vio la luz en 1992. Como resultado, se crearon, además, el Departamento de Operaciones de Mantenimiento de la Paz (DPKO) y el Departamento de Asuntos Políticos (DPA) como resultado de aquellos primeros intentos de realización de misiones integradas.

Adicionalmente, al documento de “Un programa para la Paz”, el “informe Brahimi” recomendó en su informe, que todas las instituciones, programas, organizaciones y fundaciones trabajaran conjuntamente y que compartieran recursos de una manera más integrada (Brahimi, 2000, p. 62).

La idea general de este informe subyace en la caracterización principal en la gestión de un proyecto, y en el capítulo 2 se explicó que, se requiere esfuerzo para integrar todos los elementos específicos para lograr algo en común (Salamá, 2016).

Esta estructura de cooperación para crear una misión integrada, ya recomendada en el “Informe Brahimi”, tiene como resultado la creación de un único gestor, representante del Secretario General de las Naciones Unidas en la zona de despliegue. Este único gestor es el DSRSG (Deputy Special Representative of the Secretary General), en lugar de actuar con dos gestores, el RC (Resident Coordinator) y el HC (Humanitarian Coordinator) (Debuysere & Blockmans, 2019, p. 249).

Un nuevo impulso para un enfoque integrado de las misiones de mantenimiento de la paz se dio a través de un informe de expertos independientes, denominado “informe HIPPO¹³” en 2015, en el que se insistía en la visión integral de las misiones de paz y que además consideró integrar la planificación, los estudios y análisis del conflicto y las alertas tempranas para poder garantizar una respuesta más flexible y adaptativa a cambios complejos que ocurren sobre el terreno e involucrando a la población local para resolver conflictos emergentes (Ramos-Horta, 2015, paras. 243, 263, 305 y 320).

En este nuevo ambiente, las Naciones Unidas, reestructuraron sus sistemas de gestión, pasando el DPKO a denominarse DPO (Department of Peace Operations), el DPA pasó a denominarse

¹³ High-Level Panel on Peace Operations

DPPA (Department of Peacebuilding and Political Affairs) y el DFS se reestructuró pasando a denominarse DOS (Department of Operational Support). (Debuysere & Blockmans, 2019, p. 249).

Finalmente, como parte de la “Iniciativa A4P”, las Naciones Unidas lanzaron el Sistema Integral de Planificación y Evaluación del Desempeño (CPAS) como la primera herramienta integral para vincular situaciones nacionales con planes de misión, datos, resultados e informes de desempeño de las misiones. Es decir, una herramienta que no sólo integraba alertas tempranas, sino también desempeño de la misión de paz y resultados obtenidos. CPAS comenzó con la misión MINUSCA en 2018 y se irá implementando paulatinamente a todas las misiones de paz de las Naciones Unidas a lo largo del trienio 2018 – 2021. Los objetivos de CPAS son: fortalecer la toma de decisiones estratégicas; adaptar el enfoque de la misión de paz teniendo como centro a las personas, y coordinar, de forma integrada, todos los elementos que forman parte de la misión de paz (DPO, 2019).

A pesar de que los resultados están siendo alentadores, es necesario abordar los problemas causados por tareas de alto riesgo, ya que la actuación coordinada de varias agencias puede ser complicada porque no siempre los intereses son convergentes. Además, la integración tiene como objetivo la eficiencia en los recursos y la consistencia de las intervenciones. Esto puede restar contribución de los actores locales. El CPAS busca, además, la adaptación de la misión de paz al entorno del conflicto, y como consecuencia, es importante que los objetivos de la integración respondan a los requerimientos de los interesados a los que tiene que ayudar.

8.2.4. Componentes civiles y militares de las operaciones de paz.

En la década de los 90 del siglo XX, se expuso anteriormente que los problemas humanitarios y de seguridad que enfrentaban ciertas áreas donde se desplegaron operaciones de mantenimiento de la paz estaban relacionados. Para abordar esta situación, se ha indicado que la postura de las Naciones Unidas evolucionó hasta plantear que las operaciones de mantenimiento de la paz fueran integradas. De esta manera, todas las agencias de la ONU y organizaciones externas a ella trabajarían conjuntamente para establecer la paz. El propio informe HIPPO introdujo la participación de la sociedad civil y los civiles en estructuras de misión integradas con fuerzas de seguridad y militares (Maekawa et al., 2019).

Desde 1999 se ha determinado que las operaciones de paz requieren de un componente civil que permita crear las herramientas necesarias para el desarrollo y reconstrucción de la zona afectada en labores de construcción de la paz (Mitchum, 1999).

Para esta labor de integración, es necesario asegurarse de que esta visión holística tenga todos los elementos necesarios: mandatos claros en sus objetivos tanto militares como civiles; elementos legales; secciones de control y desarrollo económico, y gestión, tanto táctica como estratégica, de despliegue, en el que se incluyan aspectos logísticos, de seguridad, manutención, etc... que dependen tanto de componente civil como de componente militar (Jarillo, 2013a).

La colaboración entre las componentes civil y militar, su cooperación en misiones integrales debería ser total, sabiendo ambos, que el objetivo, descrito por el mandato, es único y largo en el tiempo, pero necesario para establecer y construir un ambiente propicio en la zona de conflicto. Habitualmente la componente civil suele pertenecer a las Naciones Unidas o a agencias colaboradoras, ya sean regionales o de carácter internacional. La componente militar, suele ir rotando, dependiendo de los países que donan tropas. Por tanto, cada misión tiene elementos diferentes, por lo que es primordial establecer entre dichos componentes una comunicación directa y abierta y saber “quién está haciendo qué” (Jarillo, 2013b).

Pero a pesar de reconocer el gran potencial de cooperación entre ambos componentes, estas actividades conjuntas cívico-militar se enfrentan a una serie de desafíos. El primero, y el más importante es la diferencia cultural y la percepción de la misión, con el componente militar enfatizando el mando y control y las líneas de autoridad, y el componente civil enfatizando los procesos de apoyo a la población, a las estructuras de gobernanza y de reconstrucción. El segundo, es que las diferencias en la estructura organizativa y de operaciones son claramente opuestas entre el componente militar, donde prima la verticalidad y la jerarquía, y la componente civil donde prima la horizontalidad y el orden distributivo. Por tanto, ambos componentes tienen ritmos de trabajo y de contribución muy diferentes. Por último, la diferencia, también, entre los principios operacionales y los fundamentos legales. Mientras que la componente militar persigue objetivos políticos nacionales más que internacionales, la componente civil prima el recabar la inclusión de cuantos más elementos internacionales se pueda, mejor irá la misión (Franke, 2006, pp. 12–18).

En este sentido, se debe enfatizar la importancia de estas tareas integradas y su implementación por parte de fuerzas multinacionales, destacando el análisis de las diferencias culturales y los problemas entre los componentes civil y militar. Por ello, el estudio de los conflictos culturales, debería ser un elemento importante en la formación de todos los miembros de las misiones de paz. Existen puntos de conflicto que deberían ser estudiados cuidadosamente, Durán y Ávalos, consideran que estos puntos de conflicto podrían ser: la gestión de la corrupción; la visión del género como un elemento conjunto; la legitimidad de la misión y su relación con el entorno; el “Storytelling¹⁴”, y el honor entendido como el cumplimiento de los deberes requeridos (Duran & Avalos, 2016).

8.2.5. Inicio, implantación y despliegue de las misiones de paz.

La decisión de llevar a cabo operaciones de mantenimiento de la paz recae en el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas. Según la gravedad de la crisis a la que se enfrenta, existen

¹⁴ Anglicismo que se utiliza en gestión de proyectos, como proceso de creación de una “historia” o “cuento”, que se transmite de forma sencilla, creíble y veraz sobre los objetivos de una organización, una misión o un proyecto.

herramientas, indicadas anteriormente, en los capítulos VI y VII de la carta fundacional. Los factores estudiados para determinar el establecimiento de misiones de paz se indican de forma resumida a continuación (DPO & DFS, 2008, pp. 47–48):

- La existencia de una situación que pueda poner en peligro o amenazar la paz y la seguridad internacionales.
- Disponer de organizaciones locales y regionales que puedan hacer frente a la situación de conflicto creadas.
- Si puede cesar el conflicto y existe la posibilidad de conversaciones de paz.
- Cuando hay un objetivo claro que se pueda reflejar en la misión.
- Si se puede garantizar la seguridad de los miembros de la operación de mantenimiento de la paz durante el despliegue y la estancia en la zona de conflicto.

Si se determina que la implementación requiere de una revisión, se realiza una evaluación estratégica de la situación que implica una planificación previa, a menudo denominada “revisión de alto nivel”. Si realizado dicho estudio se determina seguir adelante, el Secretario General de las Naciones Unidas tendría la facultad de poder enviar una misión de reconocimiento y evaluación técnica, denominada TAM (Technical Assessment Mission) al área de conflicto. Esta misión consistiría en evaluar la situación política, humanitaria y militar sobre el terreno. Para su análisis “in situ” o posterior se utilizan grupos específicos que realizan informes directos al Secretario General. Estos informes incorporan estudios de recursos y medios necesarios, en alto nivel, y servirán para tomar decisiones en el Consejo de Seguridad que debe aprobar la operación de mantenimiento de la paz.

Además, se pueden tener en cuenta otros factores igualmente importantes (DPO & DFS, 2008, p. 50):

- La propensión de las partes en conflicto a resolver la disputa.
- Compromiso de los actores locales para apoyar la resolución del conflicto.
- Apoyo del Consejo de Seguridad y posiciones de sus miembros ante el conflicto.
- Conseguir los recursos necesarios entre los países que quieran contribuir.
- Tener claros los objetivos de la misión de paz y proponer hitos alcanzables con los recursos disponibles.

Si se adopta una resolución de despliegue de una operación de mantenimiento de la paz, lo primero que debe disponerse es del mandato aprobado por el Consejo de Seguridad. A partir de aquí, la implementación continúa con varias fases generales (DPO & DFS, 2008, pp. 61–65):

- Elaboración de estrategias y tácticas de despliegue.
- Comienzo de la misión de paz.
- Ejecución de los hitos establecidos en el mandato y estudios estratégicos y tácticos.
- Transferencia a las autoridades legalmente establecidas, o en una autoridad consensuada entre las partes. Esta transferencia implica el traspaso del poder establecido, la retirada de los componentes de la misión y la finalización de la misión.

Estas etapas son secuenciales, ver *imagen 8-3*, pero pueden intercalarse según el progreso de la misión de paz. Estas etapas principales se desglosarán en procesos más concretos tal como se indica a continuación (DPO & DFS, Op. Cit.):

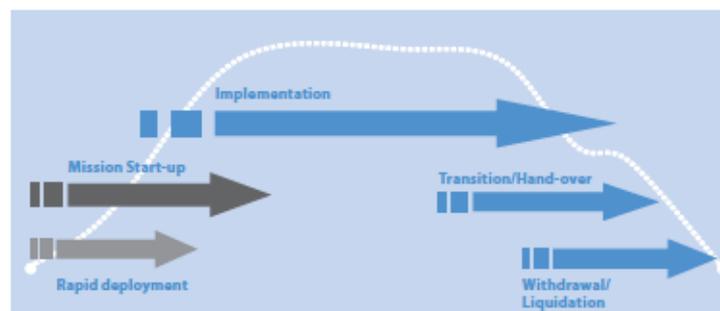


Imagen 8-3. Composición de las misiones de mantenimiento de paz (Fuente: ONU).

- Análisis estratégico e investigación de tácticas. Esto incluye visitas previas a países que prestan servicios militares y policiales para validar su formación y adiestramiento. Una vez superada esta fase previa, se firman acuerdos con los países contribuyentes, presentándose los contratos de los servicios a realizar.
- Despliegue rápido, enviando una pequeña vanguardia para reconocimiento del terreno e implantación de sedes. Reuniones con los interesados.
- Despliegue general de todos los medios de la misión de paz.
- Enlace con la gobernanza de la zona en conflicto para establecer las comunicaciones necesarias. En caso de no lograrlo, sustituir por otras de reconocido prestigio y con reconocimiento de los interesados.

Como en todo proyecto, el liderazgo, la gestión, la capacidad de comunicación y los conocimientos técnicos son fundamentales para llevar a cabo la misión que se encomienda. Dado que el mantenimiento de la paz es una misión multifacética, multisectorial, integrada y adaptativa, también es importante tener claridad sobre la gestión de los recursos, las comunicaciones y sobre todo, la gestión de los interesados, como puede verse en la *imagen 8-4*.

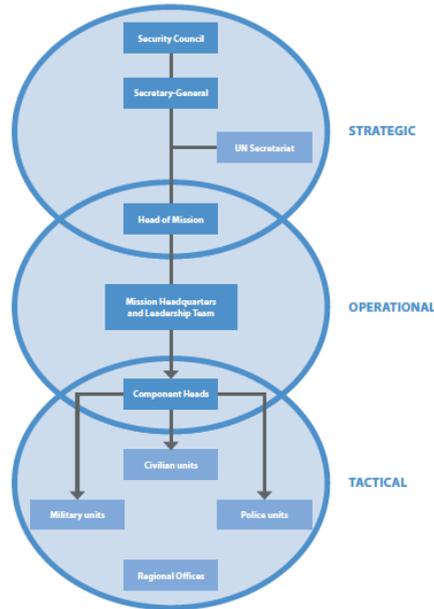


Imagen 8-4. Autoridad, mando y control multidimensional en Operaciones de paz (Fuente: ONU).

Al igual que con otros tipos de proyectos, los líderes de la misión tienen diferentes esferas de influencia, grupos de interesados, múltiples colaboradores externos y recursos que gestionar tanto en la zona de despliegue como en diferentes ámbitos regionales e internacionales. En la imagen 8-5, puede verse la semejanza, como no podía ser de otra manera, entre un jefe de misión de paz y un jefe de proyecto general.

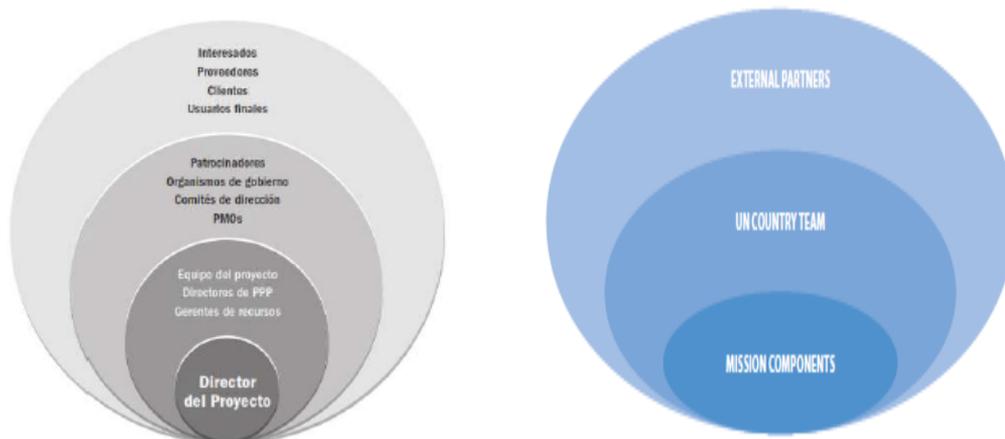


Imagen 8-5. Similitudes en el alcance de la influencia entre directores de proyectos y directores de misiones de paz (Fuentes: PMI, ONU).

9. ÉXITO EN UNA MISIÓN DE PAZ.

Para poder medir el éxito de una misión de paz, después de revisar el estado del arte, se seleccionará la herramienta desarrollada por NUPI ya que, no solo define las dimensiones de evaluación, sino que también establece pautas sobre cómo examinar cada una de ellas. Además, podría aplicarse para calificar el progreso durante la implementación de la OMP, lo que permitiría retroalimentar a sus actores involucrados.

Tal como se desarrollará en este capítulo, el concepto de éxito en una misión de paz no es un concepto claro, no existiendo, como se verá, una aceptación generalizada sobre cuáles son los parámetros que deben de incluirse en el estudio para determinar el éxito de una misión de paz.

9.1. Enfoque y complejidad en una misión de paz.

En el [capítulo 4](#) se abordaron aspectos teóricos de la complejidad y de los proyectos complejos. Se indicó que un sistema es complejo, es una multirred en coevolución. Russell y Norvig denominan agentes a los nodos que componen las redes de los sistemas complejos. Lo denominan así dado que dotan de inteligencia a dichas partes, pudiendo demostrar sensibilidad al conocer e interactuar con su entorno. Asimismo, pueden crear o combinarse con otros agentes para producir nuevos agentes o interrelaciones entre ellos (Russell & Norvig, 2004, pp. 36–57).

En esta tesis, cada interesado es un agente. Ejemplos de interesados pueden ser el “Ejército Blanco de Nuer” en Sudán del Sur, los miembros de la misión de paz en Sudán del Sur, el jefe un poblado en las cercanías de Kibu (RDC), el gobierno de Ruanda o el un elemento del crimen organizado en Haití. No importa si es un país, una organización o un individuo. Su propiedad más importante será el poder de interacción con otros agentes que forman parte del sistema complejo, en este caso la región en conflicto.

Algunas características de los sistemas complejos son aplicables a los conflictos que se tienen que enfrentar las misiones de paz, como la gran sensibilidad a las condiciones iniciales que deberían estudiarse exhaustivamente. Otro aspecto importante de los sistemas complejos es que no son lineales, por lo que los resultados pueden ser producidos por la interacción entre agentes de nueva creación, los ya existentes, y otros que estén fuera del sistema establecido pudiendo aumentar o disminuir la resiliencia del sistema a cambios no previstos. Finalmente, se indicó que la autoorganización es una característica interesante de estudiar dado que puede concurrir con los agentes establecidos o con nuevos agentes que puedan ser creados dentro o fuera del sistema

La investigación sobre sostenibilidad es un requisito previo clave, ya que algunos países tienen características que los hacen deslizar hacia el conflicto, mientras que otros en situaciones similares o peores pueden mantener cierto equilibrio, aunque sea inestable (Menkhaus, 2013).

Este hecho puede ser definido dentro del estudio que se realice en el FTA correspondiente a definición de riesgo principal de un conflicto.

En la década de los años 90 del siglo pasado, Homer Dixon, uno de los primeros investigadores en utilizar la teoría de la complejidad en ciencias sociales y en tecnología, relacionó aquella con el conflicto y el entorno donde se puede producir, mostrando que muchos conflictos son el resultado de la coevolución¹⁵ entre conflicto, entorno y medio ambiente (Homer-Dixon, 1991).

9.1.1. Complejidad y conflicto.

Algunos autores argumentan que la complejidad tiene un gran potencial para estudiar el conflicto internacional (Coleman et al., 2006), (Coning, 2019a), (de Carvalho & Aune, 2010), (Hendrick, 2009) o (Hopmann, 1998). Aunque estos estudios son relativamente recientes y se está avanzando hacia la comprensión de sus causas y efectos, como señala Hendrick, las conclusiones no son unánimes en cuanto a los resultados obtenidos.

Algunos autores sostienen que las teorías de los sistemas secuenciales y estructurados (por ejemplo, en Torrón Durán, Op. Cit.), no dan respuesta a los nuevos conflictos entre múltiples actores por la gran cantidad de interrelaciones, y que las teorías no abordan convenientemente el tratamiento de la emergencia en los sistemas complejos.

La teoría de sistemas actual tampoco tiene en cuenta las consecuencias de la coevolución, definiendo, como suma de simples efectos causales unidimensionales, las múltiples intersecciones que ocurren entre los actores de un sistema complejo, en este caso social, donde existen causas de violencia interpersonal, violencia étnica y violencia de género entrelazadas (Walby, 2003).

Las nuevas teorías surgidas del estudio de sistemas complejos no sólo pueden explicar nuevos conflictos multiagente, sino que también son muy útiles para hacernos entender las políticas de intervención de organizaciones y países externos al conflicto en la reconstrucción que se realiza en la fase de consolidación de la paz. Samir Rihani (Op. Cit.), después de realizar estudios sobre muchas políticas de desarrollo, incluidas las de integración, encuentra que se desperdician demasiados recursos, y que estos procesos suelen ser incontrolables, o funcionan solo “en beneficio” de contratistas o ciertos interesados del país en conflicto, sin aportar soluciones a las necesidades de la población civil de la zona del conflicto (de Waal, 2009).

Cabe destacar, en este punto, que hasta 2012, las misiones de consolidación de la paz se consideraban únicamente misiones técnicas y de programación. Esto podría permitir enmascar los conflictos con los recursos que podrían regar la zona del conflicto. Este tipo de tareas han ido

¹⁵ En el [subcapítulo 4.5](#) se trató la coevolución como la adaptación evolutiva de dos o más elementos en una multirred. En otras disciplinas tiene un significado parecido. Así en biología, se define como la adaptación evolutiva de dos especies. En inteligencia artificial se refiere a la evolución de agentes en redes neuronales (Coevolutionary Computation, Jan Paredis, 1995).

evolucionando paulatinamente hacia un concepto de gestión más política que tienen en cuenta a los actores locales (Coning, 2018).

También en el dominio militar, reflejando el entorno complejo e incierto que surgió después del final de la Guerra Fría, la teoría de la complejidad se incorporó al concepto VUCA, donde se establecían las múltiples amenazas en paralelo, y la imposibilidad certera de realizar análisis confiables sobre posibles conflictos y sus consecuencias utilizando la teoría de sistemas clásica (N. Bennett & Lemoine, 2014).

Debe enfatizarse que el manejo de conflictos de forma dinámica debe tener una naturaleza multidisciplinar, y la complejidad del sistema significa que debe ser capaz de reaccionar a los nuevos resultados a medida que se presenten, con los obtenidos antes de aparecer. Esto es lo que enfatiza Hendrick sobre el trabajo de Julie Klein que realizó de acuerdo con la “transdisciplinariedad” (Hendrick, 2009, pp. 21–22).

Según Harrison y Singer, el entorno también influye en la complejidad de dos maneras heterogéneas. La primera es que el entorno restringe y manipula la “selección natural” de los actores que influyen o pueden influir en el conflicto, y la segunda se basa en el concepto ya descrito anteriormente de la coevolución, en este caso entre actores y entorno (N. E. Harrison & Singer, 2006).

En resumen, en el campo de la teoría de la complejidad, algunas contradicciones que la teoría clásica de sistemas llama irresolubles, pasan a ser complejidades con su propia definición, cientos de factores que influyen, con las contradicciones que conllevan tanto ellas mismas como su interrelación con otras y esto requiere nuevas especialidades en el análisis y, sugiere, además, que el análisis de estos conflictos complejos, por sí mismo, ya es complejo, multidisciplinario, y no tiene límites claros, no tiene un objetivo único, y debe proceder del interior de los actores en conflicto sin mezclar decisiones de organizaciones o países externos al conflicto (Wils, O., Hopp, U., Ropers, N., Vimalarajah, L., Zunzer, 2006).

Otro detalle adicional sobre los conflictos complejos y la teoría de la complejidad a considerar en esta sección es que el aumento o disminución de la complejidad puede ser dinámico, es decir, dependiente del tiempo. Recientemente, se han desarrollado situaciones con dinámicas no lineales, muy rápidas y con comportamientos novedosos que no habían sido tratados anteriormente en los análisis con la teoría de sistemas clásica: Conflictos interétnicos en Sudán del Sur en 2013; Disturbios en Yemen y Siria, y la persecución de los Rohingya en Myanmar son unos de los muchos ejemplos que se dan (H. F. Johnson, 2016).

9.1.2. Atractores extraños en los conflictos complejos.

Un concepto clave en la teoría del conflicto es el de la retroalimentación del conflicto. La retroalimentación del conflicto relacionada con la autorregulación del conflicto puede ser negativa, es decir, interacción entre las partes involucradas pueden ayudar a rebajar el conflicto o bien puede ser positiva, es decir, que las interacciones pueden aumentar la gravedad del

conflicto. A menudo estas retroalimentaciones negativas o positivas se las denomina “desescalada o escalada” de un conflicto. Por ejemplo, la pobreza, la opresión de ciertos grupos étnicos y la mala gobernanza pueden actuar escalando el conflicto hacia situaciones que pueden ser difícilmente solucionables, o bien, por el contrario, una desmilitarización en una zona de conflicto, el aumento de la seguridad de la población civil o una mejora en la gobernanza, pueden generar una desescalada que estabilice el conflicto o bien pueda ralentizar su desarrollo (Cilliers, 2021).

Otro concepto transferido de la teoría de la complejidad dinámica, y del caos, es el concepto de “atractor” que ya se definió en el [capítulo 4](#). En un sistema caótico, como caso extremo de un sistema complejo, los datos obtenidos de un sistema determinista, al cambiar las condiciones iniciales, pueden parecer completamente aleatorios, pero muchos experimentos que se realizan en la ciencia y en la técnica, parecen converger en una región determinada, en lugar de un solo punto. A estas regiones determinadas se las conoce como *atractores extraños* o *atractores gravitacionales*, descubiertos por Lorenz. Algunos atractores tienen un potencial mayor que otros. A este potencial se le denomina “profundidad de cuenca” a semejanza de la profundidad de la cuenca de un río. Así, algunos ríos tienen cuencas muy profundas que requiera mucho esfuerzo para salir de ellas, otros atractores, sin embargo, tienen una cuenca sin prácticamente profundidad pudiendo salir de ellas sin dificultad (Sancho Caparrini, 2020).

Los conflictos complejos también generan atractores que, a priori, parecen ser estables en el conflicto, con una profundidad directamente al nivel de conflictividad que se tenga. Para que el conflicto pueda resolverse es necesario “gastar” una energía de acción, desestabilizando la fuerza del atractor. A veces, un conflicto puede parecer irresoluble, sin embargo, este se encuentra inmerso en profundos atractores. Para poder aplicar una energía de acción, es necesario conocer la causa de por qué se encuentra en ese atractor, conocer la profundidad, y su potencial, y también es necesario conocer las acciones que se deben realizar para que el conflicto pase de la no resolución, en el momento antes de actuar, al de resolución. Si se observa la *imagen 9-1*, se tiene un conflicto que tiene dos atractores estables A y B. Como se puede observar, el atractor B es más profundo (el conflicto es mayor) que el atractor A. La bola negra representa el estado actual en el que se encuentra el conflicto, al que se le está aplicando una energía de acción para llevarlo desde el atractor B hasta el atractor A, quizás de esta manera se esté resolviendo algún o algunos problemas y esa o esas resoluciones puedan mejorar la situación del conflicto (Willy et al., 2003).

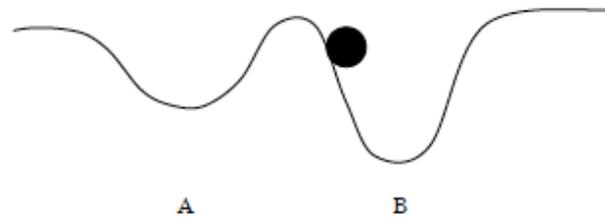


Imagen 9-1. Atractores en un conflicto complejo (Fuente: Willy et al)

Si se observa la imagen anterior, se puede determinar que es un perfil de un específico paisaje de aptitud, descrito por Wright en la *imagen 4-13*.

Un ejemplo de atractor puede ser un elemento identitario en el conflicto de Irlanda del Norte, donde se está fuertemente identificado con ser católico (republicano irlandés) o ser protestante (unionista).

Una característica adicional del concepto de atractor se refleja en los “picos” que separan los atractores A y B de la figura anterior. Es lo que, en teoría de complejidad, se denomina “umbral de cambio”, una zona donde con una pequeña energía de acción se produce un cambio significativo en un conflicto. Este umbral de cambio puede producir una escalada hacia una mayor gravedad o una desescalada hacia una resolución del conflicto (Management & 2001, 2001).

Un ejemplo puede ser lo ocurrido en Bosnia en 1995, donde a raíz de la guerra declarada entre musulmanes bosnios y la minoría serbia de Bosnia, debido al intento de convertir la antigua región yugoslava en un estado libre (musulmanes bosnios) y la pretensión de los bosnio – serbios en unirse a Serbia, se fue generando un odio exacerbado entre ambas etnias, que acabó con el asesinato de más de 8.000 bosnios musulmanes a manos de los serbobosnios en Srebrenica. El umbral del cambio hacia el genocidio fue la decisión del gobierno holandés de retirar la orden de actuar contra los serbobosnios a las tropas holandesas en la zona. En dos semanas se produjo el genocidio. Un umbral de cambio hacia la desescalada fueron los juicios contra los máximos responsables de las matanzas entre 2008 – 2011 y los acuerdos de Dayton en 1995. (N. et al Harrison, 2006).

A raíz del concepto de atractor, es de interés, conocer cómo se puede llevar un conflicto desde el atractor B hasta el atractor A. Según Hendrick existen dos posibles caminos: el primero, que el autor denomina *coadaptación*, donde los diferentes agentes en conflicto, pueden llegar a acuerdos entre ellos, bien por acuerdos internos, bien mediante procesos de intermediación a acuerdos auspiciados por países del entorno, organismos regionales, potencias u organismos internacionales, de tal forma que los agentes van ajustando su posición hasta llegar al umbral de cambio, el segundo camino es el de la *coevolución* donde se produce un cambio gradual entre los agentes en conflicto, el entorno y el conjunto de partes interesadas en su resolución (Hendrick, 2009, pp. 47–49).

9.1.3. Interrelaciones y complejidad.

Las interrelaciones en un conflicto son un elemento importante que estudiar. Al respecto de ello, es necesario investigar la cantidad de redes creadas entre los diferentes agentes y la profundidad de estas, que pueden ser locales, sobre todo, pero también regionales e internacionales. Cuantas más redes existan, mayor será la resiliencia del conflicto y mayor deberá ser la energía de acción para cambiar la situación. Las redes también pueden autoorganizarse, coevolucionar y por tanto mantener la capacidad de mantener o aumentar el conflicto (Keller, 2008).

Ejemplos de redes descentralizadas y autoorganizadas se tienen en el componente étnico del conflicto. Muchos de ellos, especialmente en África, se basan en el origen étnico. Esto no significa que este componente sea equivalente a conflicto o violencia, sino que, en el caso de un conflicto en particular, las fuerzas y circunstancias de este componente pueden favorecer la retroalimentación positiva del conflicto por su “condición de etnia” (Ruane & Todd, 2004).

Un ejemplo de red descentralizada y autoorganizada, en este caso en torno a la religión, es el grupo terrorista Al Qaeda, donde sin que exista un líder reconocido, la red terrorista se organiza, evalúa sus objetivos y sus compromisos con sus actividades delictivas, dotando al grupo de una estabilidad y una conciliación entre sus objetivos y sus acciones (Beckerman, 1999) y (Hoffman, 2004).

Wils encontró tres tipos de redes, según el nivel de los agentes: el primer tipo lo denominó “red de acción efectiva”, donde los principales agentes tienen cada uno de ellos un objetivo y además entre todos los agentes participantes tienen un objetivo común; el segundo tipo es el de “red de asociación estratégica” en el que hay agentes que tienen un grado de cooperación tal que son capaces de definir objetivos estratégicos, y el tercer tipo es la “red de alianzas” con actores externos, ya sean regionales o internacionales, para establecer una determinada gobernanza en un territorio en conflicto (Wils, Op. Cit., pp. 57–58).

9.1.4. Construir la paz en un conflicto complejo.

Una sociedad puede mantener la paz sin ayuda exterior cuando su gobernanza puede garantizar una administración pacífica y no se utiliza la violencia para cambiarla. Cuando esto no sea posible, se pueden emprender operaciones de mantenimiento de la paz para crear las condiciones necesarias con el objetivo de detener la violencia y restaurar la capacidad del gobierno para gestionar de manera efectiva a la población en el área en conflicto (Coning, 2020b).

Como se señaló en el capítulo 8, las Naciones Unidas han ido progresando las operaciones de mantenimiento de la paz. A través del informe HIPPO en 2014, se argumentó que la construcción de paz es un proceso político definido, de tal forma que suele tener un enfoque integral y adaptativo, eliminando la puesta en práctica de misiones de tipo estándar, para poder adecuar sus acciones al entorno en el que va a operar, eliminando, a priori, la exigencia de establecer regímenes de corte liberal y reconduciéndose hacia una labor de fortalecer la resiliencia,

intentando eliminar los orígenes del conflicto. Asimismo, el citado informe apunta a la necesidad de detallar todas las actividades a realizar con un presupuesto lo más exhaustivo posible (Ramos-Horta, Op. Cit.).

El proceso de construcción de paz, con esta nueva filosofía de acción, es un proceso de organización de las sociedades que muchas veces emergen de procesos traumáticos, y de fortalecimiento de la resiliencia de la sociedad para que se eviten retrocesos en el avance hacia la paz. Debido a que es difícil controlar las interrelaciones y su autoorganización desde fuera del sistema, la misión de paz debe proporcionar suficiente energía de acción para que el conflicto se aleje de atractores de conflicto hacia aquellos que sean atractores de paz, aunque sea de paz negativa (Coning & Brusset, 2018).

Las misiones de mantenimiento y consolidación de la paz deben considerar los conflictos complejos de una manera tal que se puedan aceptar que estos presentan un alto grado de incertidumbre y que dichas misiones deben de estar preparadas para la emergencia durante su permanencia de nuevos conflictos en consonancia con las características de un sistema de tipo complejo, que puede tener imbricaciones tanto internas como externas (Call & Coning, 2017).

Además de las incertidumbres, necesidades y relación de actores, los conflictos complejos son fenómenos dinámicos, de naturaleza múltiple y de aspecto cíclico (Hughes, 2012).

El enfoque correcto puede ser favorecer el cambio en el conflicto, en lugar del enfoque que se tenía en las misiones de primera y segunda generación, donde el objetivo era enfrentarse directamente al conflicto. En su lugar se deben realizar los cambios necesarios para hacer salir al conflicto de los atractores donde pueda estar encajado, favorecer la retroalimentación de carácter negativo y aumentar la resiliencia de las instituciones creadas o modificadas en contraposición a las redes que se crean por coadaptación y coevolución y que pueden favorecer el conflicto (Coning, 2018).

La consolidación de la paz en conflictos complejos, por lo tanto, implica la creación de nuevas redes de agentes que afecten positivamente a los conflictos, de forma que estos reduzcan su intensidad. Y para que el sistema creado sea inmune a la recaída del conflicto, debe ser más resiliente. Para ello las sociedades poscrisis deben autoorganizarse y crear la gobernanza para este fin (Coning, 2019b).

Coning, sugiere seis acciones para la construcción de la paz, que considera “adaptativas” (Coning, 2020a, p. 16):

- a) El mantenimiento de la paz debe ser específico para el entorno y el tiempo, teniendo en cuenta todos los aspectos nuevos de las redes que se establecerán antes de que comience la operación de mantenimiento.

- b) El enfoque debe estar dirigido a metas y requerimientos específicos, y ser capaz de resolver problemas que solucionen el conflicto en la sociedad a la que va dirigida la misión.
- c) El proceso de paz debe seguir un enfoque específico utilizando métodos participativos que conduzcan al desarrollo de nuevos objetivos para fomentar la retroalimentación negativa del conflicto y reducir su intensidad.
- d) Las operaciones de mantenimiento de la paz deben ser muy adaptativas y tener un enfoque híbrido, de tal manera que tengan los recursos suficientes, dado que como se comentó anteriormente, los conflictos son dinámicos, múltiples y cíclicos.
- e) Las operaciones de mantenimiento de la paz deben seleccionar, de entre los recursos de los que disponen, los más apropiados para facilitar la resolución de conflictos y la gobernabilidad, teniendo en cuenta los procesos de realimentación positivos por si fuera necesario actuar nuevamente. Estas operaciones deben disponer de una buena gestión de riesgos para poder analizar dinámicamente todos los que puedan darse.
- f) Las operaciones de mantenimiento de la paz son un proceso de carácter iterativo, que se repiten tantas veces como sea necesario para que puedan evaluarse todas las dinámicas existentes y las que puedan emerger debido a la autoorganización de la sociedad en conflicto.

De los puntos establecidos por Coning, resulta claro que el enfoque que mejor se puede adaptar a las misiones de mantenimiento de la paz, resolviendo conflictos de tipo complejo, es el híbrido.

Esto que se acaba de expresar, no implica que en esta tesis se argumente que todos los conflictos deban verse desde la perspectiva de sistemas complejos. Existen muchos conflictos que pueden ser resueltos desde un punto de vista de teoría clásica de sistemas, es decir, aplicando un enfoque simplemente predictivo.

Tener un enfoque híbrido que combine agilidad y predictibilidad para favorecer la adaptabilidad, crear la autoorganización necesaria para lograr la supervivencia de la paz, una gestión adecuada de los recursos, resolución de dinámicas que puedan crear retroalimentaciones positivas y establecimiento de redes que favorezcan una retroalimentación negativa del conflicto son componentes necesarios para tener una situación estable y una gobernanza resiliente (Richmond & Mitchell, 2012).

9.2. Medición de éxito de una misión de paz.

En este subcapítulo, se analiza cómo medir el éxito de las misiones de paz.

En el [subcapítulo 8.1](#) de esta tesis se hizo un recorrido histórico sobre las misiones de paz de Naciones Unidas. En dicha historia, la ONU no puede presumir de demasiados buenos resultados en las misiones realizadas, con alguna excepción. La mayoría de las operaciones no

tuvieron un desarrollo provechoso. Algunas de ellas tuvieron mandatos poco claros, recursos inadecuados y personal poco capacitado (Bardalai, 2018).

Según el informe Brahimi (Brahimi, Op. Cit) a las operaciones de mantenimiento de la paz a menudo se les asignaban tareas vagas, que no podían llevarse a cabo, con mayor claridad, porque sería imposible, entonces, poner de acuerdo a los miembros del Consejo de Seguridad, siempre en un estado de equilibrio. Además, muchos de los recursos, que deberían haber sido incluidos, no se realizaban debido a situaciones presupuestarias precarias, por lo que muchas misiones se consideraban un fracaso antes de que incluso comenzaran (Fetterly, 2006).

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 8, los tres principios básicos sobre los que se sustenta una misión de paz, a través de su mandato correspondiente, son: el consentimiento de las partes; la imparcialidad de las fuerzas que componen la misión de paz, y la utilización de la fuerza, sólo en defensa propia.

Como cualquier proyecto que deba ser gestionado, el alcance, los costes y la planificación temporal están vinculados, por lo que si una de las tres restricciones indicadas falla, es muy posible que alguna restricción falle adicionalmente. Pero ¿cuáles son los factores que provocan el fracaso en una operación de mantenimiento de la paz? Algunos autores que han podido revisar operaciones de mantenimiento de la paz, consideran que los factores que determinan el éxito o el fracaso de una operación sobre el terreno pueden agruparse en dos grandes grupos, los factores estratégicos y los factores tácticos (Coning & Romita, 2009), (Diehl & Druckman, 2013).

- **Factores estratégicos:**

- Violación del principio de neutralidad.
- No existencia de un acuerdo general de paz.
- Falta de acuerdo, consenso o sintonía entre los actores internacionales.
- Indefinición en el mandato de la misión de paz.
- Recursos no apropiados a la entidad de la misión de paz.
- Denegación total o parcial por parte de alguno o algunos actores al despliegue.
- Influencia de incontrolable de actores contrarios a acuerdos de paz.
- Falta de comprensión de la naturaleza compleja del conflicto.
- Falta de experiencia en los miembros de la misión desplegada.

- **Factores tácticos:**

- Mala planificación en el despliegue de la misión.

- No preparar adecuadamente a los empleados para realizar las tareas asignadas.
- Escasez presupuestaria.
- Falta de empatía por parte de los líderes de la misión con los actores involucrados.
- Temor a utilizar la fuerza en situaciones necesarias.
- Incomprensión del mandato por parte de los líderes de la misión
- Falta de sensibilidad con la sociedad y cultura local.
- Equipos de misión multinacionales y multiculturales de difícil interacción.

Como se menciona en los manuales de gestión de los principales estándares indicados anteriormente, cada tarea requiere de un proceso de análisis y posterior acción que sea apropiado para ella, porque cada una de ellas es única.

Durante la misión de paz en Ruanda en 1993, hubo elementos estratégicos y tácticos que fracasaron. Desde un punto de vista estratégico, a pesar de un despliegue e implantación que se consideraron oportunos, los líderes de la misión no reconocieron las interrelaciones que se habían formado entre los hutus más extremistas para evitar una reconciliación con los tutsis. Desde un punto de vista táctico, no hubo recursos humanos en la misión para poder operar en condiciones. Además, dicha fuerza militar y policial no estaba bien preparada, y adolecía de predisposición al cumplimiento de la misión (Bardalai, 2022).

9.2.1. Principios de una misión de paz.

Una observación más cercana de los elementos descritos en el apartado anterior divididos en factores, determinará que todos ellos giran en torno a los tres principios enumerados en dicho apartado. El consentimiento tiene factores tanto estratégicos como tácticos. Ocurre lo mismo con los otros dos principios (imparcialidad y defensa propia).

Respecto del consentimiento, este puede ser visto desde un punto de vista estratégico o táctico. En el primer caso puede ocurrir que todas las partes locales, regionales o supranacionales estén de acuerdo en el despliegue de la misión. En el segundo caso, puede ocurrir, que, aun teniendo el consentimiento general de todas las partes, dicho despliegue no se pueda realizar debido a la existencia de una desaprobación por parte de una determinada facción disidente.

Somalia, por ejemplo, tuvo tres misiones (UNOSOM I, UNITAF y UNOSOM II) en tres años, entre 1992 y 1995. La falta de análisis de las consecuencias de no aceptar a todos los interesados (en este caso, un “señor de la guerra”) determinó que fracasara el proceso de paz, recién acordado, después de una larga guerra civil (Howard, 2008).

Respecto a la imparcialidad, es necesario aclarar la confusión que el concepto causa, no sólo a los actores en conflicto, sino también, a los miembros de la misión de paz. Casi siempre, se

considera que imparcialidad es sinónimo de neutralidad. El ex Secretario General de las Naciones Unidas, Kofi Annan, hizo una clara distinción entre el concepto de neutralidad, entendido como pasividad ante violaciones de los derechos humanos, e imparcialidad, entendido como adhesión estricta a los principios de la carta fundacional de las Naciones Unidas (Annan, 1999).

Consecuencias de esta confusión en la UNAMIR entre imparcialidad y neutralidad en el genocidio de Ruanda en 1993 se describe en (Howard & Stark, 2017).

Finalmente, en cuanto al tercer principio, el de defensa propia, quizás el más controvertido de los tres, ya que requiere eliminar las múltiples interpretaciones que pueden darse.

La carta de las Naciones Unidas puede enviar misiones de paz bajo el paraguas del capítulo VI y del capítulo VII. En ambos casos se puede utilizar la fuerza en defensa propia, pero sólo las misiones amparadas bajo el capítulo VII pueden proyectar la fuerza más allá de la defensa propia. Un ejemplo de esta indefinición o confusión se dio desgraciadamente en la misión UNPROFOR en Bosnia en 1995 (Howard 2008, Op. Cit., pp. 42–50).

Quizás este último principio, el de la defensa propia, sea el más obvio para las partes interesadas, expuestas a la violencia, por parte de grupos insurgentes o gobiernos, y el más valorado al evaluar el éxito de una misión de paz. Aunque esto es engañoso, como se verá más adelante.

9.2.2. Aplicar un mandato a una misión de paz.

Como se mencionó en el apartado anterior, una de las razones importantes en el fracaso de una misión de mantenimiento de la paz ha sido el tener un mandato vago e impreciso. Este hecho era frecuente hasta principios del S. XXI debido a los equilibrios a realizar en el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas. Adicionalmente, existía un segundo motivo de imprecisión en los mandatos, debido a que, en el despliegue de la misión, la aplicación de este por los miembros de la misión podía diferir de lo que se debía realizar según ese mandato. Adicionalmente, podía ocurrir que dentro del mandato no estuvieran descritas las reglas de enfrentamiento a situaciones que, no se habían previsto. Un ejemplo de ello fue el ataque al Hotel Terrain en Yuba producido por un grupo incontrolado del ejército de Sudán del Sur causando víctimas. Se pidió ayuda al cuartel regional de Naciones Unidas sito 1 km de distancia, pero no hubo respuesta (UNMISS Press Release, n.d.)

De todas las misiones de paz revisadas (FPNUL, MINUSCA, MINUSMA, MONUSCO, UNAMIL y UNMIL), ninguna tuvo un mandato coherente con los objetivos a cumplir. Todas estas misiones debían incorporar como elemento principal la protección de civiles, sin embargo, esto no fue así, y se desviaron hacia otros objetivos secundarios. Estas circunstancias fueron relatadas por autores que estudiaron dichas misiones (Bardalai, 2018, 2019; de Carvalho & Aune, 2010; Garb, 2014; Peter, 2015; Sigri & Başar, 2014; van der Lijn, 2006).

En todas esas misiones indicadas existía una clara distinción entre lo que dicta la misión y lo que la misión debe hacer, es decir, la situación estratégica y la situación táctica sobre el terreno. Esto sugiere que, como con cualquier otro proyecto, el responsable o responsables de la misión debe o deben tener el liderazgo necesario para poder aplicar el mandato de forma adecuada a los objetivos exigidos, especialmente en su objetivo principal que habitualmente es la protección de civiles frente a actos de violencia contra ellos. Este hecho fue indicado explícitamente en el “informe Brahimi” donde se decía:

«El liderazgo efectivo y dinámico puede marcar la diferencia entre una misión cohesiva con alta moral y efectividad y uno que lucha por mantener cualquiera de estos atributos. Es decir, el resultado de toda la misión puede depender mucho del carácter y la habilidad de los que la dirigen» (Brahimi, 2000, paras. 92–101).

El Consejo de Seguridad tiene la facultad de aprobar una operación de mantenimiento de la paz, el cual debe renovarse periódicamente, normalmente cada 6 meses. Pero esta aprobación o renovación de mandato no suele ser fácil, y requiere de un consenso entre sus miembros, en especial entre los cinco miembros permanentes (EE.UU., Rusia, China, Gran Bretaña y Francia). Un ejemplo llamativo de lo expuesto son los diversos mandatos que se establecieron en los diferentes conflictos que sucedieron en la antigua Yugoslavia. Mientras que EEUU veía la situación como un ejemplo de lo que puede surgir del odio interétnico con una difícil solución, Francia consideraba que era un problema de gobernanza simplemente, y China consideraba que era un asunto de índole interno. Sólo unos pocos países, cercanos al conflicto, por ejemplo, Alemania, veían los conflictos en la región como la expresión de actitudes expansionistas serbias. Puede observarse, por tanto, que la diferencia de criterios, a la hora de afrontarse un mandato entre los diferentes miembros del Consejo de Seguridad, puede causar indefiniciones, que, a su vez, pueden originar conflictos estratégicos de difícil solución (Howard & Stark, 2017, pp. 138–142).

Un elemento importante del mandato, como de cualquier proyecto a la hora de su inicio, es la planificación y el presupuesto. Una misión con pocos recursos tendrá problemas para hacer frente a las diversas complicaciones que puedan surgir, especialmente, si se trata de una misión de mantenimiento de paz compleja (Weiss, 2003).

El deber del Secretario General, por tanto, no es sólo proporcionar al Consejo toda la información sobre las decisiones tomadas por este, sino también presentar análisis presupuestarios y financieros de especial importancia, de modo que el Consejo cuente con todos los elementos de decisión, incluidos los políticos (Winther, 2020).

9.2.3. Tratados de paz.

En un proyecto, el contrato no garantiza que el trabajo a realizar será exitoso. Asimismo, un acuerdo de paz no garantiza que el éxito de una operación de mantenimiento de la paz conduzca a la paz. Sin embargo, en ambos casos, los compromisos obtenidos reflejaron la actitud genuina de los firmantes hacia un trabajo exitoso, cualquiera que sea el proyecto o misión de paz.

Angola es un ejemplo de lo indicado anteriormente. El primer tratado de paz se firmó en Bissau en 1991 permitiendo el despliegue de la misión de Naciones Unidas UNAVEM II. A pesar de ello, se produjeron nuevos combates, y tras una evolución peligrosa para la paz de la misión, se firma un nuevo tratado de paz en Lusaka, sin un equilibrio claro para las partes en conflicto, pero que permitió traer la paz definitiva (Howard, 2008, pp. 35–42).

Cabe por tanto destacar que, para la conclusión exitosa de un acuerdo de paz, es necesario involucrar de manera clara, concisa y sin ambigüedades a todas las partes interesadas. Bajo este epígrafe, deben incluirse no sólo actores internos, sino también actores internacionales, principalmente a países vecinos. El caso de Angola fue determinante, debido al apoyo que recibió una de las facciones por parte de una potencia internacional (Fortes, 2018).

Un caso aún más complejo, que refleja la necesidad de incluir a todas las partes interesadas es el conflicto que asoló la República Democrática del Congo, que involucró a Angola, Ruanda y Uganda, así como a otras potencias internacionales externas a la zona. Fue necesario firmar seis acuerdos de paz: Lusaka (1999); Sun City (2002); Pretoria (junio 2002); Luanda (julio 2002); el acuerdo global (diciembre de 2002), y el último acuerdo global de 2017 para alcanzar la paz. Cada tratado de paz que se firmaba incluía nuevas partes interesadas y nuevos requisitos transferidos de tratados anteriores (Woodhouse & Duffey, 2000), (Russo, 2021).

9.2.4. Criterio de éxito en una misión de paz.

Si bien una misión de paz debe ser coherente entre el mandato claro, las estrategias y los recursos para lograr los objetivos designados, no se puede encontrar un conjunto de criterios comunes de la literatura consultada para medir el éxito de una OMP.

De forma general, para una OMP es importante evaluar el éxito o el fracaso de la misión porque podría tener implicaciones para los resultados de otras misiones (Diehl & Druckman, 2018). Definir el éxito en las misiones OMP es un tema complejo. Por un lado, podría considerarse, como la ausencia de hostilidades, y por otro lado la reducción del sufrimiento civil (D. B. Pushkina, 2020), por lo que determinar el éxito es una cuestión importante tanto para la perspectiva de la formulación de políticas como para la perspectiva académica.

En la bibliografía consultada, se puede concluir de inmediato, que no existe un conjunto universal de criterios para evaluar el éxito en una misión de paz. A continuación, se presenta una recapitulación de las ideas relacionadas con el éxito de las misiones de mantenimiento de la paz, que muestran que, en algunos casos aparecen de forma encadenada, es decir, como progresión de ideas o bien aparecen de forma complementaria a ideas inferidas anteriormente.

Diehl sugiere que el éxito está compuesto por dos aspectos, la limitación del conflicto armado, es decir, el límite a la muerte y destrucción de las acciones de guerra, y la resolución de los desacuerdos que originaron el conflicto (Diehl, 1993).

Doyle y Sambanis expresan que el mantenimiento de la paz depende de tres factores interrelacionados: el grado de hostilidad en la zona de conflicto; la capacidad local de la zona para crear la paz, y la capacidad de los actores internacionales para hacerla cumplir (Doyle & Sambanis, 2000).

También vale la pena señalar que los dos autores realizaron un estudio para averiguar qué misiones de mantenimiento de la paz tuvieron éxito y cuáles no. Para ello estudiaron las misiones y encontraron que las más proclives al éxito eran las operaciones de paz de primera y segunda generación, es decir, las misiones más predictivas y las que afectaban a conflictos entre estados.

Al afirmar que el éxito depende del mantenimiento de las fuerzas militares y policiales durante la misión, Anderson extrajo algunas lecciones: que el orden debe mantenerse de forma integral combinando fuerzas militares y policiales exteriores e interiores; coordinación general de las agencias de Naciones Unidas, y una gobernanza eficaz (Anderson, 2000).

Puskhina identificó las metas del éxito como: limitar la violencia y el sufrimiento de la población civil y, prevenir la propagación del conflicto mediante una actuación rápida (D. Pushkina, 2006).

Algunos investigadores han expresado varios criterios para prefijar el éxito, por ejemplo, Diehl y Druckman sugieren como criterios: la ayuda humanitaria a la población civil en la zona de conflicto; la convocatoria de elecciones para elegir un gobierno local con la participación en estas de los actores en el conflicto y la implantación de un estado de derecho (Diehl & Druckman, 2022).

Analizando 11 operaciones de mantenimiento de la paz en Somalia, Liberia y Sierra Leona, Martin-Brûlé propone un marco conceptual que elabora la definición operativa de éxito o fracaso basado en una escala Likert cuyo espacio semántico es: fracaso, fracaso parcial, éxito parcial o éxito (Martin-Brûlé, 2016).

En varios artículos, Van der Lijn formuló, lo que a su juicio son los 9 factores para que una operación de mantenimiento de la paz sea exitosa: el deseo y la sinceridad de las partes involucradas en el conflicto para implementar el plan de paz; una seguridad adecuada; la investigación profunda de las causas del conflicto; el comportamiento de las partes involucradas en el conflicto; la cooperación regional e internacional; la implementación y despliegue de una misión de paz en el momento adecuado; gestión de recursos competente mediante equipos multidisciplinares con experiencia; enfoque a largo plazo con al menos una visión de 10 años; coordinación de todos los actores, y que los actores de la zona de conflicto vean la misión de paz como algo propio (van der Lijn, 2008).

Según Sigri y Basar, es fundamental evaluar continuamente las tareas y proporcionar un conjunto de principios que deben incluirse en la evaluación del éxito en una misión de paz, crear algunos KPI (indicadores clave de desempeño) al igual que se realiza en otros tipos de proyectos y evaluar el desempeño de la misión de paz (Sigri & Başar, 2014).

De Carvalho y Aune consideran que es necesario desarrollar una metodología para medir el éxito y recomiendan: medir los resultados e impactos sobre una misión de paz; evaluar los procesos operativos desplegados por la misión de paz; examinar los medios dispuestos para las operaciones de mantenimiento de la paz, y estimar el desempeño de la misión sobre la población civil de la zona de conflicto (de Carvalho & Aune, 2010).

Earnest y Dickie están más cerca de la gestión de proyectos complejos, lo que sugiere que las tareas sin adaptabilidad, o un nivel mínimo de capacidad de adaptación, simplemente no son suficientes. En este sentido, crean un análisis cualitativo y cuantitativo que analiza algunos aspectos de la misión de paz como es: el alcance de la misión, el coste de esta, el cronograma de la actuación; la gestión de recursos; la gestión de adquisiciones; la gestión de las comunicaciones, la gestión de interesados y la gestión de riesgos (Earnest & Dickie, 2012).

Según Wistuba, es fundamental que las misiones de paz comprendan claramente los requisitos previos y los factores que pueden afectar a las tareas que deben realizar. Además, cree que se deben definir claramente dos objetivos generales: una misión militar para establecer una paz negativa, y una misión paralela o secuencial a la anterior, de carácter civil, que pueda trabajar para crear una paz positiva en la zona de conflicto. Ambos objetivos generales requieren de una adaptación constante a los posibles cambios que puedan producirse (Wistuba, 2017).

Garb, cree que para juzgar si una operación de paz tiene éxito, debe basarse principalmente en criterios para medir ese éxito. Cada investigador o cada organización puede tener su propia metodología, por lo que es prácticamente imposible que se tenga una única visión general. Sin embargo, este pesimismo contrasta con la idea de que misiones de paz con tareas integradas y adaptativas tendrán más éxito que otras misiones que no tengan tanta adaptabilidad (Garb, 2014).

Según Mateja, es importante preguntarse qué importancia tiene medir el éxito de una misión de paz. Esto lo sugiere, dado que después de los esfuerzos por implementar la misión de paz, es posible que la población civil de la zona de conflicto no la apoye. Como tal, plantea la importancia de asegurar la presencia de todas las partes interesadas y mantenerse lo más cercano posible al terreno para detectar cambios. Además, considera que es mejor tener pequeños éxitos locales, perceptibles por la población civil, que un gran éxito general que no pueda ser percibido. También considera que se necesita tener la perspectiva temporal para medir el éxito que mejor se adapte al conflicto al que se enfrenta (Peter, 2016).

Bardalai es, quizás, el más crítico de los investigadores al considerar que ni siquiera se puede medir el éxito utilizando sistemas de gestión operativa porque estos factores basados en parámetros de eficacia y eficiencia, utilizados en proyectos de índole empresarial, no son aplicables a las misiones de paz porque el conjunto de tareas que contienen es tan amplio y diverso que es difícil de implementar (Bardalai, 2019).

Una posible herramienta de medición de éxito sería aplicar los principios generales formulados por la propia Naciones Unidas e incluidos en la “Doctrina Capstone”, añadiendo además los tres principios ya indicados anteriormente en este subcapítulo:

- La población civil de la zona en conflicto percibe las operaciones de mantenimiento de la paz como legítimas y creíbles.
- Integración de todas las partes interesadas en el proceso de paz.
- Un mandato claro, real y alcanzable con una gestión consecuente con los objetivos a alcanzar e integrado por miembros con experiencia.
- Una identificación clara con el proceso de paz por parte de países vecinos, potencias internacionales y organismos supranacionales.
- Enfoque integrado y adaptativo.

Sin embargo, estos criterios son muy generales y requieren de una capacidad para poder medirse el éxito tanto a nivel estratégico como a nivel táctico sobre el terreno. Después de analizar docenas de misiones de mantenimiento de la paz, Bratt ideó cinco criterios para el éxito. Dichos criterios están montados sobre preguntas básicas, compuestas por frases cortas, pero que pueden dar una imagen del éxito o fracaso de una misión de paz (Bratt, 1996):

- ¿Se cumplió el mandato?
- ¿Condujo la misión a la resolución del conflicto?
- ¿Ha contribuido la misión de paz a la seguridad en la zona del conflicto?
- ¿La misión contribuyó a limitar el conflicto armado en la zona de conflicto?
- ¿La misión de paz ayudó a resolver el conflicto?

Si se observa las preguntas propuestas, todas ellas se basan en comprobar si se establece una paz negativa, y no hablan de como medir el éxito de una misión de paz al intentar implantar una paz positiva en la zona de conflicto.

Años más tarde, el propio Bratt concluyó que el éxito de una misión de mantenimiento de la paz debería juzgarse por los siguientes parámetros: existencia de un mandato claro y completo que debería incluir el aseguramiento de una paz negativa y los elementos más importantes para establecer una paz positiva (integración, gobernabilidad y justicia); enfoque coherente de las decisiones del Consejo de Seguridad con el mandato establecido, y proyección de dicha coherencia para que influya en los países vecinos a la zona del conflicto (Bratt, 1999).

Como ejemplo de los indicado por Bratt se puede destacar la resolución del Consejo de Seguridad 2049/2018 sobre la misión de paz MONUSCO, que establecía dos objetivos

principales de la misión de paz: la protección de civiles en la zona de conflicto, y una vez asegurada esta, la celebración de elecciones para elegir representantes. La misión cumplió con ambos objetivos, sin embargo, cuando se dieron a conocer los resultados, la población salió a las calles a protestar por los resultados y se reanudó la violencia. ¿Consiguió la misión sus objetivos, en principio sí, pero no pudo a posteriori establecer una paz negativa (Bardalai, 2019).

En último lugar, autores como Brosig y Sempijja argumentan que el despliegue de misiones de mantenimiento de la paz no reduce el nivel de violencia de forma inmediata, sino que existe, por defecto, una inercia hasta que el nivel de violencia disminuye significativamente. Además, tales niveles de violencia a menudo son el resultado no solo de un conflicto, sino de condiciones pasadas en la zona, especialmente si las tensiones que conducen al conflicto tienen recursos naturales significativos que puedan ser reclamados por países limítrofes o potencias regionales o internacionales (Brosig & Sempijja, 2018).

En la gestión de proyectos, el éxito suele venir referido a múltiples requerimientos en la fase de inicio y de planificación. En las misiones de paz, estas sólo tienen un parámetro principal, el mandato, que desgranará en su interior los requisitos necesarios para su cumplimiento. El mandato tiene muchos objetivos: protección de civiles en la zona de conflicto, eliminación de la violencia, resolver el conflicto y cuestiones que afectan a la gestión, despliegue y retirada de la misión.

Se ha hecho referencia en este apartado a dos conceptos de paz, la negativa (ausencia de violencia) y la positiva (la existencia de una sociedad civil pacífica con la gobernanza necesaria para su desarrollo). Puede haber paz negativa sin que haya paz positiva, pero no puede haber paz positiva sin que haya paz negativa. Por tanto, tal vez se debería distinguir entre los dos conceptos de paz, inseparables desde el punto de vista de las misiones de paz de últimas generaciones (de Vera, 2016).

Se desglosan a continuación algunos parámetros ya reflejados por los distintos autores diferenciados por paz negativa y positiva.

- Factores de éxito para la paz negativa:
 - o Protección de la población civil en la zona de conflicto.
 - o Contribuir a la resolución de conflictos.
 - o Abolición de la violencia en la zona.
 - o Libre circulación del personal de la misión de paz.
- Factores de éxito para paz positiva:
 - o Aumento de la confianza en la población civil.

- Restablecimiento de la gobernanza.
- Restablecimiento de la legalidad.
- Desarme de todos los combatientes. Desmovilización de fuerzas participantes en el conflicto.

En general, las operaciones de mantenimiento de la paz, especialmente en misiones dentro de un país, pueden tener éxito si: realizan estudios que analicen las condiciones previas que pueden afectar a los objetivos del mandato; consideran a todos los actores que pueden verse afectados por la consecuencias de la implantación de la paz; tienen de manera clara y concisa un mandato conseguible; gestionan de forma directa los factores tanto de la paz negativa como de la paz positiva; poseen los recursos necesarios para la misión, y por último, la capacidad de liderar una misión sujeta a cambios, anticipándose a estos, gestionando la dinámica de los cambios y siendo capaz de construir la integración y adaptación necesarias para enfrentarse a esos cambios (Bautista & Aguilar, 2014; Castaño Barrera, 2013).

Se debe, por tanto, crear las herramientas necesarias para poder medir el éxito de una misión de paz, incorporando a ellas los factores de paz negativa y positiva. En este sentido, el trabajo llevado a cabo por la NUPI ha creado un sistema de evaluación utilizando herramientas integradas de gestión de misiones y de obtención de información basados en dimensiones, que tiene en cuenta, por un lado, el compromiso de los interesados en la consecución de la paz, y por otro, la retrospectiva, en tiempo real, para que analicen y efectúen los cambios cuando sea necesario y faciliten la adquisición de experiencia del mundo real, especialmente como misiones de apoyo directo a la gestión (DPO, DFS y CPAS) (Coning & Brusset, 2018).

El marco de revisión establecido por NUPI para evaluar el éxito de una misión se desarrolla sobre ocho dimensiones:

1. **Supremacía política y organización electoral.** El objetivo final es que las sociedades en conflicto, una vez superado este, es que se organicen en estructuras políticas y que estas puedan renovarse pacíficamente mediante procesos electorales.
2. **Seguridad y transición.** Protección de civiles y estabilización de las crisis que concurran para preparar el camino hacia una nueva estructura de la paz.
3. **Posesión nacional e internacional.** La misión es vista como propia a nivel nacional por la población, como salvaguarda de los intereses de la zona en conflicto. Puede ocurrir que esta misión no sea tenida como salvaguarda, siendo entonces una misión externa a la zona de conflicto.
4. **Apoyo regional e internacional.** La misión recibe soporte por los países de la zona y por las grandes potencias y organizaciones internacionales.

5. **Coherencia y compromiso.** El mandato que recibe la misión de paz está acorde con la problemática que va a intentar resolver. La misión de paz promueve la participación de la sociedad.
6. **Legitimidad, imparcialidad y credibilidad.** La misión debe estar legitimada por las partes en conflicto y debe ser creíble para la población en la zona de conflicto. Debe ser imparcial, pero no neutral.
7. **Mujeres e infancia.** La misión de paz debe favorecer el fortalecimiento de la paz y la seguridad para la población más vulnerable como es la infancia. Debe favorecer la integración de la mujer.
8. **Enfoque centrado en la persona.** La misión de paz debe favorecer sobre todo a los individuos, su bienestar y su seguridad.

9.2.5. Consideración de nuevos factores de éxito.

La resiliencia, como se señaló en el [subcapítulo 5.2](#) de esta tesis, es una característica de un sistema que debe considerarse en relación con la robustez, y también se puede utilizar como indicador para comprender si un país podrá deslizarse hacia un conflicto, o mantenerse en un equilibrio inestable que dé origen a pérdidas de paz positiva.

En su investigación sobre resiliencia y operaciones de mantenimiento de la paz, Menkhaus sugiere que puede haber nuevos factores que influyan en el delicado equilibrio entre la paz positiva, paz negativa y que deriven hacia el conflicto. Dichos factores, ante los cuales la misión debe estar prevenida, incluyen: medio ambiente; energía; desertificación como problema económico; crecimiento demográfico incontrolado, y migración descontrolada (Menkhaus, 2013, p. 9).

El estudio de Homer-Dixon sobre relación entre el cambio climático y los conflictos violentos se mencionó anteriormente en el [subcapítulo 9.1](#) de esta tesis. También Scheffran, Link y Schilling indican que hay una relación entre cambio climático y conflictos en África, con datos científicos contrastados. Sudán, por ejemplo, tuvo una disminución de entre el 30 – 75% en las precipitaciones entre 2008 y 2011. En ese periodo hubo enfrentamientos y conflictos que derivaron a su vez a la separación de Sudán del Sur, lo que está asociado con la alta vulnerabilidad de esta zona de África al cambio climático. Adicionalmente al parámetro de cambio climático, se debe considerar a las materias primas y recursos naturales como fuente de disputas que pueden dar lugar a conflictos como el establecido en Sudán del Sur y el petróleo (Scheffran et al., 2019).

Por tanto, el cambio climático, los recursos naturales y materias primas, el medio ambiente, demografía o migración son factores nuevos que deben tenerse en cuenta en la gestión de la conflictividad en la zona.

Un ejemplo puede ilustrar las conclusiones de este apartado y que podría ampliarse a otros factores y es que no es si llueve en mayor o menor medida, sino si las medidas que se toman son las adecuadas para mitigar los efectos negativos de este hecho (Mack et al., 2021).

Otro ejemplo son las consecuencias que tuvo el terremoto de 2010 en Haití, no solo para la población del país, sino también para el país vecino, República Dominicana, debido a la inmigración y a los daños en las infraestructuras comunes (Wooding, 2011).

10. CASOS ESTUDIO

En este capítulo, se aplica el concepto de enfoque a la misión y medimos el éxito de las misiones de mantenimiento de la paz de Naciones Unidas con tres misiones concretas. La UNMISS en Sudán del Sur, la MONUSCO en la República Democrática del Congo y la MINUSTAH en la República de Haití.

10.1. Sudán del Sur.

En este primer caso, hay un elemento esencial a tener en cuenta, y es que UNMISS comienza inmediatamente tras finalizar la misión UNMIS que había conducido a la independencia de Sudán del Sur de Sudán. Esta misión también se realizó mediante el nuevo enfoque integrado de CPAS, como se describe en el informe Brahimi.

10.1.1. Antecedentes.

Desde la independencia de Sudán en 1955, la situación ha sido bastante conflictiva con una guerra civil entre el norte, mayoritariamente árabe, y el sur animista y cristiano. En 1972, se firmó el Acuerdo de Paz de Addis Abeba entre el gobierno y el Ejército Popular de Liberación de Sudán (SPLM/A), representante del sur de Sudán. En 1983, se rompió el acuerdo, y se reanudó la guerra debido a la presencia de grandes reservas de petróleo en el Sur, además de por la búsqueda de un reconocimiento de la identidad y libertad religiosa de la población sureña.

En 2002, bajo los auspicios de la IGAD¹⁶ se firmó el Protocolo de Machakos, alcanzando acuerdos sobre gobernanza, autonomía de las Regiones del Sur, acuerdos sobre gobernanza en dichas regiones, incluyendo la autonomía y un potencial referéndum de independencia. En 2004, el Consejo de Seguridad de la ONU, a través de la Resolución 1547/2004, autorizó la Misión de las Naciones Unidas en Sudán (UNAMIS) para reforzar el acuerdo de paz y favorecer el desarrollo de lo firmado en 2002.

Otra situación conflictiva en dicho país se dio en Darfur, al oeste de Sudán debido a conflictos interétnicos y religiosos. En respuesta, las Naciones Unidas ampliaron el alcance de UNAMIS para operar en Darfur a través de la Resolución 1556/2004.

En 2005, se firmó en Nairobi un acuerdo de paz integral entre el Gobierno de Sudán y el SPLM/A, que estableció una moratoria de seis años sobre la autodeterminación en la región sur, con un período de autonomía y un reparto equitativo de las reservas petrolíferas descubiertas.

En apoyo de este nuevo acuerdo de paz, UNAMIS fue reemplazada en 2005, por una misión multidimensional e integrada, la UNMIS. Dicha misión tenía cuatro objetivos principales: apoyar

¹⁶ (InterGovernmental Authority on Development). Organismo regional de integración económica y desarrollo formada por ocho países: Eritrea, Etiopía, Kenia, Somalia, Sudán, Sudán del Sur, Uganda y Yibuti.

el proceso de paz de 2005; asistencia humanitaria a la población civil, el retorno de la mayor cantidad de desplazados de otros países; eliminación de campos minados, y promover los derechos humanos.

En 2006, se firmó un acuerdo de paz en Darfur. Como había ocurrido anteriormente con la UNAMIS, la UNMIS extendió su influencia en dicha zona a través de la Resolución 1706/2006. Sin embargo, debido a una fuerte oposición del gobierno sudanés, no pudo desplegarse la misión en la región, y se apoyó una misión más específica, apoyada por la UA¹⁷, la UNAMID.

En 2011, el sur de Sudán celebró un referéndum de autodeterminación y votó mayoritariamente por la independencia. La misión UNMIS terminó su mandato, y fue repatriada ese mismo año. Una nueva misión se puso en marcha ese mismo año, la UNMISS mediante la aprobación de la Resolución 1996/2011 para ayudar en el establecimiento del nuevo estado.

En 2013, estalló la guerra civil entre las fuerzas gubernamentales y los rebeldes en Sudán del Sur. A partir de ese momento, el enfoque de la misión UNMISS cambia hacia la protección de la población civil.

En 2015, se firmó un acuerdo para resolver la disputa política, pero en 2016 se reanudan los combates. En 2018, se firmó un nuevo acuerdo amparado por la IGAD y que se mantiene a pesar de numerosas escaramuzas en la zona.

Para una mayor profundización de lo acontecido en Sudán y Sudán del Sur leer (A. (lead A. Day et al., 2019; H. F. Johnson, 2016; ONU_UNMISS, 2020; van der Lijn, 2010b, 2008; Zambakari et al., 2018).

10.1.2. Enfoque en UNMISS.

El tipo de enfoque, de esta misión, se analizó en (Álvarez-Espada et al, Op. Cit.) con la herramienta de idoneidad original, definida en el [subcapítulo 7.1](#).

Analizando los tres dominios (Proyecto, Equipo y Cultura) y sus nueve parámetros se obtuvo un enfoque híbrido muy cercano a un enfoque de tipo ágil. El enfoque era homogéneo salvo en el aspecto de entrega, dado que el nivel de violencia que existía en el país iba a impedir que la misión terminara en los siguientes 12 meses. Además, el equipo no tenía las características de agilidad para acometer un enfoque híbrido. Los aspectos más ágiles estaban relacionados con los parámetros de criticidad y cambios en el dominio Proyecto, en respuesta, quizás, del carácter cambiante de la misión y de la situación de guerra civil. El resultado se puede ver en la *imagen 10-1*:

¹⁷ Unión Africana.

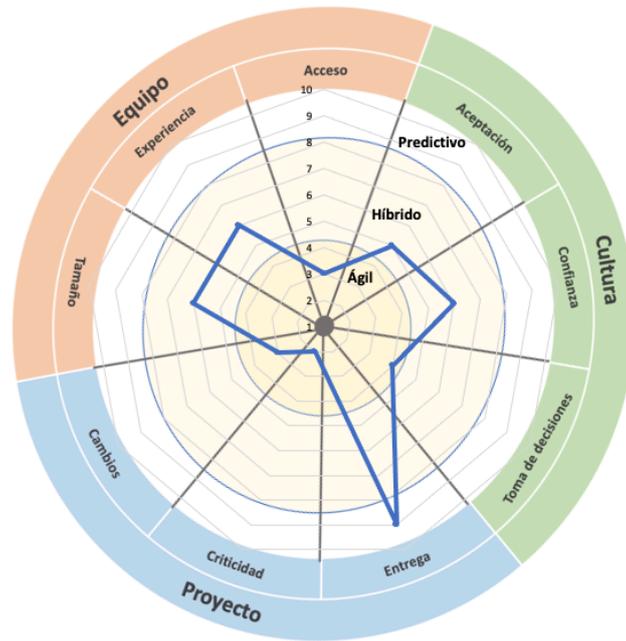


Imagen 10-1. Diagrama de idoneidad de enfoque de la misión UNMISS (Fuente: Autor).

Se va a obtener el enfoque con la herramienta de idoneidad de enfoque modificada, vista en el [subcapítulo 7.4](#). Para ello se estudia primero la red de complejidad de interesados principales tal como se indicó. Los datos como en el caso anterior se obtuvieron de los informes de la UNMISS (ONU_UNMISS, 2020) y de diversos autores (Carroll et al., 2019; Consejo seguridad, 2011; Ry, 2019; van der Lijn, 2010a, 2010b; Zambakari et al., 2018).

Se establece en primer lugar la tabla de interesados que se han recopilado a través de la bibliografía sobre el conflicto en Sudán del Sur (*Imagen 10-2*).

GRUPO INTERESADOS. UNMISS	
DENOMINACIÓN	REPRESENTANTE
I1	Gobierno de Sudán
I2	Gobierno de Sudán del Sur
I3	Misión UNMISS
I4	Fuerzas rebeldes "Ejército de resistencia del Señor" (LRA)
I5	Fuerzas rebeldes "Ejército blanco de Nuer"
I6	Etnia Murle
I7	Movimiento de liberación del pueblo de Sudán (SPLM)
I8	Autoridad Intergubernamental para el desarrollo (IGAD)
I9	República de Uganda
I10	Fuerzas rebeldes "Movimiento antigubernamental" (AGF)
I11	Etnia Dinka
I12	Movimiento por la justicia y la igualdad (JEM)
I13	Fuerzas de defensa del pueblo de Sudán del Sur. Ejército. (SSPDF)
I14	Compañías petrolíferas
I15	Movimiento Democrático Sudán del Sur (SSDM)
I16	Gobierno de Etiopía

Imagen 10-2. Tabla de interesados del conflicto en Sudán del Sur (Fuente: Autor).

Hay que indicar, que se han incluido los principales interesados. Sin embargo, algunos grupos rebeldes mostrados en la tabla pueden haber tenido escisiones, hecho bastante común, según la bibliografía consultada.

A partir de esta tabla se crea la red de interesados del conflicto. Se puede observar en la *imagen 10-3*, que la red no es homogénea.

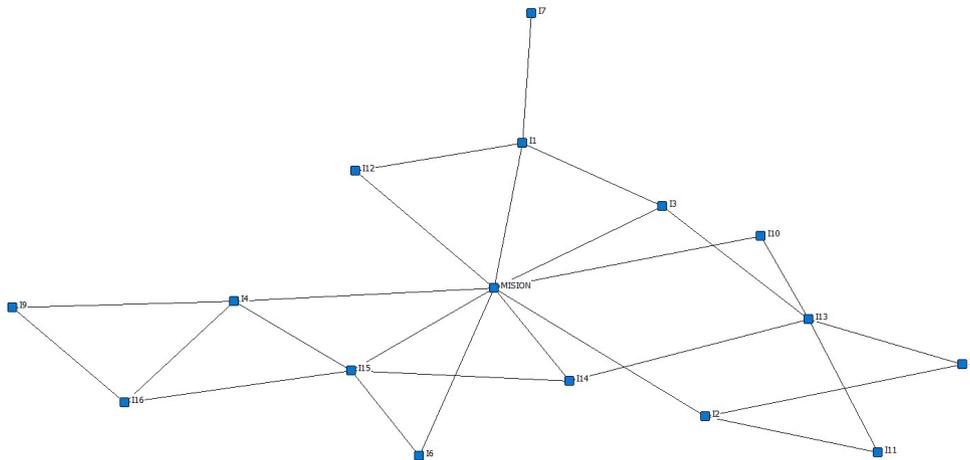


Imagen 10-3. Red de interesados e interrelaciones de UNMISS (Fuente: Autor).

Si se analiza la centralidad de intermediación se observa en la *imagen 10-4* que la misión adquiere un papel preponderante con algunos grupos rebeldes con cierta relevancia. Los nodos más pequeños corresponden a movimientos rebeldes que suelen operar en la zona fronteriza con Uganda y Etiopía, incluido el gobierno

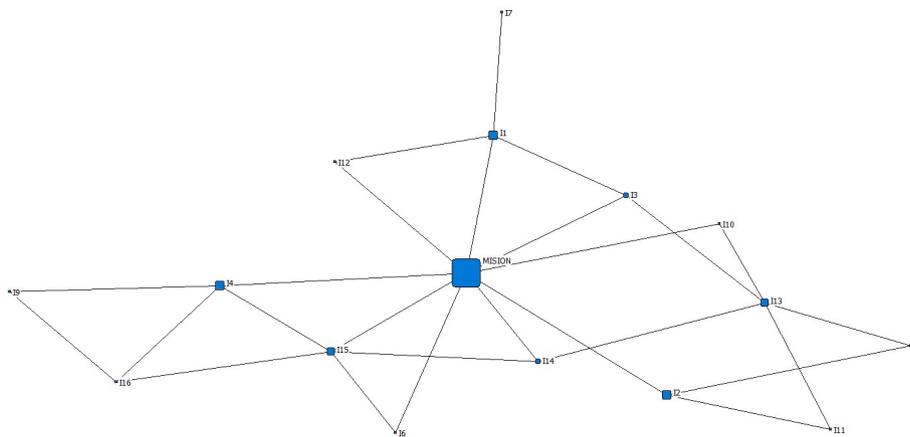


Imagen 10-4. Red de interesados de UNMISS. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor).

A continuación, a partir de los datos de nodos, enlaces y componentes fuertemente conexos se obtiene la complejidad ciclomática:

En este caso, al ser una red no dirigida, el número de enlaces será la mitad de los enlaces obtenidos mediante el programa UCINET. Los datos de nodos y enlaces se pueden ver en la *imagen 10-5*:

```

whole network measures
                                1
                                RED UNM
                                ISS
-----
1      # of nodes                16
2      # of ties                 52
3      Avg. Degree               3.250

```

Imagen 10-5. Red de interesados de UNMISS. Nodos y enlaces (Fuente: Autor).

Se obtienen ahora los componentes fuertemente conexos mediante el programa UCINET. En el caso de la UNMISS se han obtenido 7 componentes como puede observarse en la *imagen 10-6*:

```

Minimum Set Size:
Input dataset:
7 cliques found.
1:  I4 MISION I15
2:  I6 MISION I15
3:  MISION I14 I15
4:  I1 I3 MISION
5:  I1 MISION I12
6:  I4 I9 I16
7:  I4 I15 I16

```

Imagen 10-6. Red de interesados de UNMISS. Componentes fuertemente conexos (Fuente: Autor).

Se estudia en primer lugar la complejidad:

a) **Complejidad estructural.** Analizando la red de información con los interesados se obtienen los siguientes parámetros:

- Número de enlaces (E): 26
- Número de nodos (N): 16
- SSC: 7

$$ECyM(PN) = 26 - 16 + 7 = 13 \quad (10.1)$$

Se obtiene una complejidad ciclomática de 13, por tanto, según lo indicado en el [apartado 7.2](#) de este trabajo de investigación, al ser mayor que 10 y menor o igual que 20, la misión UNMISS tiene una complejidad estructural de 3.

b) **Complejidad dinámica.** En este caso se observa que el número de nodos que tiene la red es de 16, por tanto, según lo indicado en el [apartado 7.2](#) de este trabajo de investigación, al ser menor de 25 nodos, la misión UNMISS tiene una complejidad dinámica de 4.

Por tanto, la complejidad total de la misión UNMISS será de:

$$CT = 10 - (3 + 4) = 3 \quad (10.2)$$

Al ser el valor de la complejidad total igual a 3, según lo indicado en el [apartado 7.2](#) de este trabajo de investigación, la misión UNMISS se corresponde con un proyecto complejo.

En cuanto al riesgo se debe estudiar tanto el riesgo estructural como la dinámica. El listado de riesgos para cada misión es específico de esta. Sin embargo, un listado completo de posibles riesgos en una misión de paz está establecido en el manual de gestión para misiones de las Naciones Unidas del Instituto Internacional de Paz del IPI (International Peace Institute, 2012).

Obtenemos en primer lugar la tabla de riesgos para la misión UNMISS (*Imagen 10-7*).

RIESGOS. UNMISS	
DENOMINACIÓN	REPRESENTANTE
R1	Mandato
R2	Coordinación
R3	Planificación estratégica
R4	Planificación operativa
R5	Política de acuerdos
R6	Riesgo corporativo
R7	Comprensión mandato por personal
R8	Incomprensión cultural
R9	Cadena de mando
R10	Plan de seguridad
R11	Plan de evacuación
R12	Desarme
RP	Riesgo sistémico
RA	Organización
RB	Planificación
RC	Comunicación
RD	Seguridad
RE	Toma de decisiones

Imagen 10-7. Tabla de principales riesgos de la misión UNMISS (Fuente: Autor).

Estudiando la tabla de riesgos, se tiene la siguiente red, extraída de los informes de la misión (*imagen 10-8*). En este caso, existe la situación que algunos riesgos no se dieron en el mismo tiempo de la misión.

En este caso, el riesgo corporativo ERM estaba representado por el Riesgo intermedio RA que definía la pérdida de prestigio de la misión y la confluencia de intereses con la UA.

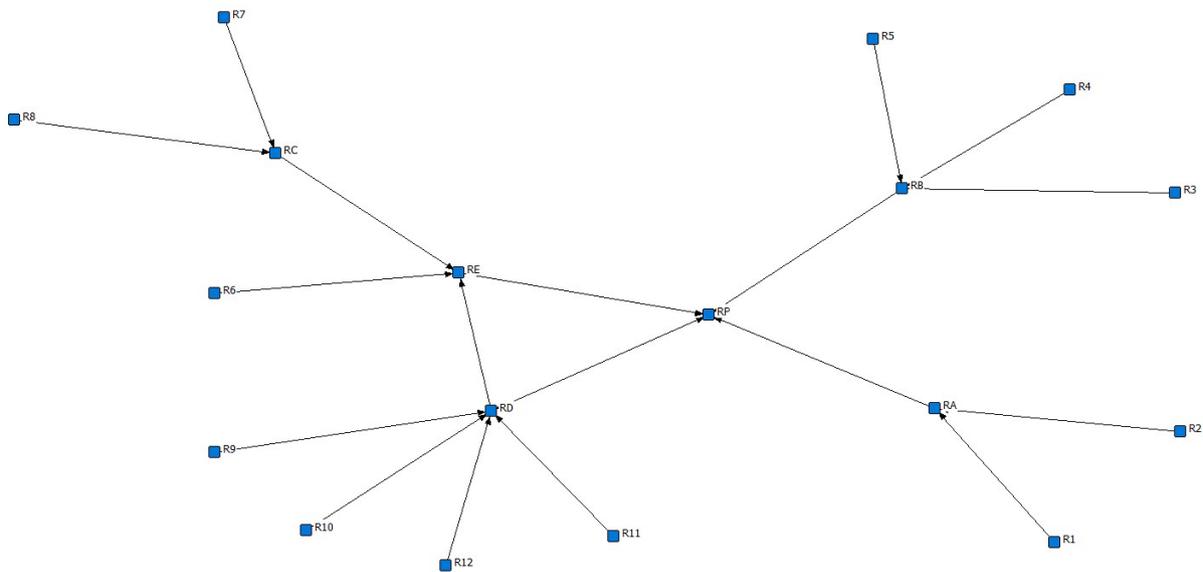


Imagen 10-8. Red de riesgos de la misión UNMISS (Fuente: Autor).

Si se observa ahora la *imagen 10-9*, la centralidad de intermediación se obtiene ahora, que los nodos principales son los que reúnen los riesgos y esta se va haciendo mayor a medida que llega al riesgo sistémico.

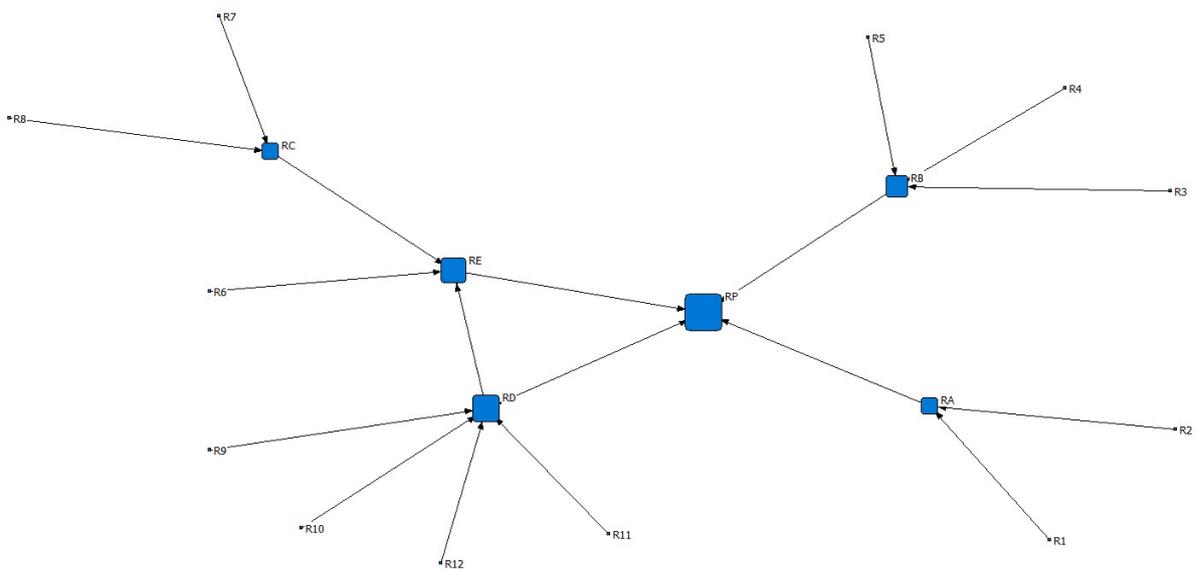


Imagen 10-9. Red de riesgos de UNMISS. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor).

Se obtienen ahora los principales parámetros de la red (*imagen 10-10*) para poder calcular la complejidad ciclomática. La red de riesgos, al ser una red tipo árbol no tiene componentes fuertemente conexas.

```

whole network measures
                                1
                                RED RIE
                                SGOS UN
                                MISS
                                -----
1                                # of nodes 18
2                                # of ties 19
3                                Avg Degree 1.056

```

Imagen 10-10. Red de riesgos de UNMISS. Datos generales red (Fuente: Autor).

a) **Riesgo estructural.** De la red de riesgos principales se obtienen los siguientes parámetros:

- Número de enlaces (E): 19
- Número de nodos (N): 18
- SSC: 0

$$ECyM(PN) = 19 - 18 + 0 = 1 \quad (10.3)$$

Al tener la misión UNMISS una complejidad ciclomática de 1, según lo indicado en el [apartado 7.3](#) de este trabajo de investigación, al ser menor que 10, la misión UNMISS tiene un riesgo estructural de 0.

b) **Riesgo dinámico.** En este caso, se observa que el número de nodos que tiene la red es de 18, según lo indicado en el apartado 7.3 de este trabajo de investigación, al ser menor que 50, la misión UNMISS tiene un riesgo dinámico de 4.

Por tanto, el riesgo total de la misión UNMISS es:

$$RT = 10 - (0 + 4) = 6 \quad (10.4)$$

Al ser el valor de riesgo total igual a 6, según lo indicado en el [apartado 7.3](#) de este trabajo de investigación, la misión UNMISS se corresponde con un proyecto de riesgo moderado. Se presenta, a continuación, en la *imagen 10-11*, la tabla de evaluación de idoneidad:

Cultura	Aceptación del enfoque	5	Esta misión proviene de otra anterior más versátil, la UNMIS. La actual adopta una misión primordial que es la protección de civiles. Su enfoque integrado por lo que puede tener aspectos de enfoque predecibles y ágiles al mismo tiempo.
	Confianza en el equipo	6	Los informes corroboran que los equipos de trabajo, realizan su labor muy descentralizadamente pero deben pedir autorización al representante de la misión por lo que dicha confianza no es total.
	Toma de decisiones del equipo	4	Se da libertad a los equipos de las oficinas en la toma de decisiones sobre distribución de alimentos donde se requiere, reuniones, actos culturales. Sin embargo las decisiones de seguridad y de gestión general de paz y de conflicto se toma jerárquicamente.
Proyecto	Complejidad	3	Estudio de la complejidad total en base a la complejidad estructural y la complejidad dinámica.
	Riesgo	6	Estudio del riesgo total en base al riesgo estructural y el riesgo dinámico
	Entrega	9	La OMP no está en su fase final, ni se espera actualmente una terminación inmediata.
Equipo	Tamaño del equipo	6	De la documentación revisada, el "staff" de dirección la componen una media de 80-100 personas con capacidad de decisión. En la documentación de la página web vienen 409 personas, pero del organigrama de la misión se deduce que esta se reduce considerablemente.
	Niveles de experiencia	6	Aparentemente con la descentralización de la misión en 10 oficinas y las nuevas herramientas de gestión ágil integradas en el CPAS muy probablemente la experiencia en ambiente de incertidumbre está por encima de la media.
	Acceso a los interesados	3	También se destaca que las oficinas descentralizadas tienen acceso a los líderes locales y regionales para mantener reuniones sobre temas que pueden afectar a la mejora de calidad de vida.

Imagen 10-11. Tabla de evaluación de idoneidad de la misión UNMISS (Fuente: Autor).

El diagrama de idoneidad de enfoque, imagen 10-12, es el siguiente:

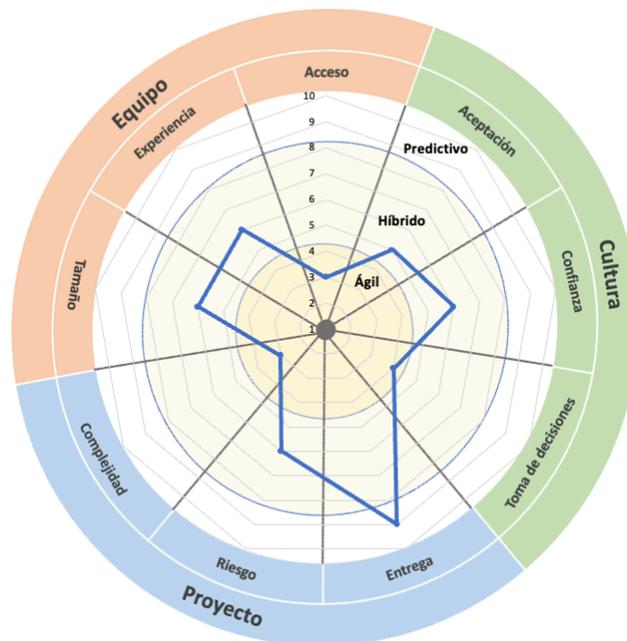


Imagen 10-12. Diagrama de idoneidad de enfoque modificada de la misión UNMISS (Fuente: Autor).

Se puede observar que, por los resultados obtenidos, parece que el enfoque más adecuado sería el híbrido por tres razones, la primera es por el tamaño y la experiencia que tiene el equipo de la misión, la segunda por la confianza y la aceptación del equipo sobre la cultura del enfoque híbrido, y en tercer lugar por un riesgo moderado. Es de destacar que en la dimensión proyecto, las tres perspectivas que lo componen se diferencian en el tipo de enfoque para su resolución. Mientras que la complejidad está más en un enfoque ágil, el riesgo está en un enfoque híbrido y la entrega está en un enfoque predictivo. En esta misión, la complejidad viene a responder al cambio radical de la misión por el inicio de la guerra civil. El riesgo viene por la respuesta al

planteamiento inicial de la misión al establecimiento de campos de protección y de control de una misión tradicional de primera o segunda generación y la entrega por la imposibilidad de finalizar la misión, lo que requería un enfoque más conservador, un enfoque predictivo.

10.1.3. Análisis de éxito en UNMISS.

A continuación, se analiza si la misión UNMISS fue exitosa. Para ello se utilizan las ocho dimensiones sugeridas en el [apartado 9.2.4](#) desde una perspectiva estratégica y operativa.

La situación que encontró la misión UNMISS en Sudán del Sur era política, social y económicamente grave. La existencia de una guerra civil interétnica intratable con una sociedad dividida no solo por la guerra, sino también por matanzas indiscriminadas suponía un gran desafío para la misión. El país tenía sus infraestructuras totalmente destruidas y su economía dependía en gran medida de las fluctuaciones del precio del petróleo y de la ganadería.

a) Primacía de la política y organización de elecciones.

La misión UNMISS tenía como misión principal la formación de un nuevo estado, comenzar a administrar la gobernanza y organizar elecciones. Sin embargo, se encontró con una guerra civil. Su análisis de riesgos no fue acertado, dado que el riesgo principal era una posible guerra entre Sudán y Sudán del Sur por los yacimientos petrolíferos (A. (lead A. Day et al., 2019, pp. 47–49).

Como puede observarse en la *imagen 10-13*, el índice de la gobernanza ha ido disminuyendo, desde 2013, a lo largo de los años, desde la guerra civil en 2013.



Imagen 10-13. Índice de gobernanza en Sudán del Sur (Fuente: Day et al.).

Desde que comenzara la guerra civil en 2013, la dirección de la misión se ha revisado de acuerdo con cuatro objetivos básicos: proteger los derechos humanos; asegurar la llegada de asistencia a la población civil; lograr la estabilización, y la no externalización del conflicto.

En el período que va desde que comienza la guerra civil hasta la firma del actual acuerdo en vigor en 2018, no se ha podido primar la política, ni organizar elecciones, por lo que se puede considerar este aspecto como fracaso.

b) Protección y estabilización.

Esta ha sido la principal función de la misión, no sólo por la guerra civil, sino también por la violencia del gobierno y grupos de la oposición que no suscribieron el acuerdo de paz.

La respuesta de UNMISS, a este nivel de violencia, fue establecer zonas controladas para protección de refugiados protegidos por fuerzas de la misión. Estas zonas pudieron proteger a más de 200.000 personas (Ry, 2019).

Desde 2017, además de esta tarea primordial, se han realizado esfuerzos para construir una paz que pueda estabilizar el país intentando reducir los niveles de violencia, las violaciones de los derechos humanos, y mejorar la gestión de la ayuda humanitaria.

Se puede considerar, en este sentido, que la UNMISS ha sido un claro éxito, aunque ha habido quejas, en el sentido de que las fuerzas militares de la misión podrían haber jugado un papel más allá de la vigilancia de los centros de protección (A. Day, 2019).

c) Propiedad local y nacional.

UNMISS es una de las misiones más descentralizadas de las que actualmente están en vigor [89]. Dispone de una red de oficinas (10), cada una de ellas dirigida por un gerente que reporta al enviado de la misión. Cada gerente, puede reunirse con líderes que considere esencial para su comunidad, potestad para poder resolver problemas locales como escasez de alimentos, infraestructura y actividades culturales. Puede también coordinar con otros gerentes para resolver problemáticas de seguridad o de abastecimiento de recursos entre varias zonas. Esta estructura descentralizada le permite, a cada gerente, tener una actitud cercana a la población y eso hace que la población considere la misión como un elemento importante en su bienestar.

Se puede considerar, por tanto, que la misión en este aspecto se puede considerar como un éxito.

d) Soporte regional e internacional.

Desde el acuerdo de paz de 2018, los países vecinos y las potencias internacionales han mostrado cada vez menos interés en el proceso de paz de Sudán del Sur y es menos probable que participen o financien misiones relacionadas con Sudán del Sur (Ry, 2019).

Se puede considerar que es un fracaso de la misión dado que no ha sabido mantener el interés con una perspectiva temporal más amplia.

e) Coherencia y participaciones.

La misión UNMISS ha cumplido su mandato en un entorno incierto y ha demostrado su capacidad para adaptarse al cambio. En ese sentido, la misión puede considerarse un éxito. Sin embargo, la participación en él, especialmente del gobierno de Sudán del Sur

y sus continuas obstrucciones a la misión han entorpecido algunas de las iniciativas de la misión. Es posible que el mayor interesado como es el gobierno central no haya sido bien atendido ni informado, ni se le ha hecho partícipe. (Ry, 2019, p. 3).

Por tanto, se puede concluir que, en este sentido, la misión debería a ver hecho un esfuerzo mayor con aquellos interesados que menos estaban dispuestos a implicarse.

f) Legitimidad, imparcialidad y credibilidad.

Uno de los cometidos de la UNMISS es apoyar los acuerdos de paz bajo el paraguas del mandato al que está sujeto. Este cometido lo realiza a través de tres acciones: apoyar a la IGAD en su proceso de fortalecer la gobernanza del país; verificar el acuerdo de alto el fuego de 2015, y participar en todas aquellas reuniones que se realicen para buscar nuestros puntos de unión de distintos interesados y que se sumen al proceso de paz. Este último cometido lo está realizando con diferentes comunidades enfrentadas como los “Fertit” y los “Dinka” en la zona de Raja, o con el apoyo al diálogo entre las comunidades de “Waal” y “Ayié”. También con la realización de conferencias interestatales sobre migración de ganado en Marial Bai (A. Day et al., 2019, p. 72).

Se puede considerar que a pesar del intento de la misión de crear encuentros entre partes enfrentadas no ha logrado disminuir la violencia por lo que se puede considerar que en este apartado la misión ha sido un fracaso.

g) Mujeres, paz y seguridad.

Desde el inicio de la guerra civil en 2013, ha sido constante el número de denuncias de mujeres por violencia sexual. Un estudio de las Naciones Unidas de 2015 sobre esta circunstancia mostró que más del 70% de las mujeres habían sido violadas en Juba, incluso en los campamentos controlados por las fuerzas de pacificación (A. Day et al., 2019, pp. 82–84).

Aunque la UNMISS ha tenido éxito en el establecimiento de tribunales para juzgar estos asuntos, esto no es compatible con este grave problema y con este porcentaje, y produciéndose incluso bajo el mandato de las Naciones Unidas. La gobernabilidad imposibilita la celebración de juicios para castigar a los culpables. Si bien hubo asesoramiento legal para cambiar el enfoque de la misión hacia la protección de los civiles, esta se centró en ayudar a los nacionales del país a progresar en las instituciones jurídicas necesarias para establecer los juicios.

h) Enfoque centrado en las personas.

A pesar de que la UNMISS debía potenciar la protección a la población civil, no ha centrado su misión en las personas, sino en lo que la dirección de la misión denomina “enfoque basado en eventos”.

Este tipo de enfoque, que se describe en el CPAS, considera que las medidas que se adopten deben de estar dirigidas en una dirección definida por el cuerpo directivo de la misión, que diseña la estrategia general. Una vez establecida la estrategia general, se irán estableciendo las acciones necesarias para operar sobre el terreno (protection of civilians team, 2019), de tal forma que, uniendo esta forma de actuar con una descentralización de la gestión, indicado anteriormente, trata de alcanzar los objetivos de la manera más adecuada a la situación. Sin embargo, lo que a priori parece una ventaja, el acercamiento a las personas, no parece que haya dado buen resultado, dado que a veces prima más la elaboración de sesudas estrategias que deben de cumplir plazos, describiéndolas en largos informes que establecer un acercamiento al ciudadano.

Por lo tanto, esta dimensión no ha sido suficientemente elaborada, y su aplicación no ha sido correcta, ya que ha primado más los resultados medidos que los ciudadanos, que al final son los que miden el resultado de las políticas.

Se resume en la *imagen 10-14*, el análisis de éxito de la misión UNMISS. En general, después de analizar las dimensiones, queda claro que la misión no ha tenido el éxito planeado originalmente, ya que pasó de querer construir un país, a proteger a civiles de una guerra civil que comenzó en 2013. Como se pregunta Day (A. Day et al., 2019, pp. 90–96)

«¿cómo puede la ONU apoyar a un país que no tiene legitimidad y que ejerce la violencia contra sus propios nacionales?».

Dimensión	¿Éxito?	Observaciones
Primacía de la política y org. de elecciones	NO	Su principal mandato era la puesta en marcha de la gobernanza y celebración de elecciones. Hecho que no pudo realizarse por análisis erróneo y no reflejar como mayor posibilidad una guerra civil en Sudán del Sur.
Protección y estabilización	SI	Se crearon zonas de protección amparadas por la UNMISS que consiguieron proteger a más de 200.000 personas. Se redujeron las matanzas a episodios esporádicos.
Propiedad local y nacional	SI	Gestión distribuida del mandato. Posee 10 oficinas en el país. Cercanía con la población y sus problemas.
Soporte regional e internacional	NO	Creciente desinterés en los actores internacionales y regionales por la estabilización del país.
Coherencia y participaciones	NO	Aunque la misión es coherente con el mandato recibido. Apoya un gobierno y una gobernanza que limita los derechos de sus nacionales y a los propios miembros de la misión.
Legitimidad, imparcialidad y credibilidad	NO	Aunque el nivel de violencia ha disminuido y ha aumentado la credibilidad, apoyando las conversaciones entre comunidades tribales para reducir la tensión, no se está reflejando en la situación política y social. Falta una comunicación directa con la población. No se aporta seguridad jurídica a los nacionales.
Mujeres, paz y seguridad	NO	No se ha impedido desde una actuación a nivel general, los numerosos abusos sexuales cometidos en mujeres, incluso en los propios campos gestionados por la UNMISS. La falta de gobernanza ha eliminado la posibilidad de juzgar estos actos.
Enfoque centrado en las personas	NO	La UNMISS centrado en un "enfoque basado en los hechos" bajo unas directrices estratégicas que no ha permeado hacia acciones sobre el terreno en personas.

Imagen 10-14. Análisis de éxito de la misión UNMISS por estudio de dimensiones (Fuente: Autor).

10.2. República Democrática del Congo.

Este segundo caso, al igual que en el anterior, se caracteriza porque el inicio de la operación de mantenimiento de la paz, MONUSCO, comenzó después de la finalización de la misión MONUC. Al igual que en el caso anterior, tuvo que hacer cambios estratégicos sobre su mandato inicial, debido a errores con el análisis de contenidos y riesgos en la zona.

10.2.1. Antecedentes.

La huida masiva de tutsis, más de un millón de personas, a raíz de las masacres efectuadas por los hutus en Ruanda en 1993 desequilibró la frágil situación política y social del antiguo Zaire. La unión entre miembros de la oposición política al régimen político de Zaire, con miembros de la etnia tutsi desplazados, apoyados por Uganda iniciaron una guerra civil y derrocaron al gobierno del presidente Mobutu. En 1997, los rebeldes ocuparon Kinshasa y rebautizaron al Zaire como República Democrática del Congo (RDC).

En 1998, las fuerzas de la oposición, que ahora ocupaban el poder, se enfrentaron en una nueva guerra civil. Por un lado, las fuerzas del presidente Kabila, con el apoyo de Angola, Chad, Namibia y Zimbabue, se enfrentaron a los opositores apoyados por Ruanda, Burundi y Uganda, en los que se ha dado en llamar la primera guerra general en África.

En 1999, las Naciones Unidas, ante la situación de crisis humanitaria debido a la situación de guerra total, aprueban la Resolución 1234/99 instando al cese de toda violencia y a la instauración de la paz. En junio del mismo año, se firma el Acuerdo de Lusaka, que obliga a Naciones Unidas y a la Unión Africana a “desplegar fuerzas de mantenimiento de la paz para implementar el acuerdo” (Díaz Barrado et al., 2006, p. 158).

Ese mismo año, las Naciones Unidas aprueban la Resolución 1279/1999 donde se crea la misión integrada MONUC con tareas de protección civil, asistencia humanitaria y apoyo al proceso de instauración de la paz. Esta misión se fue prorrogando hasta 2010, aumentando cada año sus efectivos. Cuando expiró la última renovación, el presidente Kabila pidió una retirada gradual de los efectivos.

En 2001, el presidente Kabila es asesinado, sucediéndole su hijo Joseph Kabila. Se rompen las hostilidades en varios puntos de país, y comienza de nuevo la guerra civil. Al año siguiente, en 2002, se firman los acuerdos de Sun City que permiten la retirada de Uganda y Zimbabue de las zonas de controlaban y de la guerra.

Estos acuerdos permiten, además, aumentar los efectivos de la MONUC. Puede observarse en la *imagen 10-15*, como ha ido evolucionando el personal de MONUC/MONUSCO en función de los acontecimientos políticos y sociales ocurridos en el país.

En 2003, la Unión Europea lanzó la “Operación Artemisa” en la localidad de Bunia, al este de RDC, al borde del desastre humanitario, y en apoyo de la misión MONUC. La colaboración de ambas organizaciones continuará, hasta que se celebren elecciones en RDC en 2006. La

situación se va estabilizando después de las elecciones, firmándose acuerdos entre las partes en conflicto, que no se respetan, reanudándose la guerra civil en 2008.

Ese mismo año, centenares de personas son asesinadas en la provincia oriental de Kiwanja, al este del país, en un recrudecimiento de la violencia contra civiles.

En 2009, se firmó el Acuerdo de Goma (RDC) entre el gobierno congoleño y varios de los grupos opositores y formaliza de nuevo, una nueva situación de paz general en el país. Esta nueva situación permite que Naciones Unidas de por terminada la misión MONUC, eminentemente militar, y mediante la resolución 1925/2010 crea la misión MONUSCO, de carácter integral y cuyo objetivo era estabilizar la paz y promover nuevas elecciones en el país.

La situación se deteriora nuevamente en 2012 por un levantamiento de fuerzas opositoras al gobierno en la zona oriental del país, apoyadas por diversos países vecinos del RDC. La situación llega a ser extremadamente compleja y las Naciones Unidas autorizan, en 2013, el envío de fuerzas militares, dentro de la misión MONUSCO para hacer frente a esta nueva situación.

En 2013, ante las repetidas derrotas de los grupos armados que se habían levantado, se acordó, en Addis Abeba, un marco de paz entre la RDC y los países vecinos y potencias regionales sobre la no injerencia en los asuntos políticos del país. Este acuerdo fue avalado por la ONU, UA, CIRLG¹⁸ y SADC¹⁹.

El presidente Joseph Kabila debería haber terminado su mandato en 2016, pero se mostró reacio a renunciar al poder. En 2017, en la región de Goma, al este del país y frontera con Uganda, se produce el asesinato de 15 miembros de la misión MONUSCO. Después de presiones desde diferentes organismos internacionales, el presidente congolés, cede la presidencia en 2018, y se anuncian nuevas elecciones presidenciales.

La actual situación en RDC desde 2018 se puede denominar como de paz precaria, sobre todo en la zona oriental, fronteriza con Uganda.

Para una mayor profundización de lo acontecido en Sudán y Sudán del Sur, leer (Badmus, 2017; Malan & Boshoff, 2002; ONU_MONUSCO, 2020; ONU_UNDP, 2013; Reynaert, 2011).

¹⁸ Conferencia Internacional sobre la Región de los Grandes Lagos.

¹⁹ Comunidad Internacional de Desarrollo de África Austral.

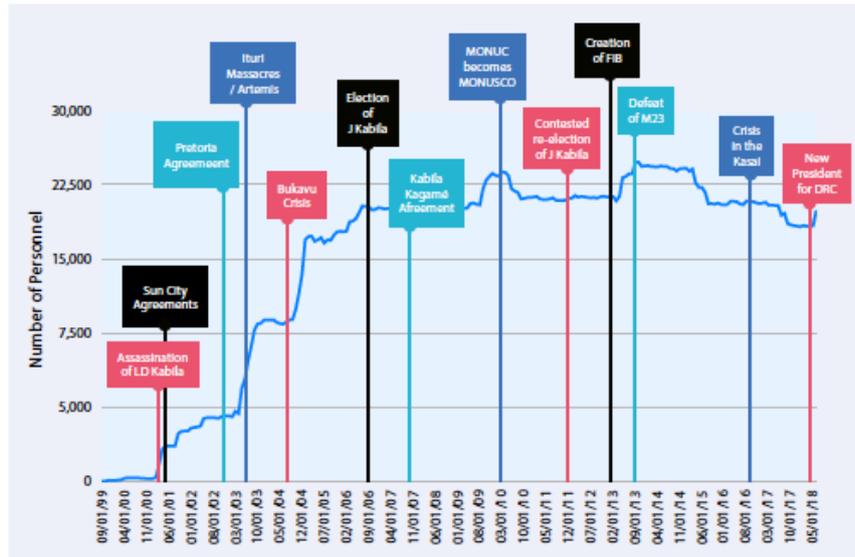


Imagen 10-15. Relación de personal de la misión MONUC/MONUSCO respecto de la situación política de la RDC (Fuente: Novosseloff et al.).

10.2.2. Enfoque en MONUSCO.

El tipo de enfoque, de esta misión, se analizó en (Álvarez-Espada et al, Op. Cit.) con la herramienta de idoneidad original, descrita en el [subcapítulo 7.1](#) de este trabajo de investigación.

El estudio de los tres dominios (Proyecto, Equipo y Cultura) y sus nueve parámetros obtuvo que su enfoque era de tipo híbrido muy cercano a un enfoque predictivo. Este tipo de situación se da, con bastante frecuencia, cuando se tiene una misión de gran tamaño y existen problemas específicos que deben ser resueltos con una gestión adaptativa, como es el caso de las continuas violaciones de alto el fuego y crisis entre contendientes en la zona oriental del país. El resultado se puede ver en la *imagen 10-16*:

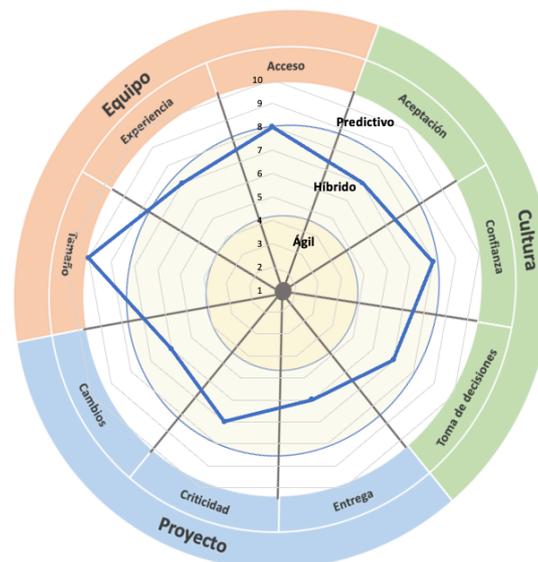


Imagen 10-16. Diagrama de idoneidad de enfoque de la misión MONUSCO. (Fuente: Autor).

Se aplica ahora la herramienta reformada que incluye complejidad y riesgo descrita en el [subcapítulo 7.4](#). En este caso los informes de la MONUSCO y de diversos autores (Bayo, 2012; Malan & Boshoff, 2002; Novosseloff et al., 2019; ONU_MONUSCO, 2020; ONU_UNDP, 2013).

Se establece en primer lugar la tabla de interesados que se han detectado a través de la bibliografía sobre el período de la misión MONUSCO, posterior a la segunda guerra continental de África en República Democrática del Congo (*Imagen 10-17*).

Tal como se indicó en el apartado anterior, y a través de la bibliografía consultada, durante el conflicto de la República Democrática del Congo, ha habido dos grandes guerras continentales en África.

La primera entre los años 1996 – 1997 fue de carácter intraestatal entre el gobierno Congoleño de Mobutu apoyado por Francia, República Centroafricana, China, Kuwait e Israel, fuerzas rebeldes establecidas en el este del país y fuerzas rebeldes apoyadas por Sudáfrica, Zambia, Etiopía, Zimbabue, Tanzania y EE.UU. Esta guerra dio paso a la misión MONUC de Naciones Unidas.

La segunda guerra continental y que dio paso a la MONUSCO fue una guerra que combinó aspectos de guerra interestatal e intraestatal.

GRUPO INTERESADOS. MONUSCO	
DENOMINACIÓN	REPRESENTANTE
I1	República de Uganda
I2	República de Ruanda
I3	República de Burundi
I4	República de Tanzania
I5	República de Zambia
I6	República de Angola
I7	Comunidad Tutsi en el Congo (Banyamulenge)
I8	Ejército para la liberación de Ruanda (ALIR)
I9	MISIÓN
I10	Gobierno de la República Democrática del Congo
I11	Grupos de defensa tribales MAI-MAI
I12	Refugiados Hutus procedentes de Ruanda
I13	Frente patriótico Ruandés (FPR)
I14	Rally por la Democracia Congoleña (RCD)
I15	República de Zimbabue
I16	República de Namibia
I17	República de Angola (UNITA)
I18	Movimiento de liberación para el Congo (MLC)
I19	Ejército de Resistencia del Señor (LRA)
I20	Fuerzas Democráticas para la Liberación de Ruanda (FDLR)
I21	Unión nacional para la independencia total de Angola (UNITA)
I22	Organización paramilitar hutu (Interahamwe)
I23	Consejo Nacional para la defensa de la Democracia (CNDD)
I24	Frente de liberación nacional (FROLINA)
I25	Unión de Patriotas Congoleños (UPC)
I26	Fuerzas para la Renovación del Congo (RDC/K-ML)

Imagen 10-17. Tabla con los principales interesados en el conflicto de RDC (Fuente: Autor).

Se establece en primer lugar, con la información disponible, la red de interesados del conflicto. Dicha red que se presenta en la *imagen 10-18*, tiene aparentemente una zona central donde se aglutinan muchos interesados. En este caso, se representan los elementos de gobernanza de RDC y la misión más las agencias agregadas. En los extremos se encuentran las fuerzas rebeldes y opositores al gobierno:

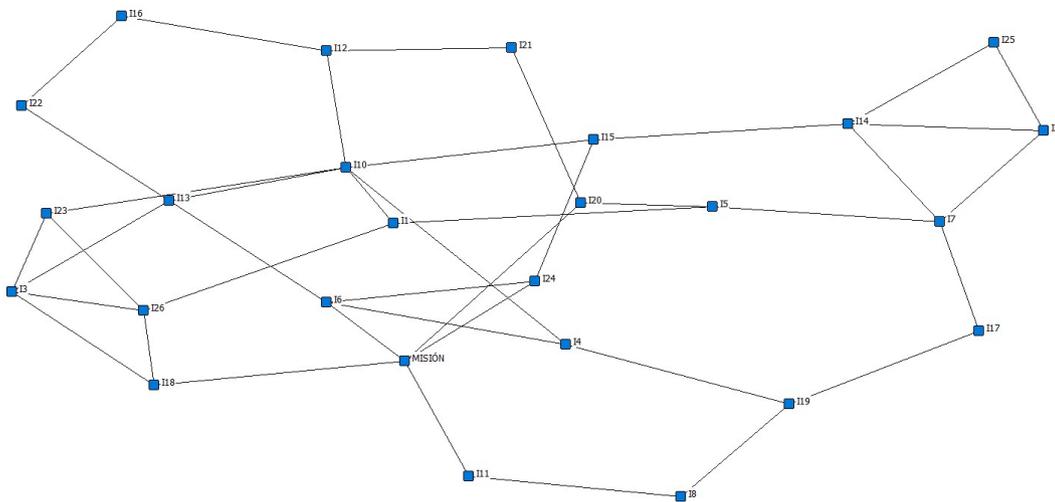


Imagen 10-18. Red de interesados e interrelaciones de MONUSCO (Fuente: Autor).

Si se analiza la centralidad de intermediación se observa en la *imagen 10-19*, que la misión no tiene un papel central en los interesados. En este conflicto, quien adquiere el protagonismo es el gobierno congoleño (110) y las fuerzas opositoras, que en el momento del análisis se encontraban en negociaciones (2018-2020). Los nodos más pequeños corresponden a elementos de la sociedad civil y países que han ido desapareciendo de los interesados principales a raíz de los acuerdos firmados para la no intromisión en la política congoleña.

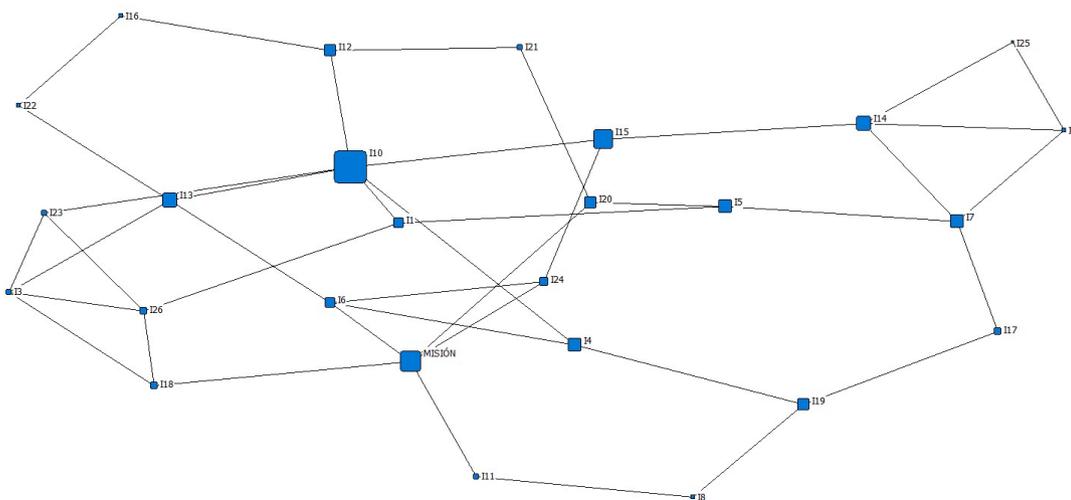


Imagen 10-19. Red de interesados de MONUSCO. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor).

A partir de los datos de nodos, enlaces y componentes fuertemente conexos se obtiene la complejidad ciclomática:

En este caso, al ser una matriz cuadrada la que se ha utilizado y ser una red no dirigida, el número de enlaces será la mitad de los enlaces obtenidos mediante el programa UCINET. Los datos de nodos y enlaces se pueden ver en la *imagen 10-20*:

```

whole network measures
                                1
                                RED MONU
                                SCO
-----
1      # of nodes                26
2      # of ties                 82
3      Avg Degree                3.154

```

Imagen 10-20. Red de interesados de MONUSCO. Nodos y enlaces (Fuente: Autor).

Se obtienen ahora los componentes fuertemente conexos (ver *imagen 10-21*). En el caso de la MONUSCO se han obtenido 5 componentes fuertemente relacionados:

```

Minimum Set Size:
Input dataset:
5 cliques found.
1: I2 I7 I14
2: I2 I14 I25
3: I3 I18 I26
4: I3 I23 I26
5: I6 MISION I24

```

Imagen 10-21. Red de interesados de MONUSCO. Componentes fuertemente conexos (Fuente: Autor).

Se estudia en primer lugar la complejidad:

a) **Complejidad estructural.** Analizando la red de información con los interesados se obtienen los siguientes parámetros:

- Número de enlaces (E): 41
- Número de nodos (N): 26
- Número SSC: 5

$$ECyM(PN) = 41 - 26 + 5 = 20 \quad (10.1)$$

Se obtiene una complejidad ciclomática de 20, por tanto, según lo indicado en el [apartado 7.2](#) de este trabajo de investigación, al ser mayor de 10 y ser menor o igual a 20, la misión MONUSCO tiene una complejidad estructural de 3.

b) **Complejidad dinámica.** En este caso, el número de nodos que tiene la red es de 26, por tanto, según lo indicado en el [apartado 7.2](#) de este trabajo de investigación, al ser mayor de 25 nodos y menor que 100 nodos, la misión MONUSCO tiene una complejidad dinámica de 2.

Por tanto, la complejidad total de la misión MONUSCO será de:

$$CT = 10 - (3 + 2) = 5 \quad (10.2)$$

Al ser el valor de la complejidad total igual a 5, según lo indicado en el [apartado 7.2](#) de este trabajo de investigación, la misión MONUSCO se corresponde con un proyecto moderadamente complejo.

En cuanto al riesgo se debe estudiar tanto el riesgo estructural como la dinámica. Obtenemos en primer lugar la tabla de riesgos para la misión MONUSCO (*Imagen 10-22*).

RIESGOS. MONUSCO	
DENOMINACIÓN	REPRESENTANTE
R1	Visión general del conflicto
R2	Motivación para acuerdos
R3	Política de acuerdos
R4	Coordinación
R5	Planificación estratégica
R6	Mandato
R7	Coordinación
R8	Plan de gestión de seguridad
R9	Desarme de fuerzas combatientes
R10	Gestión de problemas
R11	Estudio de alternativas
R12	Toma de decisiones
R13	Implementación de decisiones
RP	Riesgo sistémico
RA	Liderazgo
RB	Organización
RC	Comunicación
RD	Riesgo corporativo
RE	Seguridad
RF	Toma de decisiones

Imagen 10-22. Tabla de riesgos de la misión MONUSCO (Fuente: Autor).

En cuanto al riesgo se debe estudiar tanto el riesgo estructural como el riesgo dinámico. Estudiando la red de riesgos, se tiene la siguiente red, mostrada en la *imagen 10-23*, extraída de los informes. En este caso, existen algunos riesgos como R4 y R10 que son precursores de otros riesgos. En este caso significa que la falta de coordinación en la misión puede afectar a la situación en el que un cierto grupo rebelde reciba apoyo de un país vecino, planteando un cambio en la gestión de problemas R10 que, a su vez puede torpedear las negociaciones de paz y afectar a R5, esto puede afectar a una campaña de erradicación del ébola, pudiendo no solo provocar una emergencia sanitaria, sino que además puede provocar que la ayuda internacional pueda no llegar, lo que podría provocar un riesgo sistémico en la misión por una nueva escalada bélica.

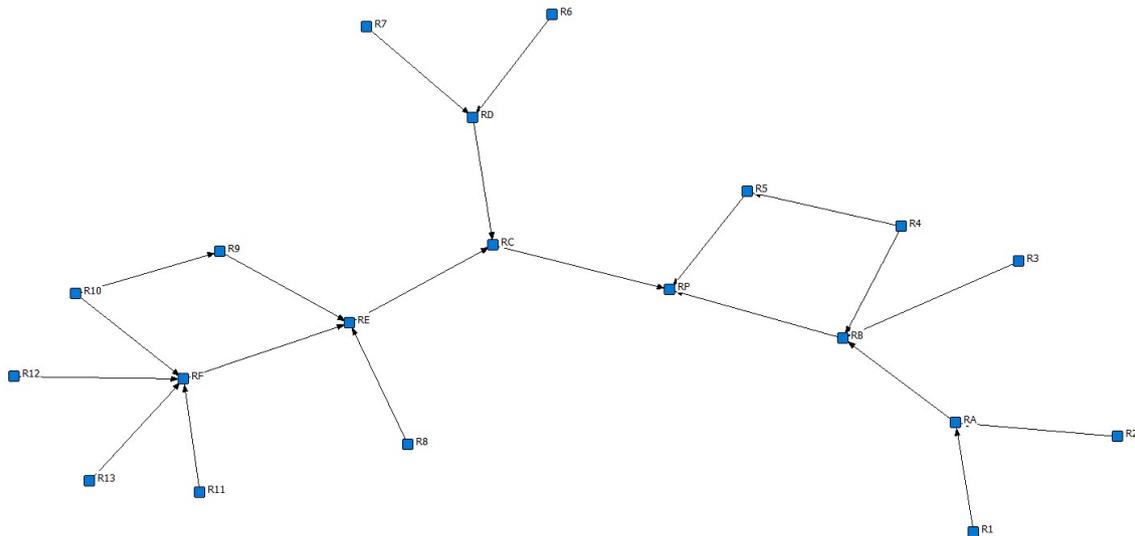


Imagen 10-23. Red de riesgos de la misión MONUSCO (Fuente: Autor).

En este caso, el riesgo corporativo ERM estaba definido por el riesgo intermedio RD que, como en el caso de la UNMISS devenía en un descredito de la misión y por otro lado la posible intromisión de países vecinos. Si se observa la *imagen 10-24* ahora la centralidad de intermediación se obtiene que los nodos principales son los que reúnen los riesgos y se va haciendo mayor a medida que llega al riesgo sistémico.

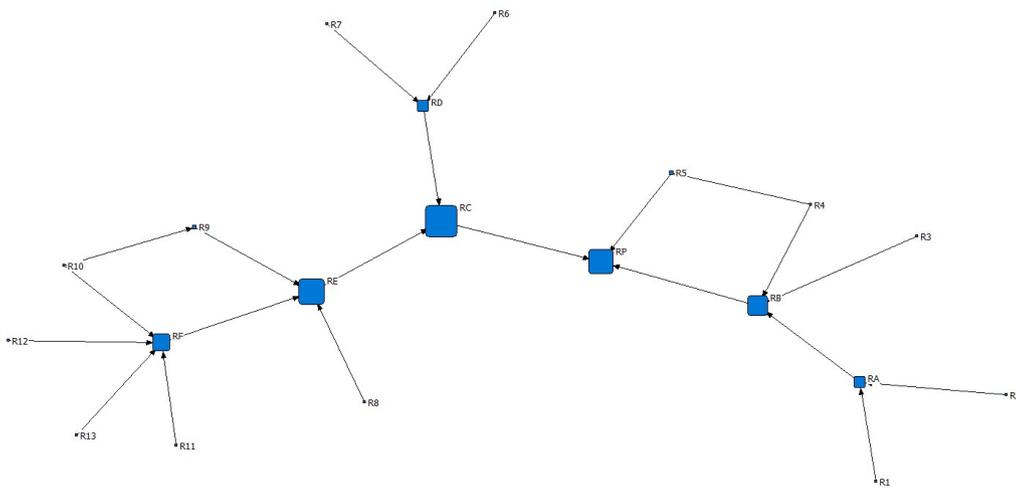


Imagen 10-24. Red de riesgos de MONUSCO. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor).

Se obtienen ahora los principales parámetros de la red para poder calcular la complejidad ciclomática. La red de riesgos, al ser una red tipo árbol no tiene componentes fuertemente conexas (*imagen 10-25*).

El diagrama de idoneidad de enfoque es el siguiente:

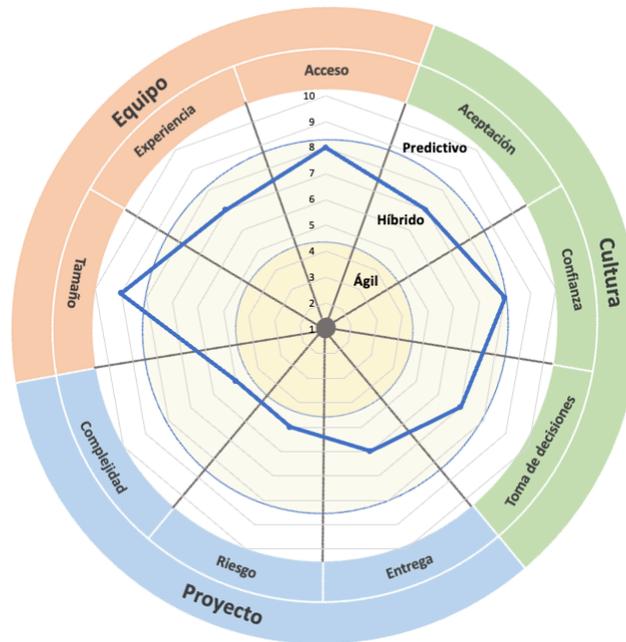


Imagen 10-27. Diagrama de idoneidad de enfoque reformado de la misión MONUSCO. (Fuente: Autor).

En la imagen 10-27 se puede observar que la misión MONUSCO se asigna a un enfoque totalmente híbrido, salvo por el tamaño de la misión que se vio incrementada por la llegada de personal para hacer frente a los grupos rebeldes en el este del país. En cuanto a la complejidad, se puede observar que se encuentra situada en la zona híbrida. En este caso debido seguramente a la situación de inicio de misión más política y el paso posterior a una visión más gestora. En el caso del análisis de riesgos, no parece que haya una situación de riesgo compleja dado que se tienen controlados los riesgos, sobre todo los riesgos pandémicos con la epidemia del ébola, y se tienen también controlados los riesgos de enfrentamiento entre el gobierno y los grupos rebeldes después de la entrada de las fuerzas militares que dieron apoyo a la misión MONUSCO y que hizo que se produjeran conversaciones de paz de manera inmediata.

10.2.3. Análisis de éxito en MONUSCO.

A continuación, se analiza el éxito de la misión MONUSCO. Para ello se revisan, de nuevo, las ocho dimensiones propuestas en el apartado 9.2.4, de este trabajo de investigación, desde una perspectiva estratégica y operativa.

a) Primacía de la política y organización de elecciones.

Si algo destaca del breve resumen hecho en los antecedentes de este caso, son los múltiples acuerdos de paz que se han firmado desde el inicio de la misión MONUSCO y su predecesora. Cada proceso ha ido incrementando la paz en amplias zonas del país, a

pesar de las constantes muestras de inestabilidad, sobre todo, en la zona oriental, frontera con Uganda.

Como sucesora de la MONUC, esta misión destaca por la falta de liderazgo político, en comparación con la anterior. En el período de 2002 – 2006, cuando se alcanzaron los primeros acuerdos y resultó elegido presidente Laurent Kabila, se puede considerar a la misión MONUSCO como exitosa. Sin embargo, su influencia sobre los contendientes ha ido menguando hasta ser insignificante en las elecciones celebradas en 2018, debido a la falta, sobre todo, de cooperación del gobierno congoleño (Novosseloff et al., 2019, pp. 70–76).

Los perfiles de los diferentes representantes que han ido dirigiendo esta misión, han ido cambiando desde un tipo más político a un tipo más gerencial. Por tanto, la actividad política de los nuevos representantes, aunque sin perder el contacto con la realidad política del país, ha disminuido y su interés por integrar a todos los interesados, especialmente al gobierno congoleño, ha menguado. (Bayo, 2012, pp. 917–918).

A pesar de todo, se puede considerar que, en este apartado, la misión MONUSCO se puede considerar como un éxito.

b) Protección y estabilización.

De manera similar al punto anterior, la efectividad de la misión ha evolucionado con el tiempo. En este sentido, la presión constante de los grupos rebeldes locales, a pesar de contar con el apoyo de países limítrofes o potencias regionales, fue constante a lo largo de la misión, como se ha comentado en los antecedentes.

Se destaca dos momentos importantes, el primero, los disturbios generales en todo el país hasta 2012 (caída de Mobutu, asesinato de Kabila y la intervención de fuerzas armadas en auxilio de MINUSCO). El segundo, los constantes levantamientos de fuerzas opositoras en el este del país, donde RDC tiene frontera con Ruanda, Burundi y Uganda, que desde 2012 hasta 2015 han provocado muertos en dicha zona (ver *imagen 10-28*).

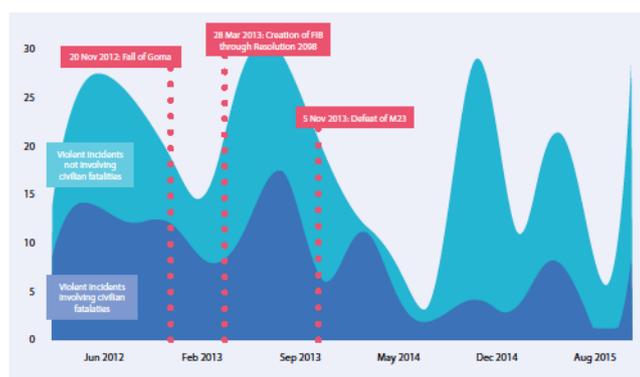


Imagen 10-28. Número de muertos en la zona oriental de RDC (Fuente: ONU).

Se ha de destacar, que las diferentes estrategias promovidas por los diferentes representantes de la misión MONUSCO, con la firma de numerosos acuerdos de paz, incluyendo cada vez a más interesados, han tenido éxito y han logrado estabilizar al país.

En cuanto a la protección, la situación es desigual y dos hechos dificultan el progreso: la falta de cooperación del gobierno congoleño, y la falta de recursos para promover nuevas medidas, que hubieran permitido despliegues necesarios para la salvaguarda de la población civil (ONU_UNDP, 2013, pp. 10–11).

A pesar de los fracasos de los movimientos insurgentes ALIR y FDLR, el apoyo del gobierno congoleño no ha sido el más apropiado para el conflicto que se estaba produciendo (Novosseloff et al., 2019, pp. 14–18).

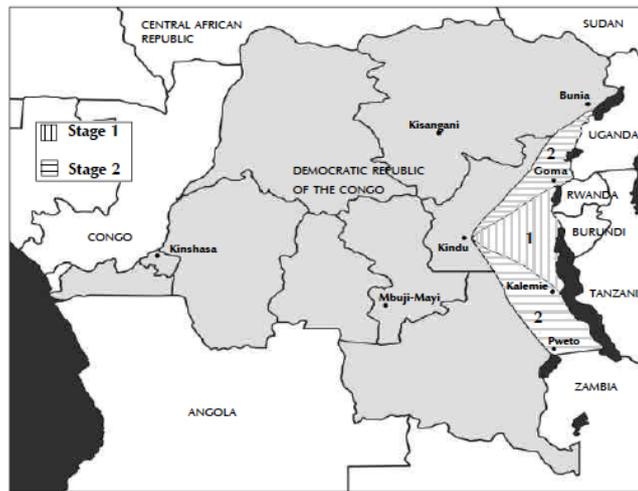


Imagen 10-29. Focos rebeldes en la zona oriental de la RDC y actuaciones de MONUC/MONUSCO (Fuente: ONU)

Se puede indicar que la misión MONUSCO ha tenido un éxito moderado, ya que ha implementado con éxito el proceso de desarme, desmovilización y repatriación a países de origen de los refugiados. Sin embargo, la situación sigue siendo muy inestable, debido a la persistente presencia de grupos armados en el este del país como puede observarse en la *imagen 10-29*, zona rallada.

c) Propiedad local y nacional.

En esta dimensión, la misión MONUSCO puede considerarse como un fracaso. El gobierno congoleño ha ignorado, en gran medida, las reformas propuestas desde los diferentes representantes de la misión. Su obstinación a realizar cambios políticos, primando a las élites y sus milicias ha evitado que la paz prevaleciera después de la firma de los diferentes tratados.

Ha hecho ver a la población, que la misión de Naciones Unidas no era una misión de paz, sino una misión de “intervención”, por tanto, no ha tenido la posibilidad de que pudiera

ser propietaria de la misión. Justamente lo contrario, parece ser que ha ocurrido entre las distintas facciones de los rebeldes (Novosseloff et al., 2019, pp. 96–99).

El único hecho reseñable, aunque de poca relevancia a nivel nacional, ha sido la cooperación en cierto nivel, para detener a autores de violaciones de los derechos humanos.

d) Soporte regional e internacional.

La constante injerencia de los países vecinos, y de las potencias regionales en los asuntos internos de la República Democrática del Congo, ha supuesto una dificultad en el establecimiento de la paz en el país. La gradual estabilización de la paz ha sido posible, gracias a las actuaciones militares que se han efectuado en situaciones específicas, interponiéndose, al modo de las operaciones de primera y segunda generación, entre facciones y derrotando a las fuerzas rebeldes que procedían de otros países (Malan & Boshoff, 2002, pp. 6–14).

Pero las acciones, no siempre coincidentes, de los miembros del Consejo de Seguridad no se han ajustado a lo indicado en su mandato. Esto ha significado que la acción política necesaria para obtener un mejor apoyo se ha pasado por alto reiteradamente (Novosseloff et al., 2019, pp. 98–99).

No obstante, puede considerarse un éxito porque la situación del país, y de la región, es mucho mejor actualmente que hace diez años.

e) Coherencia y participaciones.

La misión MONUSCO, como otras misiones con larga duración temporal, ha encontrado dificultades para conservar la coherencia de su mandato original, dado que, durante su ciclo de vida, hasta ocho han sido los representantes de la misión. Debe tenerse en cuenta el cambio de actitud de su naturaleza de acción, de la política a la gestión. Esto ha hecho que, en los últimos años de la misión, la ineficiencia en las relaciones con la sociedad civil, y la falta de cooperación con el gobierno congoleño haya sido la tónica general (Howard, 2008, p. 307).



Imagen 10-30. Relación de la MONUC/MONUSCO con los interesados de la misión. (Fuente: ONU).

Como se observa en la *imagen 10-30*, y como elemento principal de la gestión de todo proyecto, se necesitan mantener las relaciones con los diferentes stakeholders. Dichas relaciones deben ser permanentes y deben, también renovarse, para que sus objetivos sean alcanzables. MONUSCO ha fallado en este objetivo, debido a la poca interactividad de sus últimos representantes con los interesados más importantes, y sobre todo al cambio de naturaleza de su misión. Hubiera sido más efectivo mantener la misión MONUC mucha más imperativa a la hora de mantener a los interesados en la misma línea de acción (Peter, 2015, pp. 315–316).

f) Legitimidad, imparcialidad y credibilidad.

Como se mencionó anteriormente, la legitimidad y, sobre todo la imparcialidad, son aspectos importantes que deben cultivarse con los interesados de la región en conflicto. En este aspecto, las primeras fases de la misión, continuadora de la MONUC, obtuvo un gran éxito al evitar la secesión de algunas zonas del país. Este hecho fue reconocido ampliamente por el gobierno congoleño y por la población en general.

Sin embargo, en el aspecto político, la misión MONUSCO en sus últimas fases, fue perdiendo su presencialidad pública, propiciando con ello una falta de sintonía con el gobierno congoleño.

No obstante, hay que reconocer que, en otros campos, como la sanidad, con el apoyo al control del Ébola, o la distribución de recursos alimentarios a zonas del país en conflicto, ha sido reconocido por la opinión pública.

Se puede indicar, por tanto, que en este apartado la misión MONUSCO se puede considerar como un éxito, en general.

g) Mujeres, paz y seguridad.

MONUSCO ha tenido éxito en promover a las mujeres en la sociedad congoleña, a través de campañas de capacitación, por un lado, y al proponer enjuiciar y denunciar actos de

violencia sexual contra las mujeres, por el otro. La misión ha logrado mantener la vinculación entre gobiernos congoleño, facciones, ONG y otras agencias de Naciones Unidas (Powerful et al., 2009).

Otro aspecto destacable de la misión ha sido la amplia campaña que realizó MONUSCO, para prevenir el reclutamiento de los denominados “niños soldados” y su posterior desmilitarización

Finalmente, cabe señalar el descontento público causado por los ataques y acciones hostiles de algunos elementos civiles y militares de MONUSCO, contrarios a los valores de las Naciones Unidas. No obstante, y a pesar de este hecho, la misión, en esta dimensión puede considerarse un éxito (León Lavín, 2016).

h) Enfoque centrado en las personas.

Las continuas campañas de sensibilización en diferentes ámbitos por parte de MONUSCO hacia la población civil, elemento clave de la nueva visión sobre las operaciones de paz integrales, tuvieron un éxito limitado, debido a la limitación de recursos, por lo que no se ha producido el efecto esperado. Por tanto, la población local ha considerado en algunos momentos a la misión como “extraña”.

La parte civil de MONUSCO, que podría haber efectuado acciones más duraderas sobre la población no pudo hacerlo, debido, sobre todo a la incapacidad de la parte militar en evitar la proliferación de grupos armados, por falta de recursos.

Por tanto, se puede considerar que el enfoque ha sido defectuoso y se puede considerar, salvo excepciones, un fracaso (Novosseloff et al., 2019, pp. 111–112).

En general, tras analizar las ocho dimensiones, los principales éxitos de la misión han sido: reducir el impacto de la violencia local y nacional; contribuir a facilitar el proceso electoral y mejorar la gobernanza y, en última instancia, a mejorar las condiciones de vida de las mujeres y los niños, contribuyendo al resurgimiento de la sociedad civil congoleña.

La misión también ha tenido fracasos debido sobre todo, a la poca colaboración por falta de entendimiento entre el gobierno congoleño y la misión en sus últimas fases. Un stakeholder tan importante, no puede quedar apartado de la solución al problema de gobernabilidad del país. Otros interesados, en los cuales la misión si tuvo éxito, fueron los países limítrofes y potencias regionales que han creado bastantes inconvenientes a la misión.

Por último, en algunos aspectos, la amplitud del territorio del país ha sido un problema para la misión, sobre todo en algunas fases, lo que ha significado cambios de dirección en la gestión y falta de perspectiva estratégica.

Se resume, a continuación en la *imagen 10-31*, el análisis de éxito de la misión MONUSCO:

Dimensión	¿Éxito?	Observaciones
Primacía de la política y org. de elecciones	SI	Su principal mandato era la puesta en marcha de la gobernanza y celebración de elecciones. Hecho que viene refrendado por las numerosas elecciones celebradas y el asentamiento de la gobernanza.
Protección y estabilización	SI	La firma de numerosos acuerdos intranacionales y regionales con grupos violentos ha disminuido la inestabilidad de todo el país, manteniéndose la precariedad en Goma, en la zona oriental del país.
Propiedad local y nacional	NO	Las reformas propuestas por la misión en la protección de los nacionales y sus derechos se han visto recortadas por la acción del gobierno y sus milicias.
Soporte regional e internacional	SI	Creciente estabilización de país con la firma de acuerdos con los países limítrofes.
Coherencia y participaciones	NO	Poca efectividad en las relaciones del personal de la misión con la sociedad civil congoleña, alentadas adicionalmente por su gobierno. Poca participación en acciones sociales y culturales.
Legitimidad, imparcialidad y credibilidad	SI	Las acciones de la misión en el control del ébola, la disminución de la violencia a pesar de la poca colaboración del gobierno congoleño, la estabilización de la zona oriental y la creación de zonas de seguridad ha dado legitimidad y credibilidad a la misión a ojos de la población.
Mujeres, paz y seguridad	SI	La misión ha conseguido la promoción de la mujer dentro de la sociedad congoleña, además de fomentar campañas para evitar abusos sexuales. La integración en la misión de ONG's ha sido fundamental para mejorar la seguridad de la mujer.
Enfoque centrado en las personas	NO	La vertiente civil de la misión con la misión de acercamiento a la población desde un punto de vista social no se ha visto acompañado por un desarrollo de la sociedad en general. Falta de medios centrándose más en estabilización.

Imagen 10-31. Análisis de éxito de la misión MONUSCO por estudio de dimensiones (Fuente: Autor).

10.3. Haití

En este tercer caso, al igual que en casos anteriores, la misión analizada (MINUSTAH) fue precedida por varias misiones anteriores, muy cortas temporalmente y que solo abarcaban aspectos parciales de transición política, estabilidad y seguridad policial. La misión analizada abarcaba de manera más completa la restauración de la seguridad y el establecimiento de un entorno estable en el país.

10.3.1. Antecedentes.

En realidad, las Naciones Unidas han venido desarrollando distintos programas en Haití , desde los años 1990 hasta 2004, (UNMIH (1993 - 1996), UNSMIH (1996 – 1997) , UNTMIH (1997), MINOPUH (1997-2000) que tras la dictadura “Duvalier” (Papa y Baby Doc), quien fue depuesto por un golpe de estado en 1.986, y una serie de gobiernos democráticos, inestables por violencia política, sucedidos por gobiernos militares o interinos, generaron periodos muy breves de estabilidad que se interrumpían por los sucesivos golpes de estado, y que fueron provocando, a lo largo de los años , un clima de crisis institucional, económica, social y política que motivaron que el 1 de Junio de 2.004 se creara, por el Consejo de Seguridad de la ONU la MINUSTAH,(Misión de Estabilización de las Naciones Unidas en Haití) Resolución 1542 del Consejo de Seguridad, durante el conflicto armado en varias zonas del país tras el exilio del presidente Aristide, con una serie de objetivos para estabilizar el país, permitiendo una transición política en un “entorno seguro y estable” para superar las secuelas del autoritarismo,

representados por grupos paramilitares que imponían el terror con sus violaciones de derechos humanos con asesinatos, secuestro y violaciones.

Ello unido a la grave crisis institucional, motivó a las Naciones Unidas a esta misión, donde uno de sus objetivos era la instauración de una conciencia democrática liberal, a través más de cien oficinas repartidas en los diez departamentos gubernamentales. Se vio reforzada en el año 2.010, tras el terremoto de 12 de enero, con 220.000 víctimas y el brote de cólera posterior, que provocó que el país que ya estaba muy empobrecido se viera abocado a una grave crisis económica. Dicha misión ha permanecido trece años, con apoyo de fuerzas militares para mantener la paz social y las violaciones de derechos humanos generados por las prácticas de vudú y los “tonton macoutes” (hombre del saco), grupos paramilitares seguidores de los que prestaban sus servicios a padre e hijo dictadores, generalizados en su época (1957 a 1986).

En octubre de 2.017, en opinión de muchos de forma apresurada, el Consejo de Seguridad entendió que el país ya estaba en condiciones de afrontar su proceso de forma autónoma, y por resolución 2350, en el mes de octubre de 2.017 cerró la misión, configurando una más pequeña de apoyo a la justicia MINUJUSTH, que se desplegó en las mismas sedes que la MINUSTAH como puede apreciarse en la siguiente *imagen 10-32*.

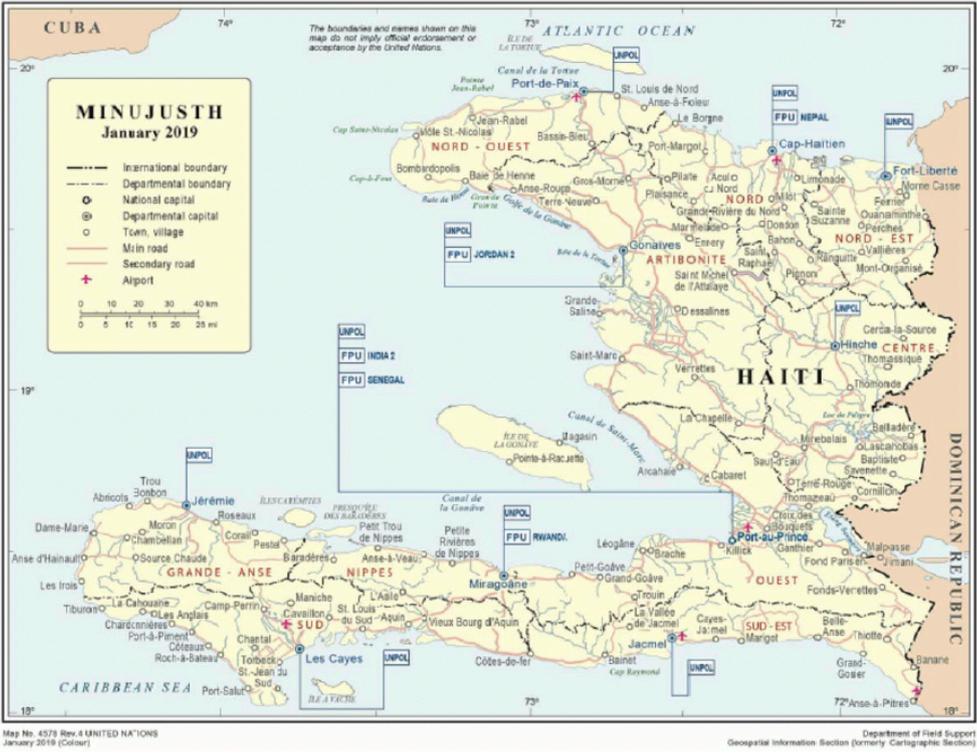


Imagen 10-32. Despliegue de la misión MINUJUSTH (Fuente: ONU).

Para una mayor profundización de lo acontecido en Haití leer (S/RES/1542, 2004; Corbet, 2016; Dorn, 2009; Feo Valero, 2017; Melero Alonso, 2012; MINUSTAH, 2019; Serrano Caballero, 2007; Zavaleta Hernández & Franco Silva, 2020)

10.3.2. Enfoque en MINUSTAH.

Se aplica ahora la herramienta de idoneidad de enfoque, reformada, que incluye complejidad y riesgo, y que descrita en el [subcapítulo 7.4](#).

La información que da lugar a los valores numéricos en los parámetros analizados proviene en su gran mayoría de los informes de la misión que pueden ser leídas en la web de la misiones de paz de Naciones Unidas. Cabe resaltar, la poca información adicional existente sobre las misiones en Haití, fuera de los diferentes informes de Naciones Unidas, y que retrotraen al cierre efectivo de la misión.

Se establece en primer lugar la tabla de interesados que se han detectado a través de la bibliografía sobre el conflicto en Haití (ver *imagen 10-33*).

GRUPO INTERESADOS. MINUSTAH	
DENOMINACIÓN	REPRESENTANTE
I1	Empresas petrolíferas
I2	Misión MINUSTAH
I3	Gobierno Haití
I4	EE.UU.
I5	TonTon Macuts
I6	Sociedad civil
I7	Élites económicas
I8	Ex-Militares
I9	República Dominicana

Imagen 10-33. Tabla con los principales interesados en el conflicto de Haití

A partir de esta tabla se crea la red de interesados del conflicto. Se puede observar en la *imagen 10-34*, que la red es homogénea.

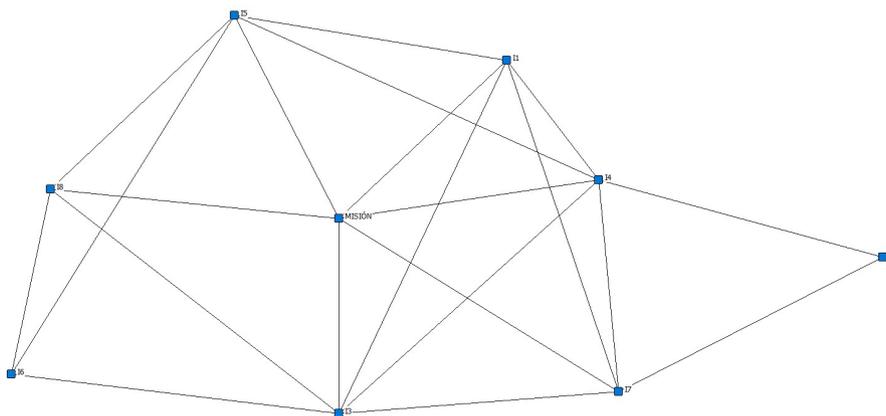


Imagen 10-34. Red de interesados e interrelaciones de MINUSTAH (Fuente: Autor).

Si se analiza la centralidad de intermediación se observa en la *imagen 10-35*, que la misión no tiene un papel central en los interesados, pero se encuentra entre tres interesados con un nivel de intermediación superior al de la propia misión. Se trata del gobierno haitiano, el gobierno

norteamericano, muy interesado en la estabilidad de la región, a 70 km de Cuba y la principal red criminal de Haití.

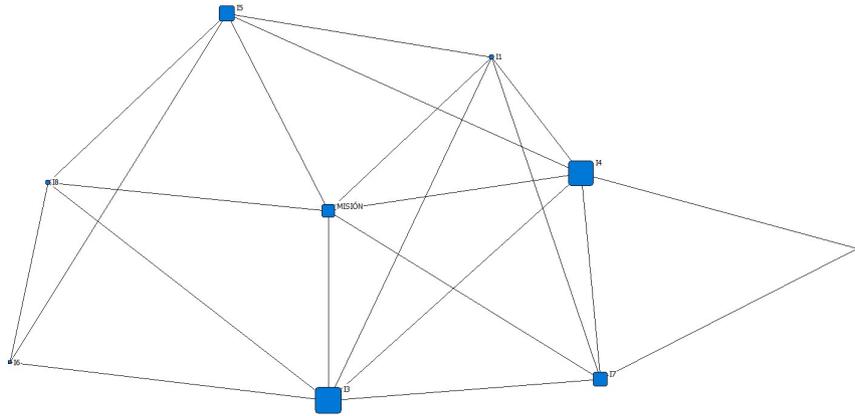


Imagen 10-35. Red de interesados de MINUSTAH. Centralidad de intermediación (Fuente: Autor).

A partir de los datos de nodos, enlaces y componentes fuertemente conexos se obtiene la complejidad ciclomática:

En este caso, al ser una matriz cuadrada la que se ha utilizado y ser una red no dirigida, el número de enlaces será la mitad de los enlaces obtenidos mediante el programa UCINET. Los datos de nodos y enlaces se muestran ver en la imagen 10-36:

```

whole network measures
                                1
                                RED MINU
                                STAH
                                -----
1      # of nodes                9
2      # of ties                 42
3      Avg_Degree                4.667
  
```

Imagen 10-36. Red de interesados de MINUSTAH. Nodos y enlaces (Fuente: Autor).

Se obtienen ahora los componentes fuertemente conexos. En el caso de la MINUSTAH se han obtenido 7 componentes, como puede observarse en la imagen 10-37:

```

7 cliques found.
1:  I1 MISION I3 I4 I7
2:  I1 MISION I4 I5
3:  MISION I5 I8
4:  MISION I3 I8
5:  I5 I6 I8
6:  I3 I6 I8
7:  I4 I7 I9
  
```

Imagen 10-37. Red de interesados de MINUSTAH. Componentes fuertemente conexos (Fuente: Autor).

Se estudia en primer lugar la complejidad:

- a) **Complejidad estructural.** Analizando la red de información con los interesados se obtienen los siguientes parámetros:

- Número de enlaces (E):

- Número de nodos (N): 9
- Número SSC: 7

$$ECyM(PN) = 21 - 9 + 7 = 19 \quad (10.9)$$

Se obtiene una complejidad ciclomática de 19, por tanto, según lo indicado en el [apartado 7.2](#) de este trabajo de investigación, y al ser mayor que 10 y menor o igual que 20, la misión MINUSTAH tiene una complejidad estructural de 3.

- b) **Complejidad dinámica.** En este caso se observa que el número de nodos que tiene la red es de 9, por tanto, por tanto, según lo indicado en el [apartado 7.2](#) de este trabajo de investigación, al ser menor de 25 nodos, la misión MINUSTAH tiene una complejidad dinámica de 4.

Por lo tanto, la complejidad total del proyecto de la EDAR será de:

$$CT = 10 - (3 + 4) = 3 \quad (10.10)$$

Al ser el valor de la complejidad total igual a 3, según lo indicado en el [apartado 7.2](#) de este trabajo de investigación, la misión MINUSTAH se corresponde con un proyecto complejo.

En cuanto al riesgo se debe estudiar tanto el riesgo estructural como la dinámica. Obtenemos en primer lugar la tabla de riesgos para la misión MINUSTAH (*Imagen 10-38*).

RIESGOS. MONUSCO	
DENOMINACIÓN	REPRESENTANTE
R1	Coordinación
R2	Desarrollo
R3	Planificación estratégica
R4	Planificación operativa
R5	Gestión de la seguridad
R6	Plan de evacuación
R7	Desarme
RP	Riesgo sistémico
RA	Organización
RB	Planificación
RC	Gestión de la seguridad

Imagen 10-38. Tabla de riesgos de la misión MINUSTAH (Fuente: Autor).

En cuanto al riesgo se debe estudiar tanto el riesgo estructural como el riesgo dinámico. Al estudiar la red de riesgos, se tiene la siguiente red representada en la *imagen 10-39*, extraída de los informes.

a) **Riesgo estructural.** De la red de riesgos principales se obtienen los siguientes parámetros:

- Número de enlaces (E): 13
- Número de nodos (N): 11
- Número SSC: 0

$$ECyM(PN) = 13 - 11 + 0 = 2 \quad (10.11)$$

Al tener la misión MINUSTAH una complejidad ciclomática de 2, según lo indicado en el [apartado 7.3](#) de este trabajo de investigación, al ser menor que 10, la misión MINUSTAH tiene un riesgo estructural de 0.

b) **Riesgo dinámico.** En este caso, se observa que el número de nodos que tiene la red es de 11 nodos, por tanto, según lo indicado en el [apartado 7.3](#) de este trabajo de investigación, al ser menor que 50, la misión MINUSTAH tiene un riesgo dinámico de 4.

Por tanto, el riesgo total de la misión MINUSTAH es:

$$RT = 10 - (0 + 4) = 6 \quad (10.12)$$

Al ser el valor de riesgo total igual a 6, según lo indicado en el [apartado 7.3](#) de este trabajo de investigación, la misión MINUSTAH se corresponde con un proyecto de riesgo moderado.

Se presenta, a continuación, en la *imagen 10-41*, la tabla de evaluación de idoneidad. En la *imagen 10-42* se representan los resultados obtenidos:

Cultura	Aceptación del enfoque	8	La misión tenía unos objetivos muy marcados y solamente se modificó por el terremoto 2010 y sucesivos brotes cólera posteriores.
	Confianza en el equipo	8	Los informes corroboran que los equipos de trabajo, realizan su labor muy descentralizadamente pero deben pedir autorización al representante de la misión por lo que dicha confianza no es total.
	Toma de decisiones del equipo	7	Se da libertad a los equipos de las oficinas en la toma de decisiones sobre distribución de alimentos donde se requiere, reuniones, actos culturales. Sin embargo las decisiones de seguridad y de gestión general de paz y de conflicto se toma jerárquicamente.
Proyecto	Complejidad	3	Estudio de la complejidad total en base a la complejidad estructural y la complejidad dinámica.
	Riesgo	6	Estudio del riesgo total en base al riesgo estructural y el riesgo dinámico
	Entrega	8	La misión terminó 2017, pero todavía sigue vigente algunas de sus tareas en la misión sobre MINUJUSTH.
Equipo	Tamaño del equipo	7	De la documentación revisada, el "staff" de dirección la componen una media de 120 personas con capacidad de decisión. En la documentación de la página web vienen 350 personas.
	Niveles de experiencia	7	Aparentemente con la descentralización de la misión en 10 oficinas y las nuevas herramientas de gestión ágil integradas en el CPAS muy probablemente la experiencia en ambiente de incertidumbre está por encima de la media.
	Acceso a los interesados	8	No se tuvo mucho acceso a los interesados. Sobre todo a personas de importancia media.

Imagen 10-41. Tabla de idoneidad de enfoque de la misión MINUSTAH (Fuente: Autor).

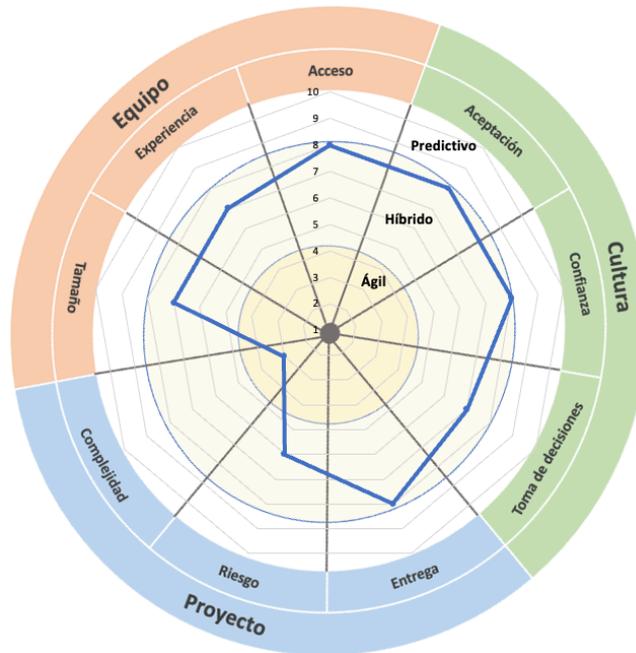


Imagen 10-42. Diagrama de idoneidad de enfoque modificado de la misión MINUSTAH (Fuente: Autor).

Puede observarse que el resultado parece corresponder a un enfoque híbrido con cercanía a un enfoque predictivo (debido a la necesidad de las fuerzas policiales a actuar sobre las bandas armadas y la situación de penuria de la población civil). Respecto a la complejidad se encuentra en el extremo de un proyecto ágil, debido a la situación cambiante, sobre todo, de la situación de la misión.

10.3.3. Análisis de éxito en MINUSTAH.

Se analiza a continuación si la misión MINUSTAH ha sido un éxito o no. Para ello se vuelven a considerar las ocho dimensiones propuestas en el [apartado 9.2.4](#) y desde un punto de vista estratégico y operacional.

a) Primacía de la política y organización de elecciones.

Haití es una República presidencialista que tiene aprobada una Constitución desde 1.987, pero que ha sido suspendida en varias ocasiones por golpes de estado, el primero de ellos para derrocar al Presidente Aristide, y el tercero en 2.004, que fuerza la intervención de la ONU, y que permitió en 2.006 tras un proceso electoral “tutelado”, y fue convocada para sustituir al presidente interino Alexandre, que culminó con designación del presidente René Preval, (quien ya había sido elegido Presidente de 1.996 a 2.001).

Posteriormente, y con el apoyo de las fuerzas internacionales, se volvieron a convocar elecciones en noviembre de 2.010, cerrándose la segunda vuelta en marzo de 2.011, siendo designado Michel Martelly.

Aun bajo los auspicios del programa MINUSTAH en 2.016, ya que fueron pospuestas en varias ocasiones, se celebraron elecciones donde se designó como presidente de Haití a Jovenel Moise.

b) Protección y estabilización

La instauración de la misión por parte de la ONU contiene una serie de disposiciones de carácter humanitario en su mandato, como ayudar al gobierno haitiano a elaborar programas de prestación de servicios sociales básicos como salud, nutrición, agua potable e higiene. Asimismo, el apoyo al estado haitiano para reconstrucción de policía, sistema judicial y penitenciario a fin de establecer el Estado de Derecho para proteger los derechos humanos. Desgraciadamente en la historia de este país, los derechos civiles y políticos, pese a ser Haití la primera República independiente “de personas de color” se habían visto violados de forma permanente por bandas armadas, policías corruptos y jueces no independientes al servicio de mandatarios corruptos. Según lo que Naciones Unidas declara en su página web, durante esos trece años “el personal de derechos humanos de MINUSTAH apoyó la protección y promoción de los derechos humanos” Continúa explicando que dicha intervención favoreció la investigación de las denuncias efectuadas, apoyando a la policía y a las instancias judiciales.

La resolución señalaba que MINUSTAH estaría integrada con un contingente militar de 8.940 efectivos (militares y tropa), y un componente de policía de hasta 3.711 integrantes “(Consejo de Seguridad 2010, p1)

Tras el terremoto de 2.010 recibió ayuda humanitaria a través de 980 ONG (Ramachandran 2015, pp 30-44).

A pesar de todo ello, y de la percepción de tales ayudas y el reforzamiento de policía, poder judicial, los desastres naturales, y la enorme pobreza del país que carece prácticamente de industria, turismo y que tiene una economía de subsistencia, donde muchos no alcanzan el umbral mínimo, y solo unos pocos privilegiados mantienen su condición con violencia y corrupción, dominando a la mayoría con hambre y violencia, razones por las que las misiones no han logrado pacificar el conflicto que se ha enquistado de forma permanente al subsistir bandas armadas que controlan pequeños territorios y que siguen generando inseguridad, inestabilidad política , lo cual no favorece el respeto y la protección ansiadas.

c) Propiedad local y nacional.

La misión ha sido muy cuestionada, pues, aunque participaron más de una decena de países sudamericanos, encabezados por Brasil, no logró el objetivo de aportar estabilidad al país, ni contribuyó a dotarlo de mayor nivel de seguridad y desarrollo económico. Según recoge Schuller 2016 páginas 23, en 2010 “casi cuatro quintas partes de la población (78%) ...ganaban menos de 2 dólares por día, y el 55% sobrevivía en promedio de un dólar por día”.

Además, no debe olvidarse que el 12 de enero de 2.010 se produjo el terremoto que provocó 220.000 fallecimientos y 630.000 desplazados (Seitenfus, 2020).

A la pérdida humana hay que añadir los cuantiosos daños materiales. Todo ello motivó una política intervencionista, con recorte de gasto y proliferación de privatizaciones, con una persecución más de intereses particulares que de los generales, que aún acentuaba más la brecha entre ricos y pobres y que agudizaba, si cabe más, la desigualdad entre los grupos y por ende, el conflicto y la violencia. Este capitalismo generó un mayor debilitamiento del sistema, y una mayor desestabilización económica, política y social. A raíz del seísmo, el Consejo de Seguridad amplió las funciones del MINUSTAH convirtiendo al país en el mayor receptor de ayuda humanitaria en América Latina, siendo que el principal donante fue EE.UU., quien aprovechó esta circunstancia para reforzar su presencia militar, que controlaba espacio aéreo y aeropuertos. (Seitenfus, Op. Cit.) Esta situación le permitió asimismo influir en el mercado y las relaciones comerciales, y ese paternalismo unido a las graves desigualdades sociales generaron una mayor insatisfacción en la mayoría de la población. Por lo tanto, no solo se fundamenta en la corrupción del régimen, sino en las circunstancias que han favorecido el capitalismo (Loudior, 2020). Debido al esfuerzo realizado por la misión MINUSTAH la población agradeció la ayuda y la perseverancia de la misión. Por tanto, a pesar de algunas cuestiones, se puede considerar la misión como un éxito.

d) Soporte regional e internacional

El contingente humano militar, policial y diplomático provenía de Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Croacia, Ecuador, El Salvador, España, Estados Unidos, Filipinas, Francia, Guatemala, Honduras, Italia, Jordania, Nepal, Pakistán, Paraguay, Perú, República Dominicana, Sri Lanka y Uruguay, aunque el principal donante a nivel económico y de contingente humano fue EE.UU., quien aprovechó tal circunstancia para utilizar la misión para otros intereses.

Este alto intervencionismo descrito pudo ser una de las causas del fracaso de la misión, por su anticipación en el cierre de la misma y porque contribuyó a la cronificación del conflicto, persistiendo hasta nuestros días al empobrecimiento, y la inestabilidad política y económica, con proliferación de bandas armadas “(un grupo híbrido credo por expolicías, policías en activo y miembros de bandas, una de ellas denominada “Fantome 509”) que con empleo de medios violentos en ocasiones en connivencia con sectores la Policía Nacional Haitiana (PNH) , llegando algunas de estas bandas denominadas “gangs” a controlar amplias zonas del territorio nacional e incluso infraestructuras distribuidoras de hidrocarburos.

Como expone Loudior en (Loudior, 2020. Op.cit.)

“Debemos escuchar lo que Haití le dice al mundo: no se puede ayudar a un pueblo si no se le respeta y si no se le deja ser”.

e) Coherencia y participaciones.

Evidentemente la misión nace con un objetivo claro, ayudar a estabilizar el país y a promover un entorno seguro para implementar un Estado de derecho con respeto a los derechos humanos. Y es legítima por cuanto que nace de una resolución del Consejo de Seguridad, prorrogándose más allá de 2.010 y hasta 2017 por solicitud del entonces Secretario Kofi Annan en base al desastre del seísmo y la grave inestabilidad económica y política del país en esa fecha.

Cosa distinta es la coherencia. Muchos países que prestaron medios humanos y económicos aprovecharon tal coyuntura para intervenir directamente en determinadas áreas ejerciendo control, con lo cual se podría poner en tela de juicio pues se desobedecía de alguna manera el mandato establecido en la Resolución de 2.004 y la de 2.010.

f) Mujeres, paz y seguridad

Con la intervención de la misión, se facilitó la denuncia y conocimiento judicial de múltiples transgresiones de derechos, fundamentalmente violaciones como expusimos anteriormente, que fueron denunciadas en plena misión. Destaca la iniciativa de Amnistía Internacional España, que dirigió una carta firmada por 46.140 personas a la secretaria de Estado de Cooperación Internacional del gobierno de España, expresando la grave preocupación por violencia sexual a mujeres y niñas en campamentos de desplazados de Haití.

Feo Valero (Feo Valero, Op. Cit.) indica que “La respuesta del sistema de Naciones Unidas ante la situación de crisis prolongada en Haití “expresa que la Comisión Interamericana de Derechos Humanos, en un informe de 2.008, ponía en merito los esfuerzos hechos por el país, pero exponía la situación de violencia a la que se veían sometidas mujeres y niños, asumiendo entonces el estado haitiano compromisos de ratificación de los tratados de derechos humanos de los que aún el país no era parte y el establecimiento de un organismo de coordinación entre el gobierno haitiano y los órganos creados por esos tratados , dando mucha importancia a un plan de acción del Ministerio de la Mujer “que incorporaba elementos de prevención, educación pública, reducción de la pobreza y protección para las mujeres”

Pero a la mujer haitiana, sobre todo a la que habita en el ámbito rural, aún le queda un largo camino a recorrer, pues pese a que su Constitución le reserva una cuota de representación del 30% en instituciones parlamentarias, no llega al 3% efectiva. Pese a que por regla general es la que sostiene la familia con su trabajo, sus derechos siguen sin ser respetados, motivado fundamentalmente por su escasa escolarización, lo que impide la inclusión social y política. La mitad de las mujeres quedan embarazadas antes de los 19 años, con una alta tasa de mortalidad maternal. Además de ello, según ONU Mujeres y CARE Internacional nos apuntan que una de cada ocho declara sufrir violencia sexual, fundamentalmente de sus parejas.

g) Enfoque centrado en las personas.

Aunque los objetivos del mandato de ambas resoluciones del Consejo de Seguridad fueron claros, ayudar al pueblo haitiano a crear un entorno seguro y estable para implementar el Estado democrático de derecho, con respeto de los derechos humanos, y a lo largo de los 13 años de permanencia se han intentado avances con la instauración de bases con los contingentes del programa y representantes locales como se explicó anteriormente. Feo Valero (Feo Valero, Op. Cit.) pone el acento en estos avances en los campos de refugiados en orden a la seguridad de su población y programas de formación en derechos humanos, sobre todo respecto a violencia sexual.

No obstante, también se hace eco en el informe de una denuncia por parte de un comisionado firmante, sobre que con la misión se cometieron “actos de barbarie” pero afirma que no existe ninguna otra al respecto. Feo Valero opina citando al experto independiente Michael Forst, que la misión tuvo éxito, porque durante el tiempo que estuvo presente se alcanzaron mayores niveles de seguridad y cierta estabilidad política, aunque el terremoto de 2.010 y sus consecuencias económicas supusieran una marcha atrás en el mismo, hasta esa fecha MINUSTAD había logrado avances en el asentamiento del Estado de Derecho y en una disminución de los actos de violencia y de transgresión de derechos humanos. Consejo de Derechos Humanos, Asamblea General, Informe del Experto independiente sobre la situación de los derechos humanos en Haití, Michel Forst, 3 de mayo de 2010 (Feo Valero, Op. Cit.).

Lo cierto es que los desastres naturales, la inestabilidad política y la extrema pobreza, unido al problema de inseguridad creado por las bandas violentas, han hecho que el pueblo haitiano siga teniendo un país que, desde el cierre de la MINUSTAH en 2.017, se ha vuelto más pobre, mucho más inseguro y exponencialmente más inestable políticamente hablando.

Desde el asesinato en julio de 2.021 de Jovenel Mose y el seísmo de agosto de 2.021 el país ha sido calificado por determinados medios como Estado fallido (Domenianni, 2022).

El politólogo haitiano Joseph Harold Pierre en un debate expone (Pierre, 2022) “Haití más que un estado fallido es un estado inexistente, y no existen condiciones mínimas de seguridad para promover nuevas elecciones y podrían sentarse las bases de una guerra civil”.

Tanto es así que la espiral de violencia ha crecido en las calles, promoviéndose por el Consejo de Seguridad de la ONU el abandono del uso de la violencia y la propuesta de imposición de sanciones por ello.

Se resume, a continuación en la *imagen 10-43*, el análisis de éxito de la misión MINUSTAH:

Dimensión	¿Éxito?	Observaciones
Primacía de la política y org. de elecciones	SI	Su principal mandato era la puesta en marcha de la gobernanza y celebración de elecciones. Hecho que viene refrendado por varias elecciones celebradas y un período de estabilidad política limitada.
Protección y estabilización	SI	La acción protectora de la misión favoreció iniciativas de desarrollo de derechos humanos y un desarrollo económico incipiente.
Propiedad local y nacional	SI	Las reformas propuestas por la misión en la protección de los nacionales y sus derechos se han visto recortadas por la proliferación de bandas armadas.
Soporte regional e internacional	SI	Creciente estabilización de país con la firma de acuerdos con los países limítrofes.
Coherencia y participaciones	NO	Baja efectividad en las relaciones del personal de la misión con la sociedad civil haitiana. Baja participación en acciones sociales y culturales.
Legitimidad, imparcialidad y credibilidad	SI	Las acciones de la misión en la estabilización del proceso democrático, en la distribución de ayuda humanitaria en los desastres naturales y en los procesos de reforzamiento de derechos humanos fue significativa.
Mujeres, paz y seguridad	NO	La misión no ha conseguido el mantenimiento de la paz por la persistencia del crimen organizado. El empoderamiento de la mujer está todavía en sus inicios.
Enfoque centrado en las personas	NO	La presencia de una alta presencia militar ha generado un descontento en la población civil, que sigue viviendo en la extrema pobreza, pese a los esfuerzos de la misión.

Imagen 10-43. Tabla de éxito de la misión MINUSTAH en Haití (Fuente: Autor).

11. CONCLUSIONES.

El hilo conductor de esta tesis ha sido desarrollar una metodología, capaz de analizar qué enfoque puede ser el más adecuado para gestionar un proyecto con éxito, siendo aplicado a misiones de paz de la ONU, como exponente de proyectos complejos.

Esta metodología estaba basada en dos herramientas cualitativas que analizan tanto el enfoque, herramienta de idoneidad de enfoque, como el éxito de un proyecto, en este caso de una misión de paz, mediante la herramienta de análisis dimensional de éxito.

El enfoque, que garantiza que los recursos necesarios estén disponibles, se tenga la gestión más adecuada y que se puedan adaptar estos a los cambios en función de la incertidumbre del entorno, debe ser estudiado lo antes posible. Por ello, la herramienta de idoneidad, que ya había sido utilizada anteriormente por el autor, se reformó para incluir la incertidumbre existente en todo proyecto, tanto a través de la complejidad, como del riesgo sistémico, a través de un análisis Bow-Tie.

Respecto de la complejidad, se ha analizado esta, como una red de procesos en coevolución. Por ello, en la herramienta de idoneidad de enfoque se ha incluido un análisis de *complejidad estructural*, a través de la complejidad ciclomática y un análisis dinámico, a través del parámetro de coevolución g . Se ha definido la fórmula de complejidad total como una operación aritmética donde se incluye la complejidad ciclomática y la *complejidad dinámica* y se ha comprobado sobre un ejemplo, previamente a su utilización en las misiones de paz.

Respecto del riesgo sistémico, se ha analizado este tomando la red de análisis de fallos del modelo Bow-Tie estudiando su complejidad y su dinámica. Se ha definido la fórmula del riesgo total o sistémico como una operación aritmética donde se incluye el *riesgo estructural* y el *riesgo dinámico*. Se ha incluido en el estudio del riesgo de todos los casos el riesgo corporativo ERM.

Tal como indicaron Adami y Verschoose en (Adami & Verschoose, 2018, Op. Cit.), tres son las redes que deben analizarse para entender bien la estructura y dinámica de un proyecto: la red contractual; la red de suplidos, y la red de interesados (intercambio de información). En este trabajo de investigación se ha utilizado la red de interesados exclusivamente, dada la abundante bibliografía que la considera como la red necesaria para comprender un proyecto y su complejidad.

Para el trazado gráfico y el análisis de los principales parámetros de la complejidad, como centralidad o componentes fuertemente conexos en una red, se ha utilizado la herramienta UCINET en su versión 6 descrita en (Borgatti et al, 2018, Op. Cit.).

La metodología se ha aplicado a tres misiones de paz de Naciones Unidas: UNMISS, la misión de paz en Sudán del Sur; MONUSCO, la misión de paz en República Democrática del Congo, y MINUSTAH, la misión de paz en Haití. Todas ellas de larga duración para permitir evaluar la evolución que han tenido.

El desarrollo de la investigación y la aplicación de las técnicas de gestión de proyectos a las misiones de paz, permiten extraer las conclusiones que se exponen a continuación.

Se puede validar que las técnicas de gestión de proyectos pueden ser utilizadas con las misiones de paz, contribuyendo a optimizar la evaluación y el estudio del éxito de estas. Con las debidas reservas de lo estudiado y analizado en esta tesis, esta afirmación se realiza con prudencia dado que, su comprobación se ha realizado sobre tres misiones de paz. Estas misiones están descritas como misiones de cuarta generación, combinando un enfoque adaptativo y una perspectiva integral en la zona de despliegue.

Analizando la *complejidad total* de las tres misiones, se saca como conclusión, que todas son misiones complejas. La única misión moderadamente compleja es la misión MONUSCO. Respecto a una de las características de la complejidad, el escalamiento, las tres misiones, de diferente tamaño, y operando con redes diferentes, obtienen los mismos resultados, por lo que las tres deben operar con las mismas leyes de potencia y estar establecidas en la zona de cola gruesa. Respecto a la *complejidad dinámica* que analiza la coevolución, en los tres casos tienen un parámetro de coevolución g alto, salvo la misión MONUSCO, que al igual que en la *complejidad total*, tiene un valor de coevolución medio. Por tanto, la coevolución juega un papel importante en todos los conflictos analizados.

Analizando el *riesgo total* de las tres misiones, se saca como conclusión que, todas tienen un riesgo total medio. Destaca el hecho que el *riesgo estructural*, el que define la composición de riesgos (de alto nivel) se mantiene en un nivel bajo en todos los casos. En cambio, el *riesgo dinámico* se mantiene en un nivel muy alto, por lo que se puede concluir que un cambio en la activación de un riesgo conlleva un cambio muy rápido de la situación con las consecuencias que puede tener.

La misión UNMISS se creó para implantar la gobernanza necesaria en Sudán del Sur y evitar el comienzo de una guerra interestatal con Sudán. Sin embargo, lo que ocurrió fue que la implantación de esta implicó el comienzo de una guerra civil. De lo analizado en el diagrama de idoneidad se puede concluir que la misión de paz tiene un enfoque híbrido heterogéneo, cercano al enfoque ágil. Esto pudo ser debido, a la gran complejidad de la misión por el cambio de su misión, mientras comenzaba dicha guerra civil, y por la adaptación que el equipo tuvo que hacer con la aparición de nuevos interesados en el conflicto que no estaban previstos.

La misión MONUSCO se creó para estabilizar la República Democrática del Congo después de un periodo de inestabilidad política y social debido sobre todo a la llegada de más de un millón de refugiados procedentes de Ruanda. En esta misión, el diagrama de idoneidad de enfoque reformada indica que el enfoque es prácticamente híbrido y bastante homogéneo, salvo por el tamaño del equipo de la misión debido sobre todo a la fase de estabilización que se tuvo que realizar con bandas armadas procedentes de Uganda.

La misión MINUSTAH se creó para estabilizar Haití debido a los cruentos combates entre opositores apoyadas por delincuencia organizada tras el golpe de estado al presidente Aristide. En esta misión, el diagrama de idoneidad reformada indica que el enfoque es prácticamente híbrido y muy homogéneo, cercano al enfoque predictivo, salvo por la complejidad que se acerca a una visión más ágil debido sobre todo al cambio continuo de la situación y las necesidades de tener que cambiar en la misión para hacer frente a los mismos (golpes de estado, terremotos, epidemias de cólera, etc.). Cabe indicar, sobre este último hecho, que cuando la misión se dio por concluida, la situación volvió a desestabilizarse, hecho detectado por el estudio de la complejidad.

Respecto a la herramienta de análisis dimensional del éxito de una misión de paz, el análisis de las tendencias, relacionadas con las ocho dimensiones elegidas, combina perfectamente, tanto los requisitos previos, a través de análisis exhaustivo del mandato de la misión de paz, como con las perspectivas estratégicas a través del estudio de la primacía política, la protección y estabilización y el estudio de la legitimidad, imparcialidad y credibilidad, y con las perspectivas operativas de la misión con el enfoque centrado en las personas, la situación de la mujer, la paz y la seguridad o el análisis de la legitimidad, la imparcialidad y la credibilidad.

Según el estudio del éxito de la misión UNMISS, esta se puede considerar como un fracaso debido, sobre todo, a un análisis erróneo de los posibles riesgos que podrían suceder en la misión, como se ha comentado anteriormente. Con la tarea de estabilizar Sudán del Sur y ayudar en su gobernanza, se encontró rápidamente en medio de una guerra civil que requería de cambios rápidos. Además, resulta imposible desarrollar la estabilidad en un país que perpetra violencia desde el poder político contra su propio pueblo. Quizás una misión cercana a personas del tipo segunda o tercera generación con una fuerte componente armada hubiese contribuido a la estabilidad, primero, y a la creación de la gobernanza, después.

Sobre el estudio de éxito de la misión MONUSCO, se deduce que ha tenido éxito porque, por un lado, ha ayudado a evitar que el país se divida y, por otro lado, ha ayudado a reducir la violencia política. Estos dos hechos, han contribuido a mejorar significativas en la gobernabilidad a través del apoyo a los distintos procesos electorales celebrados, a pesar del ambiente de violencia política, sobre todo en el este del país.

Sobre el estudio de éxito de la misión MINUSTAH, se deduce que ha tenido éxito, debido sobre todo al apoyo de la misión a la sociedad civil en la protección y estabilización del país, en dar recursos procedentes de la comunidad internacional y a establecer una gobernanza que pudiera recuperar la normalidad democrática después de años de dictadura. La situación no ha sido fácil debido sobre todo a factores ambientales, como el terremoto de 2010 y sucesivos que ha conllevado a crisis tanto sanitarias como alimentarias.

Finalmente, al relacionar los resultados obtenidos en la herramienta de idoneidad de enfoque reformada frente a la herramienta de análisis dimensional de éxito, a pesar de la modestia de estudiar tres misiones, tanto MONUSCO como MINUSTAH con enfoques híbridos, salvo una de

las perspectivas en cada uno (Tamaño en MONUSCO y complejidad en MINUSTAH) han tenido éxito durante su ejecución. Sin embargo, la misión UNMISS con un enfoque más heterogéneo y cercano a la agilidad, no ha podido concluir con éxito.

Parece deducirse entonces, que los enfoques híbridos para las misiones de paz parecen los más adecuados debido a su capacidad de adaptación a los posibles cambios que se puedan producir durante el ciclo de vida de la misión.

12. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.

Esta tesis se ha centrado en la relación entre enfoque y éxito en misiones de paz de las Naciones Unidas.

La limitación de este estudio se debe principalmente a dos particularidades, la primera particularidad es que se ha aplicado a tres casos estudio, y la segunda particularidad es el carácter cualitativo de ambas herramientas, aunque hay que constatar que tanto la complejidad como el riesgo sistémico se han razonado analíticamente.

Respecto de la primera particularidad, una extensión de este trabajo de investigación sería poder obtener más resultados sobre otras OMP y así poder establecer reglas adecuadas y seleccionar con ellas el mejor enfoque. Sobre la segunda particularidad, sería extender los criterios de evaluación cuantitativos sobre complejidad y riesgo a otros parámetros de los tres dominios de la herramienta de idoneidad de enfoque.

Por último, como extensión adicional, sería deseable poder desarrollar criterios que fueran cuantitativos y comparativos para poder establecer el éxito en una misión de paz.

Una futura línea de investigación sería poder trasladar los resultados de este trabajo de investigación, realizado sobre unos proyectos específicos, a proyectos generales y establecer las dimensiones de éxito en un ambiente de incertidumbre general, como en el que se ha analizado.

Por otro lado, otra posible línea de investigación sería poder ampliar el estudio de un proyecto no solamente como una red de interesados con variación dinámica, como se ha realizado en este trabajo de investigación, sino como una multirred en la que no solamente se incluyan interesados, sino recursos, equipo, etc...

Por último, otra posible línea de investigación estaría en utilizar una herramienta de análisis de riesgos que aun utilizando una red como la que se ha utilizado en este trabajo de investigación, incluyera ponderaciones sobre probabilidad de riesgos y entrelazara con redes de Petri para sistemas de eventos discretos o con redes neuronales para sistemas de eventos estocásticos. Como resultado de ello podría aumentarse la fortaleza del proyecto, la resiliencia, ante ambientes VUCA.

Esta tesis doctoral debería constituir un punto y seguido en las investigaciones sobre incertidumbre y complejidad, en el estudio sobre los procesos que forman un proyecto, cómo afectan al éxito de este y que, finalmente, los gestores de proyecto puedan utilizar estas herramientas para poder cumplir con los objetivos requeridos.

BIBLIOGRAFÍA

- A/59/2005. (2005). In larger freedom: towards development, security and human rights for all. Report of the Secretary-General. *AG Index A/59/2005, 27078*(March), 62.
- Abawajy, J., Kelarev, A., & Chowdhury, M. (2013). Power graphs: a survey. *Electronic Journal of Graph Theory and Applications (EJGTA)*, 1(2), 125–147.
- Abdellaoui, M., Klibanoff, P., & Placido, L. (2015). Experiments on compound risk in relation to simple risk and to ambiguity. *Management Science*, 61(6), 1306–1322.
- Abdo, H., & Flaus, J.-M. (2016). Uncertainty quantification in dynamic system risk assessment: a new approach with randomness and fuzzy theory. *International Journal of Production Research*, 54(19), 5862–5885.
- Abellanas, M., & Lodares, D. (1991). *Análisis de algoritmos y teoría de grafos* (1ª). RA-MA Editorial.
- Acebes, F., Pajares, J., Galán, J. M., & López-Paredes, A. (2014). Exploring the influence of seasonal uncertainty in project risk management. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 119, 329–338.
- Acebes Senovilla, F. (2015). *Integración de la incertidumbre y riesgos en la gestión y control del proyecto* [Universidad de Valladolid].
- Ackermann, F., Eden, C., Williams, T., & Howick, S. (2007). Systemic risk assessment: a case study. *Journal of the Operational Research Society*, 58(1), 39–51.
- Adami, V. S., & Verschoore, J. R. (2018). Implications of Network Relations for the Governance of Complex Projects. *Project Management Journal*, 49(2), 71–88.
- UNE-EN 61025:2007. Análisis de árbol de fallos., Pub. L. No. UNE-EN 61025:2007, AENOR 1 (2011).
- AENOR ISO-UNE 21500. (2013). ISO-UNE 21500:2012. Directrices para la dirección y gestión de proyectos. In *AENOR*.
- AENOR ISO-UNE 22316. (2020). *ISO-UNE 22316. Seguridad y resiliencia. Resiliencia organizacional. Principios y atributos*.
- AENOR UNE-EN 31010. (2011). *UNE-EN 31010. Gestión del riesgo. Técnicas de apreciación del riesgo*. www.aenor.es
- AENOR UNE-ISO 31000. (2018). *UNE-ISO 31000. Gestión del riesgo. Directrices*. www.iso.org/patents.
- Aggarwal, C. C. (2011). An introduction to social network data analytics. In *Social network data analytics* (pp. 1–15). Springer.
- Aguado Arroyo, F. (2013). El futuro de las operaciones de paz de la ONU. *Instituto Español de Estudios Estratégicos*, 43, 13.

- Aguirre Pérez, I. (2007). *Sistema de planificación estocástico de proyectos: Implicaciones en la gestión de riesgos* [Universidad de La Rioja]. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/tesis/1209.pdf>. Visitada: 16/03/21
- Alghail, A., Yao, L., Abbas, M., & Baashar, Y. (2021). Assessment of knowledge process capabilities toward project management maturity: an empirical study. *Journal of Knowledge Management*.
- Almaas, E., Kulkarni, R. v, & Stroud, D. (2003). Scaling properties of random walks on small-world networks. *Physical Review E*, 68(5), 056105.
- Álvarez-Espada, J. M., Fuentes-Bargues, J. L., & González-Gaya, C. (2022). Approach and success in the management of peacekeeping operations (PKOs): application to two case studies, the UNMISS and MONUSCO Missions of the UN. *Sustainability*, 14(10), 6097.
- Álvarez-Espada, J.-M., Fuentes-Bargues, J. L., & González-Gaya, C. (2022). *Gestión de riesgos en proyectos complejos. Misiones de paz de la ONU. . En 26th International Congress on Project Management and Engineering (ICPME 2022), Terrasa (España), 1645-1659.*
- Añaños Meza, C. M. (2010). La consolidación de la paz en el derecho internacional. *Revista Electrónica de Estudios Internacionales*, 20, 34. <http://www.reei.org/index.php/revista/num20/articulos/consolidacion-paz-derecho-internacional>. Visitada: 16/03/21
- Anderson, J. (2000). *Military operational measures of effectiveness for peacekeeping operations*.
- Annan, K. (1995). *Suplemento de “Un programa de paz”: Documento de posición del secretario general presentado con ocasión del cincuentenario de las Naciones Unidas*.
- Anthony, J., & et al. (2014). *Insights and Trends: Current Portfolio, Programme, and Project Management Practices. The Third global survey on the current state of project management*.
- Arellano, D., Danti, J., & Pérez, M. F. (2016). *Proyectos y sistemas complejos*. PMI Project Management Institute Madrid. <https://pmi-mad.org/socios/articulos-direccion-proyectos/1225-proyectos-y-sistemas-complejos>
- Association, T. public risk management. (2010). A structured approach to Enterprise Risk Management (ERM) and the requirements of ISO 31000 Contents. *Risk Management*, 7(1), 20. http://www.theirm.org/documents/SARM_FINAL.pdf. Visitada: 14/05/21
- Aven, T. (2015). The concept of antifragility and its implications for the practice of risk analysis. *Risk Analysis*, 35(3), 476–483.
- Badmus, I. A. (2017). The African Mission in Burundi (AMIB): A Study of the African Union’s Peacekeeping Success and ‘Triangular Area of Tension in African Peacekeeping.’ *India Quarterly*, 73(1), 1–20.
- Bak, P., Tang, C., & Wiesenfeld, K. (1987a). Self-organized criticality: an explanation of 1/f noise, 1987. *Phys. Rev. Lett*, 59, 381.

- Bak, P., Tang, C., & Wiesenfeld, K. (1987b). Self-organized criticality: An explanation of $1/f$ noise. *Physical Review Letters*, 59, 381–384.
- Bañuls, V. A., López, C., Turoff, M., & Tejedor, F. (2017). *Predicting the Impact of Multiple Risks on Project Performance*. *Project Management Journal*, 48(5). <https://www.pmi.org/learning/library/predicting-multiple-risks-impact-on-project-performance-10923>. Visitada: 08/03/20
- Bapat, R. B. (2010). *Graphs and matrices* (Vol. 27). Springer.
- Barabási, A.-L., & Bonabeau, E. (2003). Scale-free networks. *Scientific American*, 288(5), 60–69.
- Barafort, B., Mesquida, A.-L., & Mas, A. (2018). Integrated risk management process assessment model for IT organizations based on ISO 31000 in an ISO multi-standards context. *Computer Standards & Interfaces*, 60, 57–66.
- Barceló, M., & Guillot, S. (2013). *Gestión de proyectos complejos: una guía para la innovación y el emprendimiento*. Ediciones Pirámide.
- Bardalai, A. K. (2018). UN Peacekeeping operations: Causes for failure and continuing relevance. *Journal of Defense Studies*, 12(4), 5–34.
- Bardalai, A. K. (2019). A conceptual framework for assessing traditional peace operations. *Institute for defense Studies and Analyses*, 13(4), 71–101.
- Bardalai, A. K. (2022). UN Peacekeeping and Ambiguity in Normative UN Norms. *Journal of defense Studies*, 16(3), 25–53.
- Barlow, M. T., & Slade, G. (2020). *Random Graphs, Phase Transitions, and the Gaussian Free Field*. Springer.
- Bascompte, J., & Jordano, P. (2007). Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 567–593.
- Battiston, F., Cencetti, G., Iacopini, I., Latora, V., Lucas, M., Patania, A., Young, J.-G., & Petri, G. (2020). Networks beyond pairwise interactions: Structure and dynamics. *Physics Reports*, 874, 1–92.
- Batty, M., & Torrens, P. M. (2001). Modeling complexity: The limits to prediction. *CyberGeo*, 2001.
- Bautista, F. J., & Aguilar, F. J. (2014). Una Historia de la Investigación para la paz. *Historia Actual Online*, 34, 149–162.
- Bayo, O. A. (2012). The Factors Behind Successes and Failures of United Nations Peacekeeping Missions : A Case of the Democratic Republic of Congo. *Journal of Alternative Perspectives in the Social Sciences*, 3(4), 914–932.
- Béatrix, B. (2018). *Integrated risk management process improvement framework in it settings based on iso standards* [Universitat de les Illes Balears]. <https://dspace.uib.es/xmlui/handle/11201/149220>. Visitada: 21/07/20

- Beck, C. (2009). Generalized information and entropy measures in physics. *Contemporary Physics*, 50(4), 495–510.
- Becker, G. M. (2004). *Un enfoque práctico de gestión de riesgos*. Project Management Institute, Inc.
- Beckerman, L. P. (1999, April 20). *La dinámica no lineal de la guerra, por la Dra. Linda P. Beckerman*. Science Applications International Corporation. <http://www.calresco.org/beckermn/nonlindy.htm>. Visitada: 09/11/22
- Bejan, A. (2016). *The physics of life: the evolution of everything*. St. Martin's Press.
- Benbya, H., Nan, N., Tanriverdi, H., & Yoo, Y. (2020). Complexity and information systems research in the emerging digital world. *Mis Quarterly*, 44(1), 1–17.
- Bennett, J. (1991). *International construction project management: general theory and practice*. Butterworth-Heinemann.
- Bennett, N., & Lemoine, G. J. (2014). What a difference a word makes: Understanding threats to performance in a VUCA world. *Business Horizons*, 57(3), 311–317.
- Bergmann, T., & Karwowski, W. (2018). Agile project management and project success: A literature review. *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, 405–414.
- Bestratén Belloví, M. (1991). *NTP 328: Análisis de riesgos mediante árbol de sucesos*.
- Bianconi, G. (2018). *Multilayer networks: structure and function*. Oxford university press.
- Blackwell, D. A., & Girshick, M. A. (1979). *Theory of games and statistical decisions*. Courier Corporation.
- Blanchard, B. S. (1995). *Ingeniería de sistemas* (1st ed.). ISDEFE.
- Boccaletti, S., Bianconi, G., Criado, R., del Genio, C. I., Gómez-Gardeñes, J., Romance, M., Sendiña-Nadal, I., Wang, Z., & Zanin, M. (2014a). The structure and dynamics of multilayer networks. *Physics Reports*, 544(1), 1–122.
- Boccaletti, S., Bianconi, G., Criado, R., del Genio, C. I., Gómez-Gardeñes, J., Romance, M., Sendiña-Nadal, I., Wang, Z., & Zanin, M. (2014b). The structure and dynamics of multilayer networks. *Physics Reports*, 544(1), 1–122.
- Bonacich, P. (1987). Power and centrality: A family of measures. *American Journal of Sociology*, 92(5), 1170–1182.
- Bonacich, P., & Lloyd, P. (2001). Eigenvector-like measures of centrality for asymmetric relations. *Social Networks*, 23(3), 191–201.

- Boogaard, K. (2021). *¿Qué es la gestión híbrida de proyectos?* <https://www.wrike.com/es/blog/que-es-la-gestion-hibrida-de-proyectos/>. Visitada: 19/02/22
- Boonstra, A., & Reezigt, C. (2023). A Complexity Framework for Project Management Strategies. *Project Management Journal*, 87569728221142220.
- Borak, S., Härdle, W., & Weron, R. (2005). Stable distributions. In *Statistical tools for finance and insurance* (pp. 21–44). Springer.
- Borg, I., & Groenen, P. J. F. (2005). *Modern multidimensional scaling: Theory and applications*. Springer Science & Business Media.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., & Johnson, J. C. (2018). *Analyzing social networks*. Sage.
- Borgatti, S. P., & Halgin, D. S. (2011). On network theory. *Organization Science*, 22(5), 1168–1181.
- Bosch-Rekvelde, M., Bakker, H., & Hertogh, M. (2018). Comparing project complexity across different industry sectors. *Complexity*, 2018.
- Bourne, L. (2007). Avoiding the successful failure. *PMI Global Congress, Asia Pacific, Hong Kong*, 29–31.
- Brady, T., & Davies, A. (2014). Managing structural and dynamic complexity: A tale of two projects. *Project Management Journal*, 45(4), 21–38
- Brahimi, L. (2000). *Informe Brahimi (A/55/305-S)*. NN.UU.
- Bratt, D. (1996). Assessing the success of UN peacekeeping operations. *International Peacekeeping*, 3(4), 64–81.
- Bratt, D. (1999). Peace over justice: Developing a framework for UN peacekeeping operations in internal conflicts. *Global Governance*, 5(1), 63–81.
- Bravo Mendoza, Ó., & Sánchez Celis, M. (2012a). Gestión integral de riesgos. In *Tomo I. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Icontec: Vol. Tomo 1 (4ª)*. Bravo & Sánchez, EU.
- Bravo Mendoza, Ó., & Sánchez Celis, M. (2012b). *Gestión integral de riesgos: Vol. Tomo 2 (1ª)*. Bravo & Sánchez, EU.
- Brin, S., & Page, L. (1998). The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. *Computer Networks and ISDN Systems*, 30(1–7), 107–117.
- Brosig, M., & Sempijja, N. (2018). Does peacekeeping reduce violence? Assessing comprehensive security of contemporary peace operations in Africa. *Stability*, 7(1).
- Browning, T. R. (2019). Planning, Tracking, and Reducing a Complex Project's Value at Risk. *Project Management Journal*, 50(1), 71–85.
- Buchtik, L. (2015). *Secretos para dominar la gestión de riesgos en proyectos*. Buchtik Global.

- Burns, D. (2007). Systemic action research: A strategy for whole system change. In *Systemic Action Research: A Strategy for Whole System Change*.
- Burt, R. S. (2018). Structural holes. In *Social Stratification* (pp. 659–663). Routledge.
- Caldarelli, G., & Chessa, A. (2016). *Data science and complex networks: real cases studies with Python*. Oxford University Press.
- Call, C. T., & Coning, C. de. (2017). Rising Powers & Peacebuilding: Breaking the Mold? In *Rethinking Peace and Conflict Studies*.
- Cardona Llorens, J. (2006). El mantenimiento de la paz y la seguridad internacionales. In M. D. de Velasco Vallejo (Ed.), *Las organizaciones internacionales* (14th ed., p. 884). Editorial Tecnos.
- Carpinteri, A., Chiaia, B., & Invernizzi, S. (1999). Three-dimensional fractal analysis of concrete fracture at the meso-level. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 31(3), 163–172.
- Carrington, P. J., Scott, J., & Wasserman, S. (2005). *Models and methods in social network analysis* (Vol. 28). Cambridge university press.
- Carroll, M., Verma, P., & Valdmanis, V. (2019). *Evaluation of the contribution of the UNMISS Civil Affairs Division to the reduction of local conflict in South Sudan* (Issue April).
- Castaño Barrera, O. M. (2013). Conflictos armados y construcción de paz. De la teoría a las políticas internacionales de paz en la posguerra fría. *Ra Ximhai*, 9(2).
- Čepin, M., & Mavko, B. (2002). A dynamic fault tree. *Reliability Engineering & System Safety*, 75(1), 83–91.
- Chapman, C., & Ward, S. (2003). *Project risk management processes, techniques, and insights* (2nd ed.). John Wiley & Sons Ltd,
- Chen, F., Wang, Y.-C., Wang, B., & Kuo, C.-C. J. (2020). Graph representation learning: a survey. *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*, 9.
- Chin, G. (2004). Agile project management. *AMACOM, New York*.
- Ching, J., & Leu, S.-S. (2009). Bayesian updating of reliability of civil infrastructure facilities based on condition-state data and fault-tree model. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(12), 1962–1974.
- Choi, T. Y., & Hong, Y. (2002). Unveiling the structure of supply networks: case studies in Honda, Acura, and DaimlerChrysler. *Journal of Operations Management*, 20(5), 469–493.
- Chowdhury, D., & Stauffer, D. (2003). Sole–Manrubia model of biological evolutions: some new insights. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 318(3–4), 461–468.
- Christensen, K., & Moloney, N. R. (2005). *Complexity and criticality* (Vol. 1). World Scientific Publishing Company.

- Christensen, K., Olami, Z., & Bak, P. (1992). Deterministic $1/f$ noise in nonconservative models of self-organized criticality. *Physical Review Letters*, 68(16), 2417.
- Chu, D., Strand, R., & Fjelland, R. (2003). Theories of complexity: Common denominators of complex systems. In *Complexity* (Vol. 8, Issue 3, pp. 19–30). John Wiley and Sons Inc.
- Cilliers, P. (2021). Complexity and postmodernism. In *Complexity and Postmodernism* (pp. 122–150). Routledge.
- Cleden, D. (2017). *Managing project uncertainty*. Routledge.
- Coleman, P. T., Bui-Wrzosinska, L., Vallacher, R. R., & Nowak, A. (2006). Protracted Conflicts as Dynamical Systems. *The Negotiator's Fieldbook: The Desk Reference for the Experienced Negotiator*, 61–74.
- Coning, C. de. (2018). Adaptive peacebuilding. *International Affairs*, 94(2), 301–317.
- Coning, C. de. (2019a). Complexity thinking and adaptive peace building. *Accord Series*, 28, 36–38. https://rc-services-assets.s3.eu-west-1.amazonaws.com/s3fs-public/Navigating_inclusion_in_peace_processes_Accord_Issue_28.pdf. Visitada: 11/09/20
- Coning, C. de. (2019b). How UN Peacekeeping Operations Can Adapt to a New Multipolar World Order. In *International Peacekeeping* (Vol. 26, Issue 5, pp. 536–539). Routledge.
- Coning, C. de. (2020a). Adaptive Peace Operations : Navigating the Complexity of Influencing Societal Change Without Causing Harm. *International Peacekeeping*, 0(0), 1–23.
- Coning, C. de. (2020b). Insights from Complexity Theory for Peace and Conflict Studies. *The Palgrave Encyclopedia of Peace and Conflict Studies*, 1–10.
- Coning, C. de, & Brusset, E. (2018). *Towards a Comprehensive Results-based Reporting and Performance Assessment Framework: For UN Peacekeeping Operations*.
- Coning, C. de, & Romita, P. (2009). *Monitoring and evaluation of peace operations*. www.ipinst.org
- Consejo seguridad. (2011). *Mandato de la UNMISS*. 30462, 1–6. <https://unmiss.unmissions.org/mandate>. Visitada: 12/04/19
- S/RES/1542, United Nations 1 (2004). Derhen, Andrew. Security Council Resolution. <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2005/3729.pdf>, Visitada: 22/10/19
- Copola Azenha, F., Aparecida Reis, D., & Leme Fleury, A. (2021). The role and characteristics of hybrid approaches to project management in the development of technology-based products and services. *Project Management Journal*, 52(1), 90–110.
- Corbet, A. (2016). Community After All? An Inside Perspective on Encampment in Haiti. *Journal of Refugee Studies*, 29(2), 166–186.

- Corominas-Murtra, B., Hanel, R., & Thurner, S. (2015). Understanding scaling through history-dependent processes with collapsing sample space. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(17), 5348–5353.
- Crispieri, G. (2019). Factores de éxito y fracaso en la gestión de proyectos: un enfoque en las mejores prácticas. *Project Design and Management*, 1(1). <https://www.mlsjournals.com/Project-Design-Management/article/view/mlspdm.v1i1.172>. Visitada: 21/01/21
- Culp, C. L. (2002). *The risk management process: business strategy and tactics*. John Wiley & Sons.
- Day, A. (2019). *Impact of UN Mission in South Sudan complicated by dilemmas of protection*. IPI Global Observatory. <https://theglobalobservatory.org/2019/12/impact-un-mission-south-sudan-complicated-by-dilemmas-of-protection/>. Visitada: 12/12/19
- Day, A., Hunt, C., Yin, H., & Kumalo, L. (2019). *Assessing the Effectiveness of the UN Mission in South Sudan / UNMISS*.
- Day, A. (lead A., T. Hunt, C., Yin, H., & Kumalo, L. (2019). *Assessing the the effectiveness of the United Nations Mission in South Sudan (UNMISS)*.
- de Carvalho, B., & Aune, I. J. (2010). Assessing Complex Peace Operations Some Considerations of Methodology and Procedure. In *Network* (No. 782). <http://mne.oslo.mil.no>
- de Freitas, M. D., de Araujo, F. C. C., & França, S. L. B. (2019). Comparative analysis of project management methodologies PMBoK and agile—A case study with companies of the Brazilian energetic sector. *REVISTA GEINTEC-GESTAO INOVACAO E TECNOLOGIAS*, 9(3), 4993–5007.
- de Meo, P., Ferrara, E., Fiumara, G., & Proveti, A. (2011). Generalized Louvain method for community detection in large networks. *2011 11th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, 88–93.
- de Vera, F. H. (2016). La construcción del concepto de paz: paz negativa, paz positiva y paz imperfecta. *Cuadernos de Estrategia*, 183, 119–146.
- de Waal, A. (2009). Mission without end? Peacekeeping in the African political marketplace. *International Affairs*, 85(1), 99–113.
- Debuysere, L., & Blockmans, S. (2019). Crisis Responders: Comparing Policy Approaches of the EU, the UN, NATO and OSCE with Experiences in the Field. *European Foreign Affairs*, 24(3), 243–264. https://www.ceps.eu/wp-content/uploads/2019/10/EERR_24_0302.pdf. Visitada: 07/10/22
- del Brío, B. M., & Molina, A. S. (2001). *Redes neuronales y sistemas borrosos*. Ra-ma.
- Deloitte Design Studio. (2012). *Predictive Project Analytics*.

- Delvosalle, C., Fievez, C., Pipart, A., & Debray, B. (2006). ARAMIS project: A comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries. *Journal of Hazardous Materials*, 130(3), 200–219.
- Derbyshire, J., & Wright, G. (2014). Preparing for the future: development of an ‘antifragile’ methodology that complements scenario planning by omitting causation. *Technological Forecasting and Social Change*, 82, 215–225.
- Despalatović, L., Vojković, T., & Vukičević, D. (2014). Community structure in networks: Girvan-Newman algorithm improvement. *2014 37th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, 997–1002.
- Díaz Barrado, C. M. (dir), Manero Salvador, A., Olmos Giupponi, M. B., & Vacas Fernández, F. (2006). *Misiones internacionales: Operaciones de Naciones Unidas y de la Unión Europea* (IUGM, Ed.; 1st ed.). Reprografía Doppel, S.L.
- Diebold, P., Schmitt, A., & Theobald, S. (2018). Scaling agile: how to select the most appropriate framework. *Proceedings of the 19th International Conference on Agile Software Development: Companion*, 1–4.
- Diehl, P. F. (1993). *International peacekeeping*. Johns Hopkins University Press.
- Diehl, P. F., & Druckman, D. (2013). Peace Operation Success: The Evaluation Framework. *Journal of International Peacekeeping*, 16(3–4), 209–225.
- Diehl, P. F., & Druckman, D. (2018). Multiple Peacekeeping Missions: Analysing Interdependence. *International Peacekeeping*, 25(1), 28–51.
- Diehl, P. F., & Druckman, D. (2022). Evaluating peace operations. In *Evaluating Peace Operations*. Lynne Rienner Publishers.
- Dobson, I., Carreras, B. A., Lynch, V. E., & Newman, D. E. (2007). Complex systems analysis of series of blackouts: Cascading failure, critical points, and self-organization. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 17(2), 026103.
- Domenianni, L. (2022). *Estado fallido: Haití y la historia de un magnicidio que posiblemente jamás se aclare*. El Economista. <https://eleconomista.com.ar/internacional/estado-fallido-haiti-historia-magnicidio-posiblemente-jamas-aclare-n51462>. Visitada: 19/11/22
- Dorn, A. W. (2009). Intelligence-led Peacekeeping: The United Nations Stabilization Mission in Haiti (MINUSTAH), 2006–07. *Intelligence and National Security*, 24(6), 805–835.
- Dorogovtsev, S. (2010). *Complex networks*. Oxford University Press Oxford.
- Doyle, M. W., & Sambanis, N. (2000). International Peacebuilding: A Theoretical and Quantitative Analysis. *American Political Science Review*, 94(4), 779–801.
- DPKO & DFS. (2010). *A New Horizon Initiative: Progress report n° 1*. https://peacekeeping.un.org/sites/default/files/newhorizon_update01_0.pdf. Visitada: 06/10/21

- DPO. (2019). *CPAS. The comprehensive Planning and Performance Assessment System*. United Nations Peacekeeping. <https://peacekeeping.un.org/en/cpas>. Visitada: 17/10/20
- DPO. (2020). *A4P: Nuestros objetivos principales para el mantenimiento de la paz*. ONU. <https://www.un.org/es/A4P/>. Visitada: 11/11/21
- DPO & DFS. (2008). United Nations Peacekeeping Operations: Principles and Guidelines. In *Peacekeeping Best Practices Section* (Issue 1).
- Drummond, H. (1999). Are we any closer to the end? Escalation and the case of Taurus. *International Journal of Project Management*, 17(1), 11–16.
- Dubois, D. (2010). Representation, propagation, and decision issues in risk analysis under incomplete probabilistic information. *Risk Analysis: An International Journal*, 30(3), 361–368.
- Duran, M., & Avalos, A. (2016). Detecting conflictive cultural factors in complex scenarios of intervention: Military and local actors in interaction. *UNISCI Discussion Papers*, 2016(41), 9–28.
- Dybå, T., Dingsøy, T., & Moe, N. B. (2014). Agile project management. In *Software project management in a changing world* (pp. 277–300). Springer.
- Dyke, C. (1988). *The evolutionary dynamics of complex systems*.
- Earnest, J., & Dickie, C. (2012). Post-conflict reconstruction--a case study in Kosovo. *PMI Research and Education Conference*, 10. <https://www.pmi.org/learning/library/post-conflict-reconstruction-planning-implementing-6416>. Visitada: 16/02/19
- Ebeling, C. E. (2019). *An introduction to reliability and maintainability engineering*. Waveland Press.
- Escofet, C. R. (2019). *Teorema del límite central*. Universitat Oberta de Catalunya.
- Fellman, P. V., Bar-Yam, Y., & Minai, A. A. (2014). *Conflict and complexity: Countering terrorism, insurgency, ethnic and regional violence*. Springer.
- Feo Valero, J. (2017). La respuesta del sistema de Naciones Unidas ante la situación de crisis prolongada en Haití. *Anuario Español de Derecho Internacional*, 32, 297–336.
- Fetterly, R. (2006). A review of peacekeeping financing methods. *Defense and Peace Economics*, 17(5), 395–411.
- Fewell, J. (2019). *Degrees of Uncertainty. When assessing the suitability of Agile Approaches, Zero in on your Project's Known Unknowns*. *PM Network*, 33, 22. <https://www.pmi.org/learning/library/agile-suitability-projects-known-unknowns-11574>. Visitada: 24/06/22
- Fiedler, F. E. (1993). The contingency model: New directions for leadership utilization. *Management and Organizational Behavior Classics*, 333–344.

- Fortes, A. R. (2018). As operações de paz da ONU como um mecanismo de neoliberalismo disciplinar: O caso de Angola (1989-2002). *Conjuntura Internacional*, 15(3), 28.
- Fortna, V. P. (2008). Does peacekeeping work? In *Does Peacekeeping Work?* Princeton University Press.
- Fortunato, S. (2010). Community detection in graphs. *Physics Reports*, 486(3–5), 75–174.
- Franke, V. (2006). the Peacebuilding Dilemma: Civil-Military Cooperation in Stability Operations. *International Peace Research Association International Journal of Peace Studies International Peace Research Association (IPRA) International Journal of Peace Studies*, 11(2), 5–25.
- Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social Networks*, 1(3), 215–239.
- Frenken, K. (2000). A complexity approach to innovation networks. The case of the aircraft industry (1909–1997). *Research Policy*, 29(2), 257–272.
- Fridgeirsson, T. V., Ingason, H. T., Jonasson, H. I., & Kristjansdottir, B. H. (2021). The VUCAity of Projects: A New Approach to Assess a Project Risk in a Complex World. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 3808, 13(7), 3808.
- Gámez, J. L. (2019). *Canal UNED - Nivel 1. Las necesidades humanas*. Coaching Integral 3.0 - UNED. <https://canal.uned.es/video/5c41cec8b111f075d8b456d>. Visitada: 13/11/20
- Garb, M. (2014). Evaluating the success of peace operations. *Scientia Militaria - South African Journal of Military Studies*, 42(1), 44–63.
- García, R. (2011). Interdisciplinariedad y sistemas complejos. *Revista Latinoamericana de Metodología de Las Ciencias Sociales*, 1(1), 66–101.
- García Rodríguez, M. J., Rodríguez Montequín, V., Villanueva Balsera, J., & Concepción Suárez, R. (2017). *Análisis de las metodologías ágiles aplicadas en ingeniería del software en el marco de las áreas de conocimiento del PMBoK* (No. 12th).
- Garrett, G. A. (2005). Managing Opportunity & Risk in a Complex Project Environment. *Contract Management*, 45(4), 8–20.
- Gemino, A., Horner Reich, B., & Serrador, P. M. (2021). Agile, Traditional, and Hybrid Approaches to Project Success: Is Hybrid a Poor Second Choice? *Project Management Journal*, 52(2), 161–175.
- Gilligan, M. J., & Sergenti, E. J. (2008). Do UN interventions cause peace? Using matching to improve causal inference. *Quarterly Journal of Political Science*, 3(2), 89–122.
- Gómez-Senent, E., Chiner, M., Capuz, S., Aragones, P., & Santamaría, J. L. (2020). ¿Es el proyecto un Sistema? *En Proceedings III International Congress of Project Engineering., September 1996*, 131–140.

- Granovetter, M. S. (1973). The strength of weak ties. *American Journal of Sociology*, 78(6), 1360–1380.
- Greenberg, M. R., Lowrie, K., Mayer, H., & Altiok, T. (2011). Risk-based decision support tools: Protecting rail-centered transit corridors from cascading effects. *Risk Analysis: An International Journal*, 31(12), 1849–1858.
- Grimaldi, R. P. (1998). *Matemáticas discreta y combinatoria: una introducción con aplicaciones*. Pearson Educación.
- Gromes, T. (2019). Does peacekeeping only work in easy environments? An analysis of conflict characteristics, mission profiles, and civil war recurrence. *Contemporary Security Policy*, 40(4), 459–480.
- Gross, T., & Blasius, B. (2008). Adaptive coevolutionary networks: a review. *Journal of the Royal Society Interface*, 5(20), 259–271.
- Gross, T., & Sayama, H. (2009). Adaptive networks. In *Adaptive networks* (pp. 1–8). Springer.
- Guillart Juan, S., & Capuz Rizo, S. (2020). *Análisis comparativo de estándares y metodologías de gestión de riesgos del proyecto*. 24th International Congress on Project Management and Engineering. Alcoy (Spain). Vol 1, pp. 2058-2069.
- Gumz, J. (2012). Risk on Complex projects. *Project Management Journal*. <https://www.pmi.org/learning/library/risk-complex-projects-case-study-6308>
- Hair Jr, J. F., Sarstedt, M., Ringle, C. M., & Gudergan, S. P. (2017). *Advanced issues in partial least squares structural equation modeling*. saGe publications.
- Hall, A. R., Ashby, B., Bascompte, J., & King, K. C. (2020). Measuring Coevolutionary Dynamics in Species-Rich Communities. *Trends in Ecology & Evolution*, 35(6), 539–550.
- Hall, P. L., & Strutt, J. E. (2003). Probabilistic physics-of-failure models for component reliabilities using Monte Carlo simulation and Weibull analysis: a parametric study. *Reliability Engineering & System Safety*, 80(3), 233–242.
- Hanel, R., Pöchacker, M., & Thurner, S. (2010). Living on the edge of chaos: minimally nonlinear models of genetic regulatory dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1933), 5583–5596.
- Hanel, R., & Thurner, S. (2007). Generalized Boltzmann factors and the maximum entropy principle: Entropies for complex systems. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 380, 109–114.
- Hanel, R., & Thurner, S. (2011). A comprehensive classification of complex statistical systems and an axiomatic derivation of their entropy and distribution functions. *EPL (Europhysics Letters)*, 93(2), 20006.
- Harrison, N. et al. (2006). *Complexity in world politics. Concepts and Methods of a new paradigm* (N. E. Harrison, Ed.; 1st ed.). State University of New York Press.

- Harrison, N. E., & Singer, J. D. (2006). Complexity is more than System theory. In N. E. Harrison (Ed.), *Complexity in World Politics: Concepts and Methods of a New Paradigm* (1st ed., pp. 25–42). State University of New York Press.
- Hass, K. (2009). Managing complex Projects. In *Management Concepts* (1st ed.). Management Concepts.
- Hass, K., & Lindbergh, L. (2010). *The bottom line on project complexity* (PMI, Ed.; p. 19). Project Management Institute, Inc.
- Havrda, J., & Charvát, F. (1967). Quantification method of classification processes. Concept of structural \$ a \$-entropy. *Kybernetika*, 3(1), 30–35.
- Helbing, D. (2015). Responding to complexity in socio-economic systems: How to build a smart and resilient society? *ArXiv Preprint ArXiv:1504.03750*.
- Hendrick, D. (2009). Complexity Theory and Conflict Transformation: An Exploration of Potential and Implications. *Working Paper 17, May*, 100.
- Hillson, D. (2003). Using a risk breakdown structure in project management. *Journal of Facilities Management*.
- Hillson, D. (2013). Managing Risk Across Borders. In *PM World Journal Managing Risk Across Borders: Vol. II*. www.pmworlplibary.net
- Hillson, D. (2014). *Managing overall project risk*. Project Management Institute, Inc.
- Hillson, D. (2017). *Managing risk in projects*. Routledge.
- Ho, J., & Li, T. W. (2019). The Journey to ERM 2.0 a guide for the public sector in Singapore. *KPMG*, 28.
- Hoffman, B. (2004). La continua amenaza de Al Qaeda y el futuro del terrorismo. In F. Reinares & A. Elorza (Eds.), *El nuevo terrorismo islamista* (1st ed., pp. 117–146). Ediciones Temas de Hoy, S.A.
- Homer-Dixon, T. F. (1991). On-the-Threshold-Environmental-Changes-as-Causes-of-Acute-Conflict-International-Security-Article-7.pdf. *International Security*, 16(2), 41.
- Hopkin, P. (2018). *Fundamentals of risk management: understanding, evaluating and implementing effective risk management*. Kogan Page Publishers.
- Hopmann, P. T. (1998). Complexity and Uncertainty in International Systems (Reviewed Work Complexity in Political and Social Life by Robert Jervis). *Mershon International Studies Review*, 42(2), 313–316.
- Horine, G. M. (2010). *Gestión de proyectos (Absolute beginners guide to project management)*. Madrid: Ediciones Anaya, SA.
- Howard, L. M. (2008). *UN Peacekeeping in civil wars* (1st ed.). Cambridge University Press.

- Howard, L. M., & Stark, A. (2017). How Civil Wars end: The International System, Norms and the Role of External Actors. *International Security*, 42(3), 121–171
- Howell, G., Laufer, A., & Ballard, G. (1993). Uncertainty and project objectives. *Project Appraisal*, 8(1), 37–43.
- Hughes, B. (2012). Peace Operations and the Political: A Pacific Reminder of What Really Matters. *Journal of International Peacekeeping*, 16(1–2), 99–118.
- Ibbs, C. W., & Kwak, Y. H. (2000). Assessing project management maturity. *Project Management Journal*, 31(1), 32–43.
- ICISS. (2001). *The responsibility to protect*.
- Iglesias Velasco, A. (2002). La Misión de Administración Provisional de las Naciones Unidas en Kosovo (UNMIK). *Revista CIDOB d'afers Internacionals*, 56, 5.
- Iñiguez, G., & Barrio, R. A. (2009). Coevolución en redes sociales. *Educación Química*, 20, 272–279.
- International Peace Institute. (2012). *The Management Handbook For UN Field Missions*. https://www.ipinst.org/wp-content/uploads/publications/management_handbook_linked.pdf. Visitado: 11/12/22.
- Ireland, V., Rapaport, B., & Omarova, A. (2012). Addressing wicked problems in a range of project types. *Procedia Computer Science*, 12, 49–55.
- Jaafari, A. (2001). Management of risks, uncertainties, and opportunities on projects: time for a fundamental shift. *International Journal of Project Management*, 19(2), 89–101.
- Jackson, M. O. (2010). *Social and economic networks*. Princeton university press.
- Jain, S., & Krishna, S. (2003). 16 Graph theory and the evolution of autocatalytic networks. *Handbook of Graphs and Networks*, 355.
- Jamshidi, A., Ait-kadi, D., Ruiz, A., & Rebaiaia, M. L. (2018). Dynamic risk assessment of complex systems using FCM. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1070–1088.
- Jarillo, Á. (2013a, November). *Canal UNED - Cooperación civil y militar en el terreno*. Aspectos Civiles y Militares de La Gestión de Crisis. <https://canal.uned.es/video/5a6fa1f7b1111f686c8b456f>. Visitada: 02/02/19
- Jarillo, Á. (2013b, November). *Canal UNED - Mandatos militares y gestión de crisis*. Aspectos Civiles y Militares de La Gestión de Crisis. <https://canal.uned.es/video/5a6fa1f6b1111f686c8b456a>. Visitada: 02/02/19
- Jaynes, E. T. (2003). *Probability theory: The logic of science*. Cambridge university press.
- Johns, T. G. (2008). The Art of Project Management and Complexity. *PMI Global Conference*, 1999, 1–10. <https://www.pmi.org/learning/library/art-decentralized-project-teams-6934>. Visitada: 10/07/19

- Johnson, H. F. (2016). *South Sudan the untold story from independence to civil war* (1st ed.). I.B. Tauris & Co. Ltd.
- Johnson, S. C. (1967). Hierarchical clustering schemes. *Psychometrika*, 32(3), 241–254.
- Jones, C., & Lichtenstein, B. B. (2008). Temporary Inter-organizational Projects: How Temporal and Social Embeddedness Enhance Coordination and Manage Uncertainty. *The Oxford Handbook of Inter-Organizational Relations*, 231–255.
- Jovanović, A. S., & Renn, O. (2013). Search for the ‘European way’ of taming the risks of new technologies: The EU research project iNTeg-Risk. In *Journal of Risk Research* (Vol. 16, Issues 3–4, pp. 271–274). Taylor & Francis.
- Jurgens, A. M., & Crutchfield, J. P. (2021). Shannon entropy rate of hidden Markov processes. *Journal of Statistical Physics*, 183(2), 1–18.
- Kalantarnia, M., Khan, F., & Hawboldt, K. (2009). Dynamic risk assessment using failure assessment and Bayesian theory. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(5), 600–606.
- Kaplan, S., & Garrick, B. J. (1981). On the quantitative definition of risk. *Risk Analysis*, 1(1), 11–27.
- Kauffman, S. (1995). *At home in the universe: The search for laws of self-organization and complexity*. Oxford University Press, USA.
- Keller, E. F. (2008). Organisms, machines, and thunderstorms: A history of self-organization, part one. In *Historical Studies in the Natural Sciences* (Vol. 38, Issue 1, pp. 45–75).
- Kelly, D. L., & Smith, C. L. (2009). Bayesian inference in probabilistic risk assessment—The current state of the art. *Reliability Engineering & System Safety*, 94(2), 628–643.
- Kenis, P., & Oerlemans, L. (2008). The Social Network Perspective: Understanding the Structure of Cooperation. *The Oxford Handbook of Inter-Organizational Relations*, 289–312.
- Kerzner, H., & Belack, C. (2010). Managing Complex Projects. In *Managing Complex Projects*. John Wiley and Sons.
- Khakzad, N., Khan, F., & Amyotte, P. (2012). Dynamic risk analysis using bow-tie approach. *Reliability Engineering & System Safety*, 104, 36–44.
- Khan, F., Hashemi, S. J., Paltrinieri, N., Amyotte, P., Cozzani, V., & Reniers, G. (2016). Dynamic risk management: a contemporary approach to process safety management. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 14, 9–17.
- Kim, Y., Choi, T. Y., Yan, T., & Dooley, K. (2011). Structural investigation of supply networks: A social network analysis approach. *Journal of Operations Management*, 29(3), 194–211.
- Kivelä, M., Arenas, A., Barthelemy, M., Gleeson, J. P., Moreno, Y., & Porter, M. A. (2014). Multilayer networks. *Journal of Complex Networks*, 2(3), 203–271.

- Klimek, P., Thurner, S., & Hanel, R. (2010). Evolutionary dynamics from a variational principle. *Physical Review E*, 82(1), 011901.
- Kordova, S., Zwilling, M., & Rozen, O. (2021). The impact of management method on IT projects success. *International Journal of Innovation and Learning*, 29(1), 18–44.
- Kosko, B., & Isaka, S. (1993). Fuzzy logic. *Scientific American*, 269(1), 76–81.
- Kourounakis, N., & Maraslis, A. (2017). *PM2 Resumen general de la metodología* (Centro de Excelencia en Gestión de Proyectos (CoEPM2), Ed.).
- Kowalski, R. (1986). *Lógica, programación e inteligencia artificial*. Díaz de Santos.
- Lalmi, A., Fernandes, G., & Souad, S. B. (2021). A conceptual hybrid project management model for construction projects. *Procedia Computer Science*, 181, 921–930.
- Larman, C., & Basili, V. R. (2003). Iterative and incremental developments. a brief history. *Computer*, 36(6), 47–56.
- Lassen, K. B., & van der Aalst, W. M. P. (2009). Complexity metrics for Workflow nets. *Information and Software Technology*, 51(3), 610–626.
- Lenski, R. E., Ofria, C., Pennock, R. T., & Adami, C. (2003). The evolutionary origin of complex features. *Nature*, 423(6936), 139–144.
- León Lavín, I. (2016). *Las operaciones de mantenimiento de la paz de las Naciones Unidas: La MONUSCO*. Universidad de Cantabria.
- Lewin, R. (1999). *Complexity: Life at the edge of chaos*. University of Chicago Press.
- Li, H., Xie, J., & Wei, W. (2019). Permutation entropy and Lyapunov exponent: Detecting and monitoring the chaotic edge of a closed planar under-actuated system. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 123, 206–221.
- Li, W. (2002). Zipf's Law everywhere. *Glottometrics*, 5(2002), 14–21.
- Little, R. G. (2002). Controlling cascading failure: Understanding the vulnerabilities of interconnected infrastructures. *Journal of Urban Technology*, 9(1), 109–123.
- Lönnermark, A., & Ingason, H. (2009). The Safety and Security of Underground Hubs as an Emerging Risks Representative. *SRA-Europe Conference, 28 June-1 July 2009 Karlstad, Sweden*, 53.
- Loudor, W. E. (2020). Trazos y trazas de la migración haitiana post-terremoto. *Revista Política, Globalidad y Ciudadanía*, 6(11), 50–72.
- Luijff, E., & Klaver, M. (2013). Expand the Crisis? Neglect Critical Infrastructure! *Proceedings of the CRISE 2013, May 27.-29 2013, Weimar, Germany*, 293–304.

- Mack, E. A., Bunting, E., Herndon, J., Marcantonio, R. A., Ross, A., & Zimmer, A. (2021). Conflict and its relationship to climate variability in Sub-Saharan Africa. *Science of the Total Environment*, 775, 145646.
- Maekawa, W., Ari, B., & Gizelis, T. I. (2019). UN involvement and civil war peace agreement implementation. *Public Choice*, 178(3–4), 397–416.
- Malan, M., & Boshoff, H. (2002). A 90-day plan to bring peace to the DRC ? An analysis of the Pretoria Agreement of Mark Malan and Henri Boshoff. *Institute for Security Studies*, 61, 16.
- Management, P. C.-I. J. of I., & 2001, undefined. (2001). Boundaries, hierarchies, and networks in complex systems. *World Scientific*, 5(2), 48.
- Marković, D., & Gros, C. (2014). Power laws and self-organized criticality in theory and nature. *Physics Reports*, 536(2), 41–74.
- Markowski, A. S., & Kotynia, A. (2011). “Bow-tie” model in layer of protection analysis. *Process Safety and Environmental Protection*, 89(4), 205–213.
- Marle, F., Vidal, L.-A., & Bocquet, J.-C. (2013). Interactions-based risk clustering methodologies and algorithms for complex project management. *International Journal of Production Economics*, 142(2), 225–234.
- Martin-Brûlé, S.-M. (2016). *Evaluating peacekeeping missions: A typology of success and failure in international interventions*. Routledge.
- Matland, R. E. (1995). Synthesizing the implementation literature: The ambiguity-conflict model of policy implementation. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 5(2), 145–174.
- McCabe, T. J. (1976). A complexity measures. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 4, 308–320.
- McLeod, S. A. (2007). The Milgram experiments. *Simply Psychology*.
- Meel, A., & Seider, W. D. (2006). Plant-specific dynamic failure assessment using Bayesian theory. *Chemical Engineering Science*, 61(21), 7036–7056.
- Melero Alonso, E. (2012). *Las operaciones militares de España en el exterior* (1st ed., Vol. 1). Centre D'Estudis per a la Pau J.M. Delàs.
- Menkhaus, K. (2013). Making Sense of Resilience in Peacebuilding Contexts: Approaches, Applications, Implications. *The Geneva Peacebuilding Platform*, 6, 1–10. http://www.gppplatform.ch/sites/default/files/PP_06 - Resilience to Transformation - Jan. 2013_2.pdf. Visitada: 17/05/19
- Millen, J. K., & Schwartz, M. W. (1988). The cascading problem for interconnected networks. *Fourth Aerospace Computer Security Applications*, 269–270.
- MINUSTAH. (2019). *Report of the Secretary-General on United Mission for Justice support in Haiti*.

- Mitchell, G. F. (2005). Managing risks in complex projects using compression strategies. In *ProQuest Dissertations and Theses*. <https://search.proquest.com/docview/305423465?accountid=14609>. Visitada: 11/02/19
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour*. Oxford University Press.
- Mitchell, M., & Newman, M. (2002). Complex systems theory and evolution. *Encyclopedia of Evolution*, 1, 1–5.
- Mitchum, A. (1999). Doctrinal model for PKO. *Journal of Third World Studies*, 16(1), 139–145.
- Mittleton-Kelly, E. (2003). *Complex systems and evolutionary perspectives on organizations: the application of complexity theory to organizations*. Elsevier Science Ltd.
- Mkoba, E., & Marnewick, C. (2020). Conceptual framework for auditing agile projects. *IEEE Access*, 8, 126460–126476.
- Morales Camprubí, F. (2015). *Análisis y gestión de riesgos y oportunidades en grandes proyectos industriales* [UNED. Universidad Nacional de Educación a Distancia (España)]. http://espacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:IngInd-Fmorales/MORALES_CAMPRUBI_Felipe_Tesis.pdf. Visitada: 09/04/19
- Morgan, G. (1998). Images of organization: The executive edition. *Thousand Oaks, CA*.
- Murray, A. (n.d.). *PRINCE2 in 1000 words*. Retrieved September 29, 2022, from <https://www.axelos.com/resource-hub/white-paper/prince2-in-1000-words>
- Murray, P., & Thomas, S. (2008). Designing Complex Projects. *PMI Global Congress Proceedings*, 1–8. <https://www.pmi.org/learning/library/designing-complex-projects-6951>. Visitada: 17/02/19.
- Nachbagauer, A. G. M., & Schirl-Boeck, I. (2019). Managing the unexpected in megaprojects: riding the waves of resilience. *International Journal of Managing Projects in Business*, 12(3), 694–715.
- Naciones Unidas Mantenimiento de la paz. (n.d.). *Proyectos de efecto rápido para comunidades* | Naciones Unidas Mantenimiento de la paz. Retrieved October 31, 2022, from <https://peacekeeping.un.org/es/quick-impact-projects-communities>. Visitada: 16/03/21.
- Nájera, Á. (2019). *PRINCE2 contra la microgestión: gestión por excepción - Wolf Project Management*. <https://wolfproject.es/prince2-microgestion-gestion-excepcion/>. Visitada: 08/04/21.
- Newman, D. E., Nkei, B., Carreras, B. A., Dobson, I., Lynch, V. E., & Gradney, P. (2005). Risk assessment in complex interacting infrastructure systems. *Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 63c–63c.
- Newman, M. E. J. (2011). Complex systems: A survey. *ArXiv Preprint ArXiv:1112.1440*.
- Nikolić, S. S. (2017). United Nations: Organizational resilience management. *Vojno Delo*, 69(6), 384–407.

- Nikravan, B., & Melanson, D. (2008, October 19). *Application of hybrid agile project management - Law Enforcement agency program*. Conference Paper. <https://www.pmi.org/learning/library/agile-project-management-law-enforcement-7039>. Visitada:27/03/22
- NN.UU. (1945). *Carta de las Naciones Unidas*. Carta de San Francisco. <https://www.un.org/es/charter-united-nations/>. Visitada: 01/03/19
- Novosseloff, A. (lead author), Erthal Abdenur, A., Mandrup, T., & Pangburn, A. (2019). Assessing the effectiveness of the UN mission in the DRC/MONUC-MONUSCO. In *Effectiveness of Peace Operations Network*.
- Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. (n.d.). Retrieved November 1, 2022, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>. Visitada:27/03/22
- Obstfeld, D. (2005). Social networks, the tertius iungens orientation, and involvement in innovation. *Administrative Science Quarterly*, 50(1), 100–130.
- ONU_MONUSCO. (2020). *MONUSCO | Naciones Unidas Mantenimiento de la paz*. Naciones Unidas. Mantenimiento de La Paz. <https://peacekeeping.un.org/es/mission/monusco>. Visitada:04/03/21.
- ONU_UNDP. (2013). *Building Peace and Advancing Development in the Great Lakes Region*.
- ONU_UNMISS. (2020, September 11). *UNMISS | Naciones Unidas Mantenimiento de la paz*. Naciones Unidas. Mantenimiento de La Paz. <https://peacekeeping.un.org/es/mission/unmiss>. Visitada:04/03/21
- Ortega Villar, T. (2018). Marco general de las intervenciones de Naciones Unidas. *Revista Aequitas: Estudios Sobre Historia, Derecho e Instituciones*, 11, 103–127.
- Ortigosa, P. P. (2022). Teoría de grafos. *Desarrollo de Destrezas En Resolución de Problemas de Olimpiadas Matemáticas*, 65–84.
- Osama, M., Sherif, A., & Badawy, M. (2021). Risk analysis of construction of administration projects using Bayesian networks. *Journal of Engineering, Design and Technology*.
- Otegi Olaso, J. R. (2016). *Consideration of sustainability in project managers individual competence baseline*.
- Owens, J., Ahn, J., Shane, J. S., Strong, K. C., & Gransberg, D. D. (2012). Defining complex project management of large US transportation projects: A comparative case study analysis. *Public Works Management & Policy*, 17(2), 170–188.
- Page, K. M., & Nowak, M. A. (2002). Unifying evolutionary dynamics. *Journal of Theoretical Biology*, 219(1), 93–98.

- Palacios, J. (2019). *Entendiendo la complejidad: La matriz de Stacey*. <https://academy.jeronimopalacios.com/courses/preparacion-para-el-professional-scrum-master-i/lectures/5315213>. Visitada: 27/03/22
- Palacios Rodríguez, F. (2017). *Statistical analysis of new multivariate risk measures* [Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/handle/11441/56472>. Visitada: 21/03/21
- Paltrinieri, N., Dechy, N., Salzano, E., Wardman, M., & Cozzani, V. (2012). Lessons learned from Toulouse and Buncefield disasters: from risk analysis failures to the identification of atypical scenarios through a better knowledge management. *Risk Analysis: An International Journal*, 32(8), 1404–1419.
- Paltrinieri, N., Khan, F., & Cozzani, V. (2015). Coupling of advanced techniques for dynamic risk management. *Journal of Risk Research*, 18(7), 910–930.
- Paltrinieri, N., Tugnoli, A., Buston, J., Wardman, M., & Cozzani, V. (2013). Dynamic Procedure for Atypical Scenarios Identification (DyPASI): A new systematic HAZID tool. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(4), 683–695.
- Paltrinieri, N., & Wardman, M. (2010). Hazard identification review and assessment of unknown risks. *Deliverable D1*, 4(3), 213342–213345.
- Papageorgiou, E. I., Subramanian, J., Karmegam, A., & Papandrianos, N. (2015). A risk management model for familial breast cancer: A new application using Fuzzy Cognitive Map method. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 122(2), 123–135.
- Paté-Cornell, E. (2012). On “black swans” and “perfect storms”: Risk analysis and management when statistics are not enough. *Risk Analysis: An International Journal*, 32(11), 1823–1833.
- Pavez, I., Gómez, H., Lauhié, L., & González, V. A. (2021). Project team resilience: The effect of group potency and interpersonal trust. *International Journal of Project Management*, 39(6), 697–708.
- Pescaroli, G., & Alexander, D. (2018). Understanding compound, interconnected, interacting, and cascading risks: a holistic framework. *Risk Analysis*, 38(11), 2245–2257.
- Peter, M. (2015). Between doctrine and practice: The UN peacekeeping dilemma. *Global Governance*, 21(3), 351–370.
- Peter, M. (2016). Measuring the Success of Peace Operations: Directions in Academic Literature. *NUPI Working Paper*, 862, 14. www.nupi.no
- Petri, C. A. (2005). Introduction to general net theory. In *Net Theory and Applications: Proceedings of the Advanced Course on General Net Theory of Processes and Systems Hamburg, October 8–19, 1979* (pp. 1–19). Springer.
- Pich, M. T., Loch, C. H., & Meyer, A. de. (2002). On uncertainty, ambiguity, and complexity in project management. *Management Science*, 48(8), 1008–1023.

- Pierre, J. H. (2022). (473) *LE POINT 09 02 22 Le Professeur Joseph Harold Pierre et Le Professeur Claudel Mezilas - YouTube.* Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=k7mM4EY-D5w>. Visitada: 12/03/22
- Pinsky, M., & Karlin, S. (2010). *An introduction to stochastic modeling*. Academic press.
- Plagemann, T., Canonico, R., Domingo-Pascual, J., Guerrero, C., & Mauthe, A. (2008). Infrastructures for community networks. In *Content Delivery Networks* (pp. 367–388). Springer.
- PMBok_7. (2021). *Guía de los fundamentos para la dirección de Proyectos (Guía del PMBOK) - Séptima edición y el Estándar para la Dirección de Proyectos*. (7th ed.). Project Management Institute, Inc.
- PMI. (2009). *Practice standard for project risk management*. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- PMI. (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. Guía PMBOK* (Inc. Project Management Institute, Ed.; 6th ed.). Project Management Institute, Inc. www.pmi.org
- PMI. (2019). *The Standard for Risk Management in Portfolios, Programs and Projects*. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- PMI, & Agile Alliance. (2017). *Guía práctica de Ágil*. Project Management Institute, Inc.
- Polančič, G., & Cegnar, B. (2017). Complexity metrics for process models – A systematic literature review. *Computer Standards & Interfaces*, 51, 104–117.
- Poveda-Bautista, R., Diego-Mas, J.-A., & León-Medina, D. (2018). Measuring the project management complexity: the case of information technology projects. *Complexity*, 2018.
- Powell, W. B., Jaillet, P., & Odoni, A. (1995). Stochastic and dynamic networks and routing. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 8, 141–295.
- Powerful, A., For, V., & Weir, E. A. (2009). Greater expectations : un peacekeeping & civilian protection. *Refugees International*, July. <https://www.refworld.org/pdfid/4a76aaf42.pdf>
- Preiser, R., Biggs, R., de Vos, A., & Folke, C. (2018). Social-ecological systems as Complex Adaptive Systems. *Ecology and Society*, 23(4), 46.
- protection of civilians' team. (2019). *The protection of civilians in United Nations Peacekeeping* (Issue November). <https://www.globalprotectioncluster.org/wp-content/uploads/DPO-Policy-on-The-Protection-of-Civilians-in-United-Nations-Peacekeeping.pdf>. Visitada: 09/11/20
- Provan, K. G., & Milward, H. B. (1995). A preliminary theory of interorganizational network effectiveness: A comparative study of four community mental health systems. *Administrative Science Quarterly*, 1–33.
- Pryke, S. D. (2005). Towards a social network theory of project governance. *Construction Management and Economics*, 23(9), 927–939.

- Pushkina, D. (2006). A recipe for success? Ingredients of a successful peacekeeping mission. *International Peacekeeping*, 13(2), 133–149.
- Pushkina, D. B. (2020). Successes and failures of united nations peace operations. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta, Istorija*, 65(1), 261–277.
- Qazi, A., Quigley, J., & Dickson, A. (2015). Supply Chain Risk Management: Systematic literature review and a conceptual framework for capturing interdependencies between risks. *2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*, 1–13.
- Rahi, K. (2019). Project resilience: a conceptual framework. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 7(1), 69–83.
- Rahman, M. (2018). *Risk Management and Measurement of Risk Management Performance in Complex Projects*.
- Ramírez de la Hueriga, M., Bañuls Silvera, V. A., & Turoff, M. (2015). A CIA–ISM scenario approach for analyzing complex cascading effects in Operational Risk Management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 46, 289–302.
- Ramos-Horta, J. (2015). *Informe del grupo Independiente de alto nivel sobre las operaciones de paz: aunar nuestras ventajas en pro de la paz-política, alianzas y personas.: Vol. S/2015/446*.
- Ramsbotham, O., Woodhouse, T., & Hugh, M. (2008). *Resolución de conflictos. La prevención, gestión y transformación de conflictos letales*. (I. Catalá internacional per la P. (ICIP), Ed.; 1 Ed.). Edicions Bellaterra.
- Rathnayaka, S., Khan, F., & Amyotte, P. (2011). SHIPP methodology: Predictive accident modeling approach. Part II. Validation with case study. *Process Safety and Environmental Protection*, 89(2), 75–88.
- Raz, T., & Michael, E. (2001). Use and benefits of tools for project risk management. *International Journal of Project Management*, 19(1), 9–17.
- Redner, S. (1990). Random multiplicative processes: An elementary tutorial. *American Journal of Physics*, 58(3), 267–273.
- Remington, K., & Pollack, J. (2016). *Tools for Complex Projects*.
- Reynaert, J. (2011). MONUC / MONUSCO and Civilian Protection in the Kivus. *International Peace Information Service*, 1–47.
- Richmond, O. P., & Mitchell, Audra. (2012). *Hybrid forms of peace : from everyday agency to post-liberalism*.
- Rihani, S. (2002). Complex Systems: Theory and Development Practice. In *Futures* (1st ed.). Zed Books.

- Rodan, S. (2011). Choosing the ' β ' parameter when using the Bonacich power measure. *Journal of Social Structure*, 12(1), 1–23.
- Rolstadås, A., Johansen, A., Bjerke, Y. C., & Malvik, T. O. (2019). *Managing Risk and Opportunities in Complex Projects* (pp. 631–639).
- Rosenberger, P., & Tick, J. (2018). Suitability of PMBOK 6 th edition for agile-developed IT Projects. *2018 IEEE 18th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI)*, 241–246.
- Rosvall, M., & Bergstrom, C. T. (2008). Maps of random walks on complex networks reveal community structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(4), 1118–1123.
- Ruane, J., & Todd, J. (2004). The roots of intense ethnic conflict may not in fact be ethnic: Categories, communities, and path dependence. *Archives Europeennes de Sociologie*, 45(2), 209–232.
- Ruggeri, A., Gizelis, T.-I., & Dorussen, H. (2013). Managing mistrust: An analysis of cooperation with UN peacekeeping in Africa. *Journal of Conflict Resolution*, 57(3), 387–409.
- Russell, S., & Norvig, P. (2004). Incertidumbre, en *Inteligencia Artificial. Un enfoque moderno* (2ª Ed., pp. 527–554). Pearson Educación, S.A.
- Russo, J. (2021). Militarized peacekeeping: lessons from the Democratic Republic of the Congo. *Third World Quarterly*, 42(12), 3070–3086.
- Ry, F. (2019). *Prioritization and Sequencing of Security Council Mandates : The Case of UNMISS. February*.
- Sadia, F., Hasan, M., Nahar, N., & Rokonuzzaman, M. (2021). A New Process Model of Incremental Asset Building for Software Project Management. *2021 IEEE/ACIS 19th International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications (SERA)*, 86–90.
- Salamá, D. (2016). *¿Es el mantenimiento de la paz híbrido un modelo de éxito? El caso de la UNAMID*. <https://unu.edu/publications/articles/hybrid-peacekeeping-case-of-unamid.html>. Visitada:04/06/20
- San Cristóbal, J. R., Carral, L., Diaz, E., Frágüela, J. A., & Iglesias, G. (2018). Complexity and project management: A general overview. *Complexity*, 2018.
- Sánchez Figueroa, C., Cortiñas Vázquez, P., & Tejera Martín, Í. (2007). Kolgomorov y sus aportaciones fundamentales. *IV Congreso Internacional de Historia de La Estadística y de La Probabilidad (2007)*, p 257-264.
- Sancho Caparrini, F. (2016). *Introducción a las redes complejas*. Universidad Sevilla. <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=80>. Visitada: 14/12/22.
- Sancho Caparrini, F. (2020). *Sistemas Complejos*. Red Científica. <http://www.cs.us.es/~fsancho/?p=sistemas-complejos-2>. Visitada: 14/12/22.

- Satpute, S. (2022). *Hybrid project management and project success*. Vaasa University of Applied Sciences VAMK.
- Sayed, A. H. (2014). Adaptive networks. *Proceedings of the IEEE*, 102(4), 460–497.
- Scheffran, J., Link, P. M., Schilling, J., Scheffran, J., Link, P. M., & Schilling, J. (2019). Climate and Conflict in Africa. In *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*. Oxford Research Encyclopedia of climate science.
- Schwarcz, S. L. (2008). Systemic risk. *Geo. Lj*, 97, 193.
- Seitenfus, R. (2020). *Haiti: international dilemmas and failures*. Alameda Casa Editorial.
- Serrano Caballero, E. (2007). Las operaciones para el mantenimiento de la paz en Haití (1991-2005). *Desafíos*, 16, 180–215.
- Shalev, D. M., & Tiran, J. (2007). Condition-based fault tree analysis (CBFTA): A new method for improved fault tree analysis (FTA), reliability and safety calculations. *Reliability Engineering & System Safety*, 92(9), 1231–1241.
- Sigri, U., & Başar, U. (2014). An analysis of assessment of peacekeeping operations. *Korean Journal of Defense Analysis*, 26(3), 389–406.
- Sinha, S., Kumar, B., & Thomson, A. (2011). Complexity measurement of a project activity. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 8(4), 432–448.
- Siu, N. O., & Kelly, D. L. (1998). Bayesian parameter estimation in probabilistic risk assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, 62(1–2), 89–116.
- Skitmore, R. M., Stradling, S. G., & Tuohy, A. P. (1989). Project management under uncertainty. *Construction Management and Economics*, 7(2), 103–113.
- Sklet, S. (2006). Safety barriers: Definition, classification, and performance. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19(5), 494–506.
- Sornette, D. (2007). Probability distributions in complex systems. *ArXiv Preprint ArXiv:0707.2194*.
- Stacey, R. D. (1996). *Complexity and creativity in organizations*. Berrett-Koehler Publishers.
- Stapelberg, R. F. (2008). Infrastructure systems interdependencies and risk informed decision making (RIDM): impact scenario analysis of infrastructure risks induced by natural, technological, and intentional hazards. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 6(5), 21–27.
- Stauffer, D. (1979). Scaling theory of percolation clusters. *Physics Reports*, 54(1), 1–74.
- Stock, G. N., Greis, N. P., & Kasarda, J. D. (1998). Logistics, strategy and structure: a conceptual framework. *International Journal of Operations & Production Management*.
- Stoer, M., & Wagner, F. (1997). A simple min-cut algorithm. *Journal of the ACM (JACM)*, 44(4), 585–591.

- Stokić, D., Hanel, R., & Thurner, S. (2008). Inflation of the edge of chaos in a simple model of gene interaction networks. *Physical Review E*, 77(6), 061917.
- Suchecki, K., Eguíluz, V. M., & San Miguel, M. (2005). Voter model dynamics in complex networks: Role of dimensionality, disorder, and degree distribution. *Physical Review E*, 72(3), 036132.
- Suh, N. P., & Suh, N. P. (2001). *Axiomatic design: advances and applications* (Vol. 4). Oxford university press New York.
- Summers, J. D., & Shah, J. J. (2010). Mechanical Engineering Design Complexity Metrics: Size, Coupling, and Solvability. *Journal of Mechanical Design*, 132(2).
- Surco-Guillen, Y. C., Romero, J., Rodríguez-Rivero, R., & Ortiz-Marcos, I. (2022). Success Factors in Management of Development Projects. *Sustainability*, 14(2), 780.
- Szpitter, A., & Sadkowska, J. (2016). Using VUCA matrix for the assessment of project environment risk. *Zarządzanie i Finanse*, 14(2), 401–413.
- Tarne, R. (2015). Why Agile May Not Be the Silver Bullet You're Looking For. *PMI Global Congress.*, 5.
- Terzi, C., & Istvan, P. (2010). *JIU/REP/2010/4. Review of ERM in the UN system.*
- Thamhain, H. J. (2013). Managing Risks in Complex Projects. *Project Management Journal*, 44(2), 20–35. <https://www.pmi.org/learning/library/managing-risks-complex-projects-5946>. Visitada: 21/05/21
- Thurner, S., Corominas-Murtra, B., & Hanel, R. (2017). Three faces of entropy for complex systems: Information, thermodynamics, and the maximum entropy principle. *Physical Review E*, 96(3), 032124.
- Thurner, S., Hanel, R., & Klimek, P. (2018). *Introduction to the theory of complex systems*. Oxford University Press.
- Torrón Durán, R. (1997). *El análisis de sistemas* (1st ed.). ISDEFE.
- Traylor, R. C., Stinson, R. C., Madsen, J. L., Bell, R. S., & Brown, K. R. (1984). Project management under uncertainty. *Project Management Journal*, 15(1), 66–75.
- Tsallis, C. (2009). Introduction to non extensive statistical mechanics: approaching a complex world. *Springer*, 1(1), 1–2.
- UNISDR. (2015). *Marco de Sendai para la reducción del riesgo de desastres 2015-2030.*
- United Nations Agile P. (n.d.). *United Nations ready to embrace agile | United Nations*. Retrieved October 31, 2022, from <https://www.un.org/en/newwork-culture-change-un/united-nations-ready-embrace-agile>
- UNMISS Press Release. (n.d.). *Perpetrators of violence against civilians at Terrain Hotel held accountable for their crimes | UNMISS*. Retrieved December 10, 2022, from

<https://unmiss.unmissions.org/perpetrators-violence-against-civilians-terrain-hotel-held-accountable-their-crimes>

- Utne, I. B., Hokstad, P., & Vatn, J. (2011). A method for risk modeling of interdependencies in critical infrastructures. *Reliability Engineering & System Safety*, 96(6), 671–678.
- van der Lijn, J. (2006). *Walking the Tightrope: Do UN Peacekeeping Operations Actually Contribute to Durable Peace?* (1st ed., Issue January 2006). Dutch University Press.
- van der Lijn, J. (2010a). If Only There Were a Blueprint! Factors for Success and Failure of UN Peace-Building Operations. *Journal of International Peacekeeping*, 13(1–2), 45–71.
- van der Lijn, J. (2010b). Success and failure of un peacekeeping operations: UNMIS in Sudan. *Journal of International Peacekeeping*, 14(1–2), 27–59.
- van der Lijn, Jaïr. (2008). To Paint the Nile Blue: Factors for success and failure of UNMIS and UNAMID. *Netherlands Institute of International Relations "Clingendael," June 2013.*
- Varajão, J. (2016). Success Management as a PM knowledge area–work-in-progress. *Procedia Computer Science*, 100, 1095–1102.
- Vázquez, F., Eguíluz, V. M., & San Miguel, M. (2008). Generic absorbing transition in coevolution dynamics. *Physical Review Letters*, 100(10), 108702.
- Vega Fernández, E. (2010). *Operaciones militares de gestión de crisis, tipos, evolución y características.* (IUGM, Ed.; 1st ed.). Doppel, S.L.
- Vega Mancera, J. A. (2012). Inteligencia militar en las operaciones de naciones unidas. Soluciones adaptadas para lograr el éxito. *Ejército*, 859, 24–27.
- Vegas Fernández, F. (2019). *Factor de visibilidad. Nuevo indicador para la evaluación cuantitativa de riesgos* [Universidad Politécnica de Madrid]. <http://oa.upm.es/56394/>
- Vila Grau, J. L., & Capuz Rizo, S. (2020). *Análisis del impacto de la Agilidad sobre los modelos de gestión de proyectos PMBoK, PRINCE2 e IPMA.*
- Walby, S. (2003). Complexity theory, globalization and diversity. *Conference of the British Sociological Association*, 22.
- Walter, B. F. (2002). *Committing to peace: The successful settlement of civil wars.* Princeton University Press.
- Wang, R., Wang, E., Li, L., & Li, W. (2022). Evaluating the Effectiveness of the COVID-19 Emergency Outbreak Prevention and Control Based on CIA-ISM. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), 7146.
- Wang, W., Liu, Q.-H., Liang, J., Hu, Y., & Zhou, T. (2019). Coevolution spreading in complex networks. *Physics Reports*, 820, 1–51.
- Wangersky, P. J. (1978). Lotka-Volterra population models. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 9, 189–218.

- Ward, S. C., & Chapman, C. B. (1995). Risk-management perspective on the project lifecycle. *International Journal of Project Management*, 13(3), 145–149.
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*.
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 393(6684), 440–442.
- Weaver, P. (2007). a Simple View of ' Complexity ' in project management. *Mosaic A Journal for The Interdisciplinary Study of Literature*, November, 13.
- Weiss, T. G. (2003). The illusion of UN Security Council reform. *Washington Quarterly*, 26(4), 147–161.
- Williams, T. (2005). Assessing and moving on from the dominant project management discourse in the light of project overruns. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 52(4), 497–508.
- Williams, T. (2017). The Nature of Risk in Complex Projects. *Project Management Journal*.
- Williams, T. M. (1997). Empowerment vs risk management? *International Journal of Project Management*, 15(4), 219–222.
- Willumsen, P., Oehmen, J., Stingl, V., & Gheraldi, J. (2019). Value creation through project risk management. *International Journal of Project Management*, 37(5), 731–749.
- Willy, C., Neugebauer, E. A. M., & Gerngrob, H. (2003). The Concept of Nonlinearity in Complex Systems. *European Journal of Trauma*, 29(1), 11–22.
- Wils, O., Hopp, U., Ropers, N., Vimalarajah, L., Zunzer, W. (2006). The Systemic Approach to Conflict Transformation: Concept and Fields of Application. *Berghof Foundation for Peace Support*, 108.
- Winther, B. Z. (2020). A Review of the Academic Debate about United Nations Security Council Reform. *The Chinese Journal of Global Governance*, 6(1), 71–101.
- Wistuba, F. W. (2017). *Preconditions for Success in UN Peacekeeping Operations Table of Content* (Issue July). Leiden University.
- Wolf Project. (2019). *Gestión híbrida de proyectos: el trompagardo - YouTube*. Wolf Project. <https://www.youtube.com/watch?v=C2nZrQPYZzc>. Visitada: 10/10/21
- Woodhouse, T., & Duffey, T. (2000). Peacekeeping and international conflict resolution. *New York: Dag Hammarskjöld Centre*.
- Woodhouse, T., & Solá-martín, A. (2011). The United Nations, armed conflict, and Peacekeeping. *Handbook of defense Politics*, 66. [http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/50481/2/United Nations and peace operations_Unit1_The United Nations%2C armed conflict and peacekeeping.pdf](http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/50481/2/United%20Nations%20armed%20conflict%20and%20peacekeeping.pdf)

- Wooding, B. (2011). El impacto del terremoto en Haití sobre la inmigración haitiana en República Dominicana. *América Latina Hoy*.
- Wos, L., Overbeck, R., Lusk, E., & Boyle, J. (1984). *Automated Reasoning: Introduction and Applications*. Prentice Hall Professional Technical Reference.
- Wright, S. (1932). *The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding, and selection in evolution*.
- Wu, X., Wang, Y., Zhang, L., Ding, L., Skibniewski, M. J., & Zhong, J. (2015). A dynamic decision approach for risk analysis in complex projects. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 79(3), 591–601.
- Xia, B., & Chan, A. P. C. (2012). Measuring complexity for building projects: a Delphi study. *Engineering, Construction and Architectural Management*.
- Yamasaki, K., Matia, K., Buldyrev, S. v, Fu, D., Pammolli, F., Riccaboni, M., & Stanley, H. E. (2006). Preferential attachment and growth dynamics in complex systems. *Physical Review E*, 74(3), 035103.
- Yun, T.-S., Jeong, D., & Park, S. (2019). “Too central to fail” systemic risk measure using PageRank algorithm. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 162, 251–272.
- Zambakari, C., Kang, T. K., & Sanders, R. A. (2018). The role of the UN Mission in South Sudan (UNMISS) in protecting civilians. *The Challenge of Governance in South Sudan*, 95–130.
- Zavaleta Hernández, S. K., & Franco Silva, A. (2020). La Militarización del Desarrollo: La intervención humanitaria humanicida en Haití. *Revista Internacional de Cooperación y Desarrollo*, 7(1), 12–34.
- Zeid Al-Hussein. (2003). *A/59/710; A Comprehensive Strategy to Eliminate Future Sexual Exploitation and Abuse in United Nations Peacekeeping Operations*. <https://peacekeeping.un.org/en/report-of-secretary-generals-special-advisor-prince-zeid-raad-zeid-al-hussein-comprehensive-strategy>. Visitada: 14/09/21
- Zhang, H. (2011). Two schools of risk analysis: A review of past research on project risk. *Project Management Journal*, 42(4), 5–18.
- Zhang, Y.-C. (1989). Scaling theory of self-organized criticality. *Physical Review Letters*, 63(5), 470.
- Zio, E. (2018). The future of risk assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, 177, 176–190.