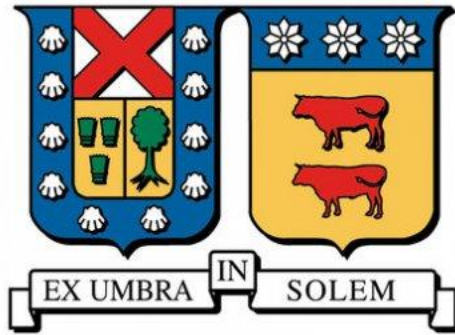




UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

**INTEGRACIÓN DE LA TEORÍA DEL PENSAMIENTO PODEROSO OTSM – TRIZ CON
LA HERRRAMIENTA DE ANÁLISIS DE ESCENARIOS FUTURES WHEEL Y LA
MATRIZ DE VESTER.**

**CASO DE ESTUDIO: MONITOREO DE INCENDIOS FORESTALES EN EL TERRITORIO
NACIONAL UTILIZANDO SISTEMAS DE DRONES DE SOBREVUELO.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

AUTOR

MARCELA MONTALBA GÓMEZ

PROFESOR GUÍA

CHRISTOPHER NIKULIN CHANDIA

VALPARAÍSO, ENERO, 2018.

1. Dedicatoria

A mis abuelos, Omar y Margarita.

A mis padres, Guillermo y Lorena.

2. Agradecimientos

Mi paso por esta Universidad ha sido indudablemente interesante: reí, lloré, no dormí, hice amigos, me enamoré, aprendí, pasé interminables días estudiando, y así mismo, fue una época de disfrute y gran crecimiento. Tuve muchos triunfos y éxitos, pero también fracasos y momentos difíciles, muchas veces –más de las que quisiera, a decir verdad– pensé que no lo lograría. Y, sin embargo, aquí estoy: lo conseguí. Por lo mismo, mis agradecimientos van, en primer lugar, a Dios, y a mis padres Guillermo y Lorena, porque no hubiese sobrevivido estos seis años de locura sin su compañía, paciencia, amor y comprensión. Gracias, papá, por todos los desayunos, los abrazos, y por siempre entender; si soy empática y generosa (al menos lo intento) con las personas es sólo gracias a tu ejemplo. A ti, mamá, gracias por todos los *regaloneos* y por devolverme siempre al camino; si logré salir adelante estos años fue porque me heredaste tu fortaleza, pero también porque fuiste fuerte por las dos cuando yo no pude. Fueron los primeros en creer en mí, en todas mis locuras artísticas y en este desafío de ser Ingeniera, y así se han mantenido por veinticuatro años: este triunfo es para y de ustedes.

También quiero extender mis agradecimientos a mi hermana Daniela y su familia –mención especial para los peques: Gabriel, Lucas y Amanda–, por aportarme el grado de felicidad, locura y diversión correspondiente, y también necesaria, durante todo este tiempo. Gracias Dani, por ser la mejor hermana mayor del mundo, por siempre defenderme y quererme, incluso en mis peores días sin dormir: yo igual te quiero.

Mis abuelos Omar y Margarita fueron también parte fundamental de esta travesía, y si bien ninguno de los dos me acompaña físicamente en el término de ésta, no podía dejar de immortalizar sus nombres en esta sección. Abuelos: siempre me hicieron sentir que nada de lo que hiciera podría nunca cambiar lo que ustedes pensaban de mí, su amor y cariño incondicional estarán siempre conmigo. Es por ustedes que hoy me siento invencible. Gracias por darme la mejor infancia –y vida– que una niña puede desear, este logro lleva también sus nombres.

También a mi familia Montalba Matamala: no hubiese podido lograrlo sin sus constantes regalones y palabras de aliento, los quiero. A mi familia Gómez, así como a mis amigos y amigas de toda la vida, y a los padres de mis amigos y amigas, que son también como mis padres. A todos ellos, por su cariño, confianza y regalones, gracias.

Por supuesto, no puedo dejar de mencionar a los amigos y amigas que hice durante todo este tiempo, y que, curiosamente, fueron bastantes. Gracias a todos por soportarme, por esas largas noches y días de estudio, por las risas y todas las experiencias vividas. Más que con los teoremas e integrales estudiados, me quedo con todo lo que ustedes me enseñaron: sus vidas (nortinas, sureñas y también extranjeras) son una bendición en la mía, sus palabras de aliento, sus consejos y también sus acciones, las cuales son un claro reflejo de las tremendas personas que son, también me llenan de orgullo. El apañamiento de todos ustedes ha sido increíble. Gracias por creer en mí, cabros y cabras, yo también creo en ustedes.

A todos mis profesores, muchas gracias. Muchos de ustedes fueron, sin saber, un gran soporte y apoyo a lo largo de estos semestres: me plantearon desafíos, me sacaron de mi zona de comodidad y me enseñaron y ayudaron cuando se los pedí.

Finalmente, mis más profundos agradecimientos al Profesor Christopher Nikulin, por plantearme este desafío y confiar en que sería capaz de sacarlo adelante. Gracias, profesor, por responder todas mis preguntas –las buenas y también las malas–, por resolver mis dudas incluso antes de que se las formulara y por la increíble paciencia que tuvo conmigo. Ha sido un placer trabajar con usted durante este tiempo.

Han sido seis años movidos, pero seis años buenos, que recordaré siempre como una etapa muy linda de mi vida que tuve la fortuna de compartir con gente aún más linda, tanto fuera como por dentro. Me quedo con los mejores recuerdos, y no puedo esperar a ver qué aventuras me esperan a continuación. Estoy confiada en que mis elecciones siempre serán entre lo bueno y lo mejor, y que mi vida estará a la altura de lo que soy: y eso es más que vencedora.

3. Resumen

La siguiente investigación propone la integración de dos metodologías de carácter innovador, que se basan en el testimonio y la opinión de expertos en ciertas áreas de investigación: la teoría del pensamiento poderoso OTSM – TRIZ y la herramienta de análisis de escenarios de ocurrencia Futures Wheel. Esta integración se pretende lograr a través de la combinación de ambas herramientas, con el objetivo de proponer una nueva metodología que permita un acercamiento más globalizado a todo tipo de situaciones en conflicto, al unir la resolución de problemas de inventiva con el análisis de escenarios de ocurrencia para un mismo evento, cambio o situación, permitiendo la aplicación de ambas metodologías de manera simultánea e integrada. En base a lo anterior, la validación de esta combinación propuesta se realizó en base al desarrollo de un sistema inteligente de visión multimodal basado en la utilización de drones, que permita el monitoreo automático de incendios forestales en grandes extensiones de territorio y en escenarios no estructurados en tiempo real dentro del territorio nacional chileno.

4. Abstract

The following research proposes the integration of two innovative methodologies: the General Theory of Powerful Thinking OTSM - TRIZ and Futures Wheel, a tool for analyzing different scenarios of occurrence. This integration is meant to be achieved through the combination of both methodologies, with the aim of proposing a new combined methodology that allows a more globalized approach to all types of situations in conflict, combining the resolution of inventive problems with the analysis of scenarios for the same event, change or situation, allowing the application of both methodologies in a simultaneous and integrated manner. Furthermore, the validation of the proposed combination was based on a case of study, particularly, on the development of an intelligent multimodal vision system based on the use of drones, which allows the automatic monitoring of forest fires in large areas of territory and in unstructured scenarios in real time, inside the Chilean territory.

5. Glosario

AHP: Proceso de Análisis Jerárquico.

CPO: Consecuencias Directas de Primer Orden.

CSO: Consecuencias Indirectas de Segundo Orden.

DGAC: Dirección General Aeronáutica Civil.

FW: Futures Wheel.

RdC: Red de Contradicciones.

RdP: Red de Problemas.

RPAS: Aeronaves Pilotadas a Distancia (controlados de forma remota).

SO: Operador de Sistema.

UAV/VANT: Unmanned Aerial Vehicle / Vehículo Aéreo No Tripulado.

6. Índice de Contenidos

1. Dedicatoria.....	2
2. Agradecimientos.....	3
3. Resumen.....	5
4. Abstract	6
5. Glosario.....	7
7. Índice de Figuras.....	11
8. Índice de Tablas	12
9. Problema de Investigación.....	14
10. Objetivos	18
10.1 Objetivo General	18
10.2 Objetivos Específicos.....	18
11. Alcance	19
12. Estado del Arte	20
12.1 OTSM – TRIZ.....	20
12.1.1 TRIZ.....	20
12.1.2 OTSM – TRIZ	21
12.2 Futures Wheel	24
12.3 TEES	26
12.4 Matriz de Vester	26
13. Metodología	29
13.1 Diagrama asociado a la Metodología Propuesta	29
13.2 Paso 1: Descripción de la situación inicial y contexto a analizar	30

13.3 Paso 2: Determinación y análisis de escenarios de estudio	31
13.4 Paso 3: Combinación de metodologías OTSM – TRIZ y FW	33
13.5 Paso 4: Jerarquización de variables	34
13.6 Paso 5: Generación de la nueva Red Combinada.....	35
13.7 Paso 6: Análisis y toma de decisiones	37
14. Aplicación: Caso de Estudio	38
14.1 Paso 1: Descripción de la situación inicial y contexto a analizar.....	38
14.1.1 Antecedentes Generales	38
14.1.2 Operador de Sistema.....	43
14.2 Paso 2: Análisis y determinación de escenarios de estudio.....	46
14.2.1 Escenario 1: Tecnológico / Técnico	46
14.2.2 Escenario 2: Económico	50
14.2.3 Escenario 3: Medioambiental (Environment)	51
14.2.4 Escenario 4: Social	54
14.3 Paso 3: Combinación de metodologías	61
14.3.1 RdP 1: Escenario Tecnológico	62
14.3.2 RdP 2: Escenario Económico	63
14.3.3 RdP 3: Escenario Medioambiental	64
14.3.4 RdP 4: Escenario Social	65
14.4 Paso 4: Jerarquización de variables	66
14.4.1 RdP 1: Escenario Tecnológico	66
14.4.2 RdP 2: Escenario Económico	68
14.4.3 RdP 3: Escenario Medioambiental	70
14.4.4 RdP 4: Escenario Social	72
14.5 Paso 5: Generación de la nueva Red Combinada.....	74

14.6 Paso 6: Análisis y toma de decisiones	77
15. Conclusiones.....	79
15.1 De la metodología propuesta	79
15.2 Del caso de estudio	83
16. Referencias.....	85

7. Índice de Figuras

Figura 1: Modelo de Operador de Sistemas (Altshuller, 1984).....	22
Figura 2: Red de Problemas OSTM – TRIZ.....	23
Figura 4: Diagrama Futures Wheel.....	25
Figura 5: Gráfica Matriz de Vester.....	28
Figura 6: Diagrama Metodológico	29
Figura 7: Modelo del Operador de Sistemas.....	30
Figura 8: Nueva Red Combinada Básica	36
Figura 9: RdP tecnológica utilizando OTSM – TRIZ	62
Figura 10: RdP económico utilizando OTSM – TRIZ.....	63
Figura 11: RdP medioambiental utilizando OTSM - TRIZ.....	64
Figura 12: RdP social utilizando OTSM - TRIZ.....	65
Figura 13: Gráfico de la Matriz de Vester: Tecnológico	67
Figura 14: Gráfico de la Matriz de Vester: Económico	69
Figura 15: Gráfico de la Matriz de Vester: Medioambiental	71
Figura 16: Gráfico de la Matriz de Vester: Social.....	73
Figura 17: Red Combinada.....	76

8. Índice de Tablas

Tabla 1: Formato calificación Matriz de Vester	26
Tabla 2: Pasos de aplicación Matriz de Vester	27
Tabla 3: Cuadro Resumen de Escenarios Propuestos por TEES.....	32
Tabla 4: Jerarquización en base a la Matriz de Vester y Futures Wheel	35
Tabla 5: Cuadro resumen de sistemas de detección de incendios en Chile	42
Tabla 6: Esquema básico del Operador de Sistema aplicado al caso de estudio propuesto	45
Tabla 7: Esquema básico aplicado al caso de estudio propuesto.....	47
Tabla 8: Unidades del subsistema de control	49
Tabla 9: Temas medioambientales en los que se usan drones.....	54
Tabla 10: Cuadro Comparativo Normas DAN - 151 y DAN – 91	57
Tabla 11: Cuadro resumen sanciones y procesos infraccionales al año 2017	58
Tabla 12: Ventas de RPAS en Chile en los últimos cuatro años.....	58
Tabla 13: Cuadro resumen de RPAS inscritas en DGAC, total de credenciales y autorizaciones entre 2015 – 2017	59
Tabla 14: Cuadro definición tema de interés.....	61
Tabla 15: Matriz de Vester para escenario Tecnológico.....	66
Tabla 16: Clasificación de los resultados de la Matriz de Vester (Tecnológico) utilizando FW.....	67
Tabla 17: Matriz de Vester para escenario Económico.....	68
Tabla 18: Clasificación de los resultados de la Matriz de Vester (Económico) utilizando FW	69
Tabla 19: Matriz de Vester para escenario Medioambiental.....	70
Tabla 20: Clasificación de los resultados de la Matriz de Vester (Medioambiental) utilizando FW	71
Tabla 21: Matriz de Vester para escenario Social.....	72
Tabla 22: Clasificación de los resultados de la Matriz de Vester (Social) utilizando FW	73
Tabla 23: Equivalencias en Future Wheel de cada variable identificada	75

Tabla 24: Equivalencias entre la Matriz de Vester y Futures Wheel	80
---	----

9. Problema de Investigación

La siguiente investigación plantea la integración de dos metodologías de carácter innovador, la teoría del pensamiento poderoso OTSM – TRIZ y la herramienta de análisis de escenarios de ocurrencia Futures Wheel. Esta integración se pretende lograr a través de la combinación de ambas herramientas, como mecanismo que permita un acercamiento más globalizado a todo tipo de situaciones en conflicto, al unir la resolución de problemas de inventiva con el análisis de escenarios de ocurrencia para un mismo evento, cambio o situación, permitiendo la aplicación de ambas metodologías de manera simultánea e integrada. Así mismo, se pretende realizar su validación en un tópico de gran relevancia tanto a nivel mundial como nacional, y particularmente, a una de sus soluciones asociadas, de carácter innovador y tecnológico, que ha surgido en el último tiempo como forma de combatir el problema asociado: incendios forestales y drones de sobrevuelo para el monitoreo de éstos.

Durante las últimas décadas, los incendios forestales han sido tema de gran contingencia y relevancia en los más diversos puntos del globo, debido al aumento en cantidad y magnitud que han experimentado en el último tiempo (Westerling et al. 2006); se ha pronosticado que, en el futuro, los incendios forestales serán cada vez más frecuentes y agresivos, pues las condiciones climáticas cambiantes favorecen la iniciación y propagación del fuego (Castillo et al. 2003). En Chile, los incendios forestales están estrechamente relacionados con factores humanos, ya sea a través de negligencia, descuido o irracionalidad en el uso del fuego, afectando a más del 45% del territorio nacional (Haltenhoff, 2011). En base a lo anterior, es que se vuelve trascendental el control y monitoreo de los mismos; prevenir, detectar y controlar incendios forestales conlleva, entre otros, una exposición permanente del personal brigadista a sufrir daños físicos o lesiones (Fonseca, 2014). Es fundamental, por tanto, prestar importancia a la complejidad con que se desarrolla cada uno de estos acontecimientos en particular, para posteriormente establecer protocolos y procedimientos de mitigación a partir de una perspectiva generalizada, abarcando íntegra y globalmente el problema desde la etapa de monitoreo.

Previas investigaciones en el tema están principalmente orientadas a la detección temprana de causas o situaciones que, eventualmente, puedan desembocar en la generación de incendios forestales, considerándose esta actividad como fundamental en el manejo del fuego para aminorar oportunamente los efectos de la ocurrencia (Tapia y Castillo, 2014). Otros autores (Brown y Davis, 1973) señalan que esta actividad corresponde a la acción dirigida a vigilar una zona bajo protección, con el propósito de descubrir y localizar los incendios forestales que puedan haberse iniciado en algún lugar en particular. Por su parte, Pons (2001) realiza una investigación acerca de las consecuencias que los incendios forestales traen sobre los vertebrados, Sempere et al. (1994) concluyen a partir del punto de vista hidrológico, mientras que Chuvieco et al. (1998) lo hacen desde el punto de vista territorial, enfocándose principalmente en la zona mediterránea. De aquí, es destacable la importancia del estudio y análisis de los incendios forestales desde los más diversos puntos de vista y aristas, así como desde una perspectiva que sea capaz de integrar los aspectos relevantes de los mismos, a la luz del contexto en el que están insertos, con el fin de predecir comportamientos, observando así posibles soluciones y protocolos a implementar en el corto y mediano plazo.

En la actualidad, la Corporación Nacional Forestal (CONAF), frente a una situación de incendio forestal evalúa, en primer lugar, la condición del siniestro, para así enviar los recursos que sean capaces de mitigarlo. Esta acción, y los procedimientos asociados a ella, son realizados de manera verbal por los encargados correspondientes. De aquí, se infiere que existen muchos problemas intrínsecos en la actividad misma, puesto que la situación problema es muy compleja en la realidad; se deben considerar factores que divergen enormemente los unos de los otros, como los procedimientos, protocolos, la evaluación primaria, rutas de escape, entre otros. Bajo la identificación de este conflicto, se propone como solución la utilización de drones, no para mitigar el fuego en sí, sino para entregar información a las personas a cargo del control de la situación de incendio cuando no hay punto de visión del mismo, o cuando éste comienza a tener una magnitud considerable, que lo vuelve más difícil de controlar y maniobrar. Otras dificultades se añaden a esta posible respuesta, debido a que el uso de drones en la actualidad posee muchas regulaciones, sea cual sea su finalidad; la meta está en que

éstos sean vistos como una contribución y una solución a los actuales problemas del proceso de monitoreo y mitigación de incendios forestales, una herramienta útil que simplifique las maniobras de brigadistas, trabajadores y todos quienes formen parte de su tratamiento.

La Real Academia Española define la palabra drone como una “*aeronave no tripulada*”, un pequeño tipo de aparato volador no comandado, que puede ser controlado en forma remota. Estos pueden ser usados en múltiples e infinitas tareas gracias a su despegue y aterrizaje vertical con capacidad de mantener y disminuir la velocidad de vuelo en la misma posición geográfica, tareas que, en ocasiones, el ser humano se ve imposibilitado de realizar o que son demasiado peligrosas, y que van, entre otras, desde la exploración de residuos tóxicos, vigilancia fronteriza y militar, para la búsqueda de personas extraviadas, hasta fines recreativos o comerciales, como conciertos, ferias y repartos. Por otro lado, las aeronaves no tripuladas no necesitan de pistas de aterrizaje y, en comparación a las aeronaves tripuladas, proponen una reducción tanto en los costos como en los riesgos asociados (P.-M Basset, 2014).

Los inicios del desarrollo de drones se remontan hace más de un siglo, cuando fueron estudiados y utilizados por la inteligencia militar, básicamente con el objeto de recolectar información en el terreno enemigo y dar inicio al fuego cuando fuese necesario. Este desarrollo se dio principalmente a través de las fuerzas armadas de Estados Unidos, quienes apuntaban a la investigación del uso de esta tecnología para la carga de explosivos, entre otros. En los últimos años, sin embargo, los drones han evolucionado a más usos además del militar, utilizándose también en el ámbito comercial por personas aficionadas y en otras áreas de investigación, realizando significativos aportes en diversos ámbitos de investigación gracias a su uso.

En base a lo anterior, la investigación toma importancia cuando se propone el desarrollo de un sistema inteligente de visión multimodal basado en la utilización de drones, que permita el monitoreo automático de incendios forestales en grandes extensiones de territorio y en escenarios no estructurados en tiempo real. La escasez de información en el contexto de monitoreo automático de incendios forestales a gran escala hace que el desarrollo de un sistema de este tipo constituya una gran

oportunidad, tanto para resolver un problema real que involucra la seguridad de las personas, como para abrir nuevas áreas de investigación. De esta manera, se busca que, al implementar una solución basada en drones, la información esté disponible en tiempo real, pudiendo distribuirse los recursos disponibles para combatir incendios de manera adecuada y eficiente. A partir de esto, es relevante analizar por completo el tema en cuanto a su complejidad global, abarcando el antes, durante y la etapa posterior, prestando especial relevancia a la etapa de monitoreo de los incendios forestales, desde un punto de vista innovador y estratégico.

10. Objetivos

10.1 Objetivo General

Analizar la complejidad del monitoreo de los incendios forestales, mediante la integración de la Teoría del Pensamiento Poderoso OTSM - TRIZ en combinación con la herramienta de análisis de escenarios Futures Wheel, representando la realidad del monitoreo en la actualidad, planteándose como solución al problema en cuestión la utilización de sistemas de drones de sobrevuelo.

10.2 Objetivos Específicos

- Generar una base teórica y conceptual en relación a los incendios forestales y a los sistemas de drones de sobrevuelo, a partir de estudios realizados previamente que traten el tema en cuestión.
- Generar una base teórica y conceptual en relación a la metodología OTSM – TRIZ y a la herramienta de análisis Futures Wheel.
- Elaborar un algoritmo metodológico que permita la combinación íntegra de ambas metodologías.
- Elaborar una red de problemas y soluciones que represente la realidad del uso de drones en el monitoreo del incendio actualmente, desde diferentes escenarios de enfoque, utilizando la metodología OTSM – TRIZ en combinación con la herramienta de análisis de escenarios Futures Wheel.
- Obtener conclusiones relevantes en relación a la utilización de ambas metodologías combinadas en el planteamiento y resolución de problemas.

11. Alcance

La presente investigación de memoria se enmarca bajo el proyecto “Sistema de Drones Colaborativos y Visión Multimodal para el Monitoreo”, realizado por estudiantes de la Universidad Técnica Federico Santa María y respaldado por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica CONICYT, el cual propone el desarrollo de un sistema inteligente de visión multimodal basado en la utilización de drones, que permita el monitoreo automático de incendios forestales en grandes extensiones de territorio y en escenarios no estructurados en tiempo real.

A partir de lo anterior, esta memoria, en particular, se enfoca en la aplicación de la combinación de la metodología OTSM – TRIZ con la herramienta Futures Wheel, y su correspondiente implementación en los tópicos de monitoreo y mitigación de incendios forestales en el territorio nacional, desde el punto de vista de la implementación del sistema de drones colaborativos que contribuyan a un cambio positivo del paradigma que predomina en este tipo de situaciones actualmente. De aquí, se busca generar una red de problemas – soluciones que a la vez incluya un análisis de escenarios de relevancia y jerarquización de variables, obteniéndose así conclusiones relevantes respecto del tema, que puedan apoyar el trabajo de investigación ya realizado en este campo, así como futuros estudios y/o proyectos del mismo ámbito.

12. Estado del Arte

El propósito de esta sección es dar a conocer el estado actual de la temática que se está desarrollando en relación a las metodologías que se utilizarán para el planteamiento y desarrollo de la investigación.

12.1 OTSM – TRIZ

12.1.1 TRIZ

El acrónimo TRIZ hace referencia a la teoría rusa Tieoriya Riesheniya Izobrietatielskij Zadach, conocida en español como la Teoría para Resolver Problemas de Inventiva, la cual fue desarrollada por Genrich Altshuller a partir de la segunda mitad de la década del 40, y que está conformada por un conjunto lógico de hipótesis, modelos y herramientas que se combinan para alcanzar un objetivo final: la creación de un enfoque sistemático para la resolución de problemas. Dentro de los estudios realizados por Altshuller, el análisis de un gran número de patentes revela que no todas las invenciones son iguales en su valor inventivo. En base a esto, propuso cinco niveles de innovación (Altshuller, 2002):

- Nivel 1: Una simple mejora de un sistema técnico. Requiere conocimiento disponible dentro de un comercio relevante para ese sistema.
- Nivel 2: Una invención que incluye la resolución de una contradicción técnica. Requiere conocimiento de diferentes áreas dentro de una industria relevante para el sistema.
- Nivel 3: Una invención que contiene la resolución de una contradicción física. Requiere conocimiento de otras industrias.
- Nivel 4: Se desarrolla una nueva tecnología que contiene una solución innovadora, la que requiere conocimientos de diferentes campos de la ciencia.
- Nivel 5: Descubrimiento de nuevos fenómenos.

En la actualidad, esta metodología es aplicada en el campo de diseño para la resolución de problemas técnicos, aumentándose, a través de su utilización, la calidad de las soluciones conceptuales (López-Campos et. al, 2014). Nikulin et al. (2014) señalan que TRIZ utiliza ciertas herramientas como el operador de sistema, la red de problemas y la red de contradicciones, y que está basada en tres conceptos principales, los cuales se consiguen mediante la combinación y trabajo conjunto de los instrumentos previamente mencionados. Para esto, la metodología TRIZ recomienda plantear cualquier problema como un sistema, el cual tendrá funciones útiles que desempeñan las tareas fundamentales del mismo, y otras funciones más perjudiciales (bajo el concepto de idealidad), a las que se debe buscar disminuir o erradicar (López-Campos et. al, 2014).

12.1.2 OTSM – TRIZ

A principios de la década de 1980, más y más personas comenzaron a aplicar TRIZ no sólo a la resolución de problemas de ingeniería, sino a problemáticas de otras áreas. Las limitaciones del TRIZ clásico tienen relación con la complejidad del problema a resolver, el cual puede combinar aspectos tanto técnicos como administrativos. Altshuller comenzó a escribir en sus artículos y manuscritos que TRIZ tuvo que ser transformado en la Teoría General del Pensamiento Poderoso: OTSM, la cual es una abreviatura rusa para esta teoría, y al mismo tiempo el nombre dado por el propio Altshuller. En julio de 1997, éste concedió a Nikolai Khomenko un permiso para utilizar el nombre OTSM para su investigación (Khomenko et al., 2002) y posterior desarrollo.

OTSM- TRIZ es, por tanto, la Teoría General del Pensamiento Poderoso, la solución de problemas e inventiva, desarrollada por G.S. Altshuller y N. Khomenko, para analizar la realidad de manera sistémica y dialéctica, y resolver problemas con creatividad y eficiencia (HUIZACHE, 2017). Su objetivo es proporcionar instrumentos para aumentar la eficiencia de las soluciones en casos de problemas complejos y atípicos (Cavallucci & Khomenko, 2006), permitiendo a la vez realizar un análisis de problemas más profundos y detallados. Esta metodología ha sido previamente utilizada en estudios relacionados con catástrofes, por ejemplo, López-Campos et al. (2014) la

aplicaron, particularmente, a los incendios que ocurren recurrentemente en la ciudad de Valparaíso, Chile.

A continuación, se detallan dos herramientas relevantes que forman parte de la metodología OTSM – TRIZ, las cuales permiten entender la complejidad de una situación íntegramente (Khomenko & De Guio, 2007):

12.1.2.1 Operador de Sistema (SO)

El Operador de Sistema perteneciente a la metodología TRIZ es una de las herramientas propuestas para generar análisis del contexto que se está estudiando, así como de los factores que pueden afectar o limitar la situación. De esta forma, el Operador de Sistema (a saber, SO) permite contextualizar la situación en conflicto (Altshuller, 1984), mediante la proposición de que un sistema puede ser descrito en diferentes niveles (sistema, sub-sistema, súper-sistema), permitiendo así entender distintos escenarios para un mismo contexto. El autor también recalca la importancia de entender cómo cambian cada uno de los sistemas, para así entender más completamente los cambios relacionados a estos.



Figura 1: Modelo de Operador de Sistemas (Altshuller, 1984)

12.1.2.2 Red de Problemas (RdP)

En OTSM – TRIZ, la Red de Problemas (RdP) corresponde a un diagrama que muestra la situación actual del sistema o empresa que se está analizando, con el objeto de solucionar o mejorar algún aspecto de éste. También es utilizada para entender el riesgo durante el proceso de generación de soluciones, anticipando así potenciales problemas y ayudando a mitigarlos (Nikulin et al., 2013).

La Red de Problemas se representa a través de nodos, donde cada uno de ellos puede tener dos potenciales representaciones:

- Representación de un problema (a saber, Pb).
- Representación de una solución parcial (a saber, PS), la cual puede obtenerse a través de la aplicación de TRIZ clásico o de otra herramienta utilizable en el proceso de resolución de problemas (Khomenko & Kucharavy, 2002).

La línea que une cada problema con una solución parcial representa un nexo causal. La representación gráfica de los componentes principales de la Red de Problemas se muestra a continuación:

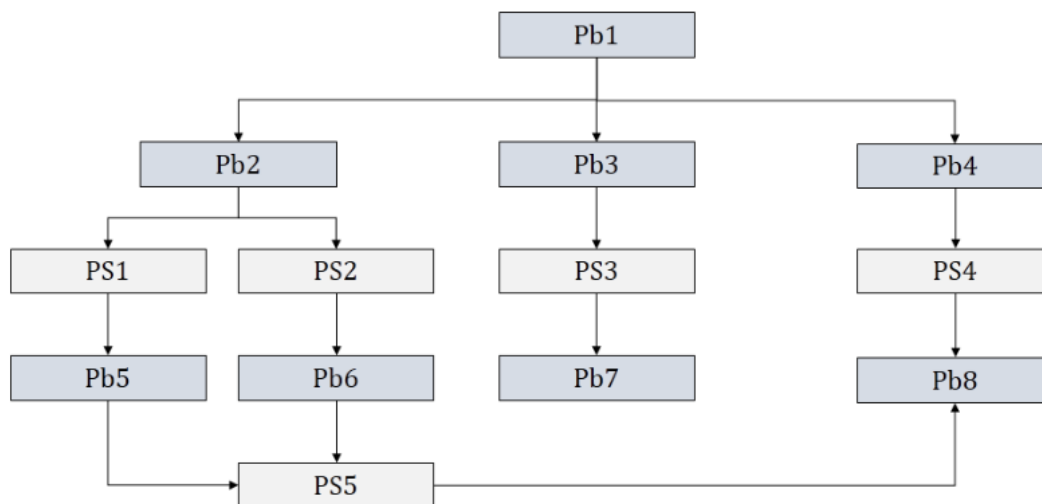


Figura 2: Red de Problemas OSTM – TRIZ

Por otro lado, se tiene que la ventaja de la Red de Problemas es que permite a quienes la aplican generar y visualizar varios escenarios al mismo tiempo, entregándoles así una visión mucho más amplia del problema objeto de análisis.

Una vez determinado el contexto inicial, con sus respectivos problemas y soluciones parciales, la RdP utiliza como siguiente paso a la Red de Contradicciones (RdC), la cual se detallará en el siguiente apartado.

12.2 Futures Wheel

Futures Wheel es una técnica creada por Jerome Glenn en 1972 para identificar las posibles consecuencias que pueden tener tendencias y eventos, la cual analiza y explora los efectos de las mismas, siendo también una herramienta utilizada en la toma de decisiones (elección entre diversas opciones) y en la gestión del cambio (para identificar las consecuencias de éste). Es especialmente útil durante la fase de lluvia de ideas del análisis de impacto de un problema o circunstancia, por lo que es una herramienta intuitivamente útil para realizar una lluvia de ideas estructurada, determinar las necesidades, y en base a esto, realizar una planeación estratégica (Glenn, 1972) para enfrentar el problema o cambio que está siendo objeto de estudio. Por lo mismo, representa todos los escenarios posibles que pueden surgir a causa de un problema, pero que no necesariamente van a ocurrir en la realidad.

Futures Wheel es tradicionalmente presentada a través de una representación gráfica, con el evento/circunstancia/cambio futuro a analizar en un círculo (nodo) en el centro, las consecuencias de primer orden (a saber, CPO) en el primer nodo fuera del evento, las consecuencias de segundo orden (a saber, CSO) en el segundo nodo fuera del evento, y así sucesivamente, tal como se muestra en la figura a continuación:

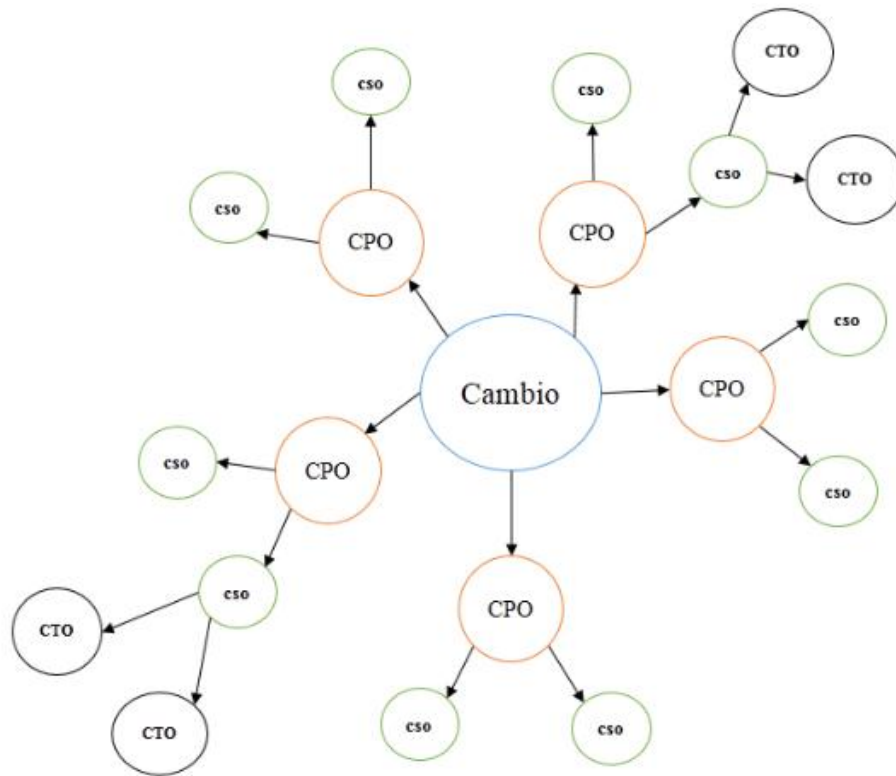


Figura 3: Diagrama Futures Wheel

La implementación de esta herramienta se puede, simplifícadamente, realizar a través de cinco pasos, los cuales se detallan a continuación (Glenn, 1972):

- a) Paso 1: Identificar el cambio
- b) Paso 2: Identificar las consecuencias directas de primer orden
- c) Paso 3: Identificar las consecuencias indirectas de segundo orden
- d) Paso 4: Análisis de implicancias

Una vez que se hayan realizado los pasos anteriores, se tendrá un mapa visual que establece todas las implicaciones del problema o evento, lo que permite administrar la situación de manera adecuada, avanzándose al siguiente y último paso:

- e) Paso 5: Identificar acciones a llevar a cabo

Dentro de las desventajas que puede tener su implementación, se encuentra, entre otras, el que estas ruedas se presentan en una estructura secuencial alrededor de

un tema central, las cuales pueden ser demasiado superficiales para identificar las complejidades de una serie de factores que pueden tener diferentes niveles de influencia sobre los efectos identificados. Por otro lado, debido a que quienes hacen uso de la herramienta se involucran en el pensamiento subjetivo y proyectivo para crearla, esta técnica debe usarse solamente como una de muchas fuentes de información para un análisis más sistemático y empírico, es decir, no puede utilizarse por sí sola para llegar a decisiones concluyentes.

12.3 TEES

TEES (Technology, Environment, Economics y Society) es una herramienta de análisis que permite estudiar y entender el entorno en el que se desarrolla un negocio, idea o situación en particular, así como identificar los factores asociados al mismo, a través del análisis de cuatro dominios complementarios al contexto relevante: Tecnológico, Medio Ambiente, Económico y Social.

12.4 Matriz de Vester

La Matriz de Vester es un instrumento de planificación, de gran utilidad en la priorización de problemas, y que fue desarrollado por el científico alemán Frederic Vester; es un formato de doble entrada en donde se ubican problemas identificados previamente, para luego establecer el nivel de causalidad entre ellos (la relación de causa del problema en cuestión con los demás establecidos). Por lo general, se realiza la calificación a criterio del investigador de la siguiente forma (Bermudez & Gomez, 2001), en base a los problemas identificados:

Calificación	Descripción
0	No es causa
1	Es causa indirecta
2	Es causa muy directa

Tabla 1: Formato calificación Matriz de Vester

La ventaja de trabajar con la Matriz de Vester es que ésta trabaja, a su vez, con un enfoque de marco lógico. Para fines ilustrativos, la Matriz de Vester será aplicada siguiendo ocho pasos, los que se presentan a continuación:

Paso	Descripción
1	Determinación de los problemas o variables.
2	Redacción del problema, para que sea entendible.
3	Asignar identificador a cada problema.
4	Ubicar problemas en la matriz.
5	Calificación de los problemas.
6	Suma de filas (influencia/causa) y columnas (dependencia/efecto).
7	Gráfica de los problemas.
8	Clasificación gráfica.

Tabla 2: Pasos de aplicación Matriz de Vester

De esta manera, este instrumento caracteriza la actividad o pasividad de cada problema, utilizando las siguientes categorías, que se describen a continuación y facilitando el proceso de evaluación de los problemas (Bermudez & Gomez, 2001):

- **Problemas Activos:** Influyen sobre los demás, pero no son causados por otros, es decir, son problemas causa.
- **Problemas Pasivos:** No influyen de manera importante sobre otros, pero son causados por la mayoría, es decir, son problemas consecuencia.
- **Problemas Críticos:** Problema (normalmente uno) que es causa apreciable de otros y que es causado por los demás.
- **Problemas Indiferentes:** No tienen ningún efecto de causalidad sobre el conjunto analizado y que tampoco son causados por ninguno.

En base a lo anterior, la gráfica de los problemas según su categoría, quedará de la siguiente manera:

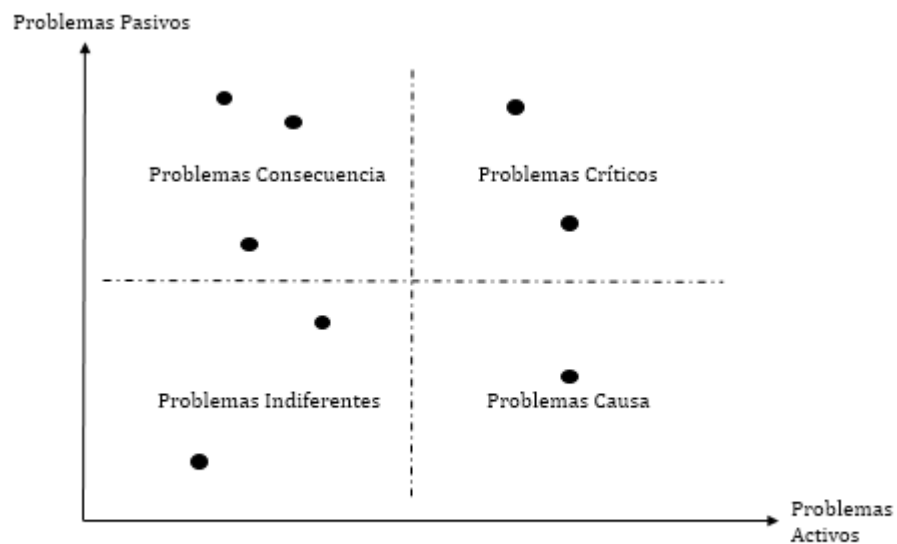


Figura 4: Gráfica Matriz de Vester

13. Metodología

El propósito de esta sección es dar a conocer los aspectos generales de la metodología de investigación y aplicación propuesta, así como la respectiva integración de las técnicas y herramientas que ésta incluirá en su desarrollo, poniendo énfasis en los pasos y procedimientos a seguir para cumplir los objetivos previamente establecidos, mediante la creación de un algoritmo sistémico.

13.1 Diagrama asociado a la Metodología Propuesta

A continuación, se presenta el diagrama asociado a la metodología propuesta para el cumplimiento de objetivos y realización de esta investigación. Aquí se presentan los pasos a seguir, como un algoritmo sistémico, los cuales serán detallados en los siguientes apartados, y que, generando sus propios outputs, contribuirán de manera íntegra a la etapa que los sucede.

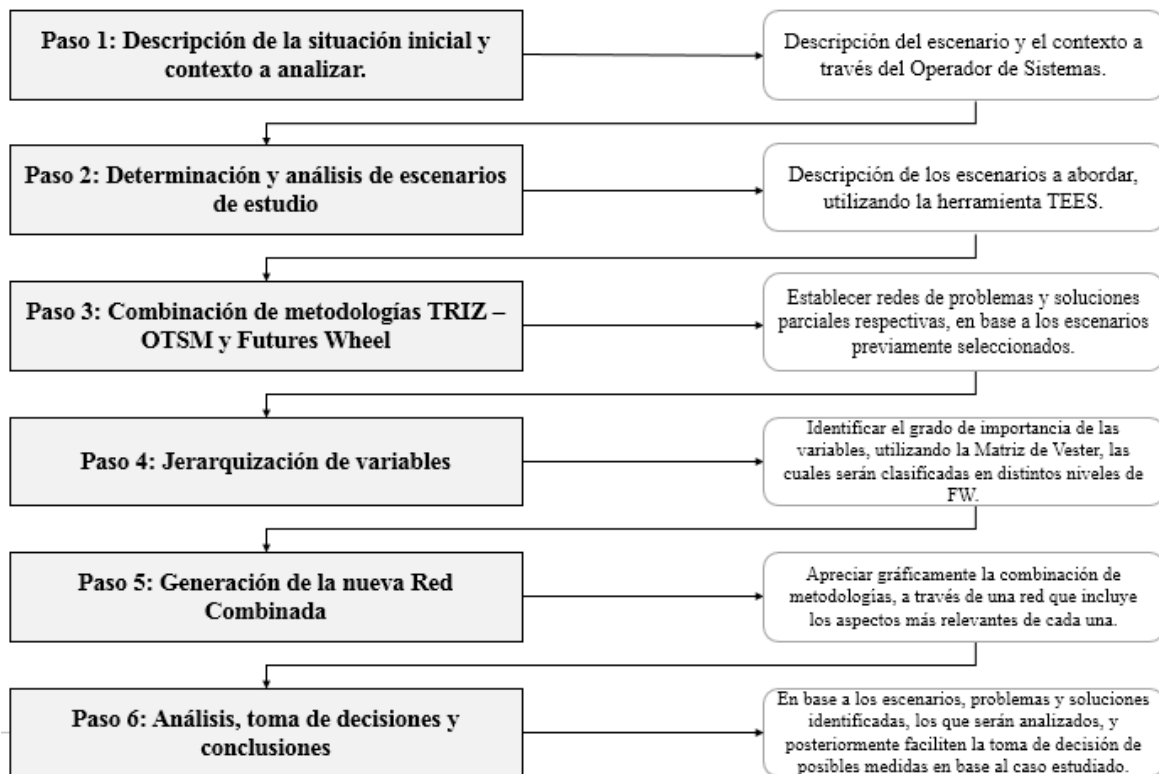


Figura 5: Diagrama Metodológico

13.2 Paso 1: Descripción de la situación inicial y contexto a analizar

El primer paso dentro de la metodología propuesta es entender el contexto y la situación a la que se pretende aplicar la combinación de OTSM – TRIZ y Futures Wheel. Bajo esta mirada, la situación inicial en la que está inmerso el problema debe ser analizada, entendiéndose a partir de esto el contexto y los factores que podrían afectar o influir en la situación/problema. Una de las herramientas que estimulan el pensamiento del analista, y que tiene por objeto el obtener información a distintos niveles de detalle es el Operador de Sistema (SO), perteneciente a la metodología TRIZ, el que permite contextualizar la situación que se está estudiando. Nuevamente se presenta el Modelo del Operador de Sistemas, introducido por Altshuller junto a la metodología TRIZ:



Figura 6: Modelo del Operador de Sistemas

De este paso, se obtiene como resultado (output) un análisis cualitativo del sistema, sub – sistema y súper – sistema. Por otro lado, también se obtiene un entendimiento de cómo éstos han ido cambiando a través del tiempo. De esta manera, esta información es de gran relevancia pues permite dimensionar el alcance que tendrá el análisis de la situación, así como los límites de la investigación e implementación de la combinación de OTSM – TRIZ y Futures Wheel.

13.3 Paso 2: Determinación y análisis de escenarios de estudio

En base a lo obtenido del paso anterior, se realiza el análisis de escenarios relevantes en relación a la situación inicial o problema, en base al contexto que se está estudiando, según los límites establecidos en el Paso 1, y utilizando como herramienta TEES. Con TEES será posible analizar cuatro escenarios: tecnológico, medioambiental, económico y social, para posteriormente realizar una descripción de los mismos, detallándose sus características principales y su relevancia o incidencia en el tema, puesto que en base a éstos se establecerán las condiciones directas de primer orden, así como las condiciones indirectas, utilizando la herramienta Futures Wheel, causando incidencia además en la red de problemas que se generará utilizando OTSM – TRIZ. A continuación, se presenta un cuadro resumen con la descripción de cada uno de los cuatro dominios complementarios al contexto:

Escenario de Estudio	Descripción
Tecnológico / Técnico	Involucra, entre otros, el estado de desarrollo tecnológico y sus aportes en el problema o evento a analizar. Otros aspectos que abarca son la preocupación gubernamental y de la industria por esta tecnología, especificaciones y características, grado de obsolescencia, desarrollo de nuevos productos de la misma índole, velocidad de transmisión de la tecnología, entre otros.
Medioambiental	Tiene relación con la incidencia del objeto de estudio en el medio ambiente, los beneficios y perjuicios para el entorno ambiental, tanto el inmediato como el secundario o indirecto, así como a las consecuencias de su uso en relación a

	estos tópicos, las variaciones geográficas y climáticas.
Económico	Incluye el análisis de los factores de índole económica que afectan al mercado en su conjunto, y que pueden incidir en la situación objeto de estudio, por ejemplo, el ciclo económico, la evolución del PNB, la evolución de los precios, el gasto público, disponibilidad y distribución de los recursos, nivel de desarrollo, entre otros.
Social	Tiene relación con las situaciones que involucran directamente el comportamiento, las preferencias y el estilo de vida de las personas de una región o país determinado, así como la cultura del mismo y su normativa.

Tabla 3: Cuadro Resumen de Escenarios Propuestos por TEES

Se elige esta herramienta para el análisis de escenarios pues se combina de buena manera con el output obtenido del Operador de Sistemas utilizado en el Paso 1 de la metodología propuesta. De este paso, se obtiene como resultado el establecimiento de los escenarios que se incluirán en la red combinada que se pretende realizar, escenarios que servirán como puntapié inicial para la generación de problemas y soluciones utilizando OTSM – TRIZ y de consecuencias directas e indirectas utilizando Futures Wheel, todas relacionadas al sistema a predecir.

13.4 Paso 3: Combinación de metodologías OTSM – TRIZ y FW

En este punto se pretende formalizar de manera estructurada la situación o problema que es objeto del estudio. La primera tarea del proceso de análisis será, por lo tanto, definir el evento que es de interés en la combinación de las metodologías, evento que debe ser presentado como una situación de conflicto que estimule el establecimiento de relaciones causales según lo propuesto por OTSM – TRIZ, y que incluya el análisis de escenarios específicos de estudio, siguiendo la modalidad de Futures Wheel, con sus respectivas consecuencias.

Para definir las relaciones causales, utilizando la lógica de OTSM – TRIZ, se deberá establecer una relación entre problemas (Pb) para la modelación y soluciones parciales que permitan enfrentar el problema (PS). Mediante esta metodología es posible obtener una red semántica (Khomenko & De Guio, 2007), pues ésta aplica un proceso deductivo para la obtención de problemas y soluciones parciales. Estos problemas (Pb) son extraídos a partir de la observación realizada en el Paso 1 y 2 (descripción de la situación inicial y contexto a analizar), mientras que las soluciones parciales son soluciones específicas a los sub – problemas, también obtenidas en el Paso 1 y 2 de la metodología propuesta, que a la vez pueden generar otros sub – problemas con su aplicación, y así sucesivamente. En base a lo anterior, se generarán diferentes RdP, una para cada escenario propuesto en los pasos anteriores. Estas redes de problemas y soluciones se transformarán, a su vez, en la secuencia de consecuencias directas e indirectas que propone Futures Wheel, una vez que hayan sido jerarquizadas según relevancia. En este punto también será posible establecer si dos problemas, obtenidos en diferentes escenarios de estudio, tienen o no relación entre sí.

Al final de este paso se obtiene una red de problemas (RdP) para cada escenario de estudio, las que a su vez se clasificarán en los diferentes niveles de Futures Wheel, una vez que se haya establecido su relevancia en cuanto al problema. Estas redes permiten contextualizar en más detalle la situación a modelar, utilizando una relación causal deductiva aplicada a los diferentes escenarios en específico.

13.5 Paso 4: Jerarquización de variables

Debido a que la utilización de la Red de Problemas (RdP) puede generar listas extensivas de parámetros para su estructura gráfica, es que la jerarquización de los parámetros obtenidos es determinante y útil, pues permite identificar aquellas soluciones parciales que resuelven los problemas más relevantes encontrados en la red.

Así mismo, el número de consecuencias directas e indirectas obtenidas utilizando Futures Wheel también puede ser de gran extensión. Por lo mismo, la jerarquización permite obtener un modelo que sea mucho más simple y representativo de la situación o fenómeno deseado, garantizando así que efectivamente sea de utilidad. Por otro lado, en este punto, se debe intentar encontrar un símil entre lo obtenido utilizando las dos herramientas, con el objetivo de poder combinarlas de una manera que resulte coherente y de fácil uso para los analistas y para quienes toman las decisiones. Este paso puede, sin embargo, ser saltado si quienes están analizando deciden utilizar todos los parámetros.

Una de las herramientas útiles para la realización de esta jerarquización es la Matriz de Vester, instrumento de planificación de gran utilidad en la priorización de problemas y que, a través de una asignación de calificaciones, permite establecer el nivel de causalidad entre ellos. Como los problemas ya han sido previamente definidos en el paso anterior, la utilización de esta matriz se integra de forma adecuada al procedimiento. En este punto, se deberá realizar la asignación de puntaje correspondiente, para cada uno de los problemas de los diferentes escenarios (por separado), para luego posicionarlos en la matriz, pasando por todas las etapas descritas previamente en el marco teórico, jerarquizándolos. De aquí, se obtendrá la siguiente clasificación, la cual se denotará en términos de Futures Wheel:

Tipo de Problema	Equivalencia en Futures Wheel
Problemas Activos: Influyen sobre los demás, pero no son causados por otros, es decir, son problemas causa.	Consecuencia Directa de Primer Orden (CPO)

Problemas Críticos: Problema (normalmente uno) que es causa apreciable de otros y que es causado por los demás.	Consecuencia Indirecta de Segundo Orden (CSO)
Problemas Pasivos: No influyen de manera importante sobre otros, pero son causados por la mayoría, es decir, son problemas consecuencia.	Consecuencia Indirecta de Tercer Orden (CTO)
Problemas Indiferentes: No tienen ningún efecto de causalidad sobre el conjunto analizado y que tampoco son causados por ninguno.	Consecuencia Indirecta de Orden Inferior

Tabla 4: Jerarquización en base a la Matriz de Vester y Futures Wheel

Como resultado de este paso se obtienen cuatro matrices (una por escenario de relevancia), las que indican la relevancia de un problema en relación a los demás. Por lo tanto, tras este paso, todos los problemas estarán jerarquizados según la Matriz de Vester, pero también según los términos de Futures Wheel, lo que derivará en sus respectivas ubicaciones dentro de los niveles de FW que incluye la nueva Red Combinada. Cabe destacar que los problemas jerarquizados en este paso corresponden a los encontrados en el paso anterior, utilizando la RdP de OTSM – TRIZ.

13.6 Paso 5: Generación de la nueva Red Combinada

A partir de la jerarquización obtenida en el paso anterior, en base a los problemas o variables propuestos en la RdP de OTSM – TRIZ (Paso 3), y de la elección de escenarios de estudio realizada en el paso 2, se procede a generar de manera gráfica la nueva Red Combinada, la cual incluye las herramientas más relevantes de OTSM – TRIZ, en conjunto con Futures Wheel. A su vez, la Red Combinada se ha generado con el apoyo de TEES y de la Matriz de Vester. Un prototipo de Red Combinada básica se muestra a continuación:

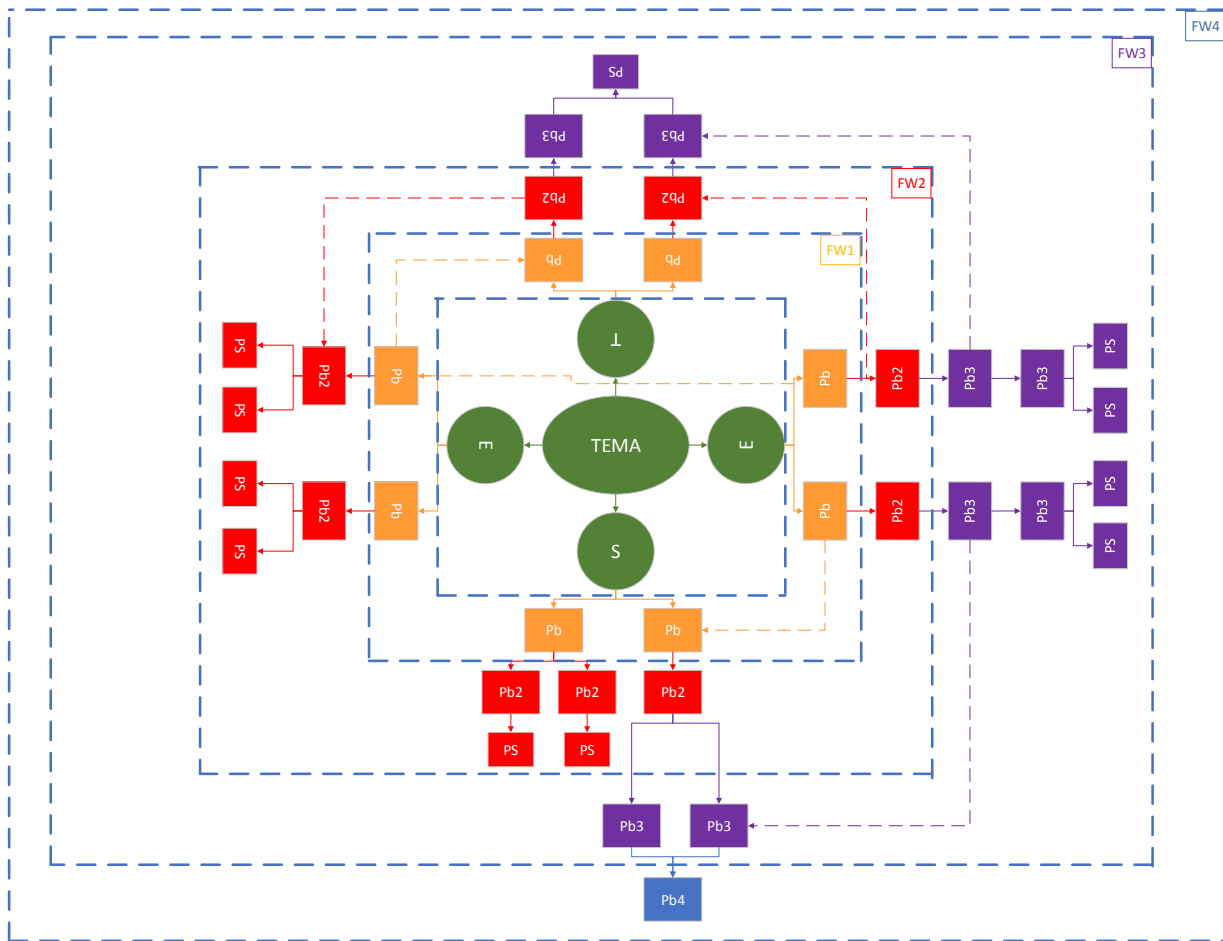


Figura 7: Nueva Red Combinada Básica

Donde cada color representa un nivel diferente de Futures Wheel, delimitados por líneas segmentadas para mayor claridad. En el medio de la nueva Red Combinada se encuentra el tema o conflicto a estructurar, así como los cuatro escenarios de ocurrencia asociados a TEES. Desde el centro hacia fuera, los problemas y consecuencias están ordenados desde el inmediatamente directo del escenario (CPO), hasta lo más indirectos o secundarios (CSO, CTO, y así sucesivamente), según corresponda, con sus respectivas soluciones parciales. Si dos problemas, de diferentes escenarios de estudio, están relacionados, éstos estarán unidos por líneas segmentadas del mismo color del nivel de Futures Wheel.

De este paso, se obtiene la Red Combinada de manera gráfica, que sea de fácil lectura e interpretación para quienes deben tomar las decisiones dentro de la organización o proyecto analizado. Esta red incluye las herramientas más relevantes de OTSM – TRIZ, en conjunto con los escenarios de relevancia de Futures Wheel y sus diferentes niveles de jerarquización.

13.7 Paso 6: Análisis y toma de decisiones

Una vez que se cuenta con la descripción de la situación inicial del problema o evento a estudiar, los escenarios relevantes en relación al mismo, los problemas, sus soluciones parciales y la jerarquización de los mismos en base a los diferentes niveles de Futures Wheel, lo cual tiene por desenlace la generación gráfica de la nueva Red Combinada, que entremezcla las metodologías OTSM – TRIZ y Futures Wheel, es posible para el tomador de decisiones evaluar de manera más objetiva cómo afectarán sus decisiones, o las estrategias que decida implementar en el modelo, así como su impacto en cada uno de los diferentes escenarios, y posteriormente, en el cambio o evento crítico principal.

14. Aplicación: Caso de Estudio

El propósito de esta sección es dar a conocer la correspondiente aplicación de la metodología previamente propuesta por el autor a un caso de estudio particular, con el objetivo de efectuar su validación, así como profundizar en los beneficios y limitaciones que ésta pueda tener en la práctica. El caso de estudio que se propone es, por lo tanto, la utilización de un sistema de drones colaborativos y de visión multimodal en el monitoreo de incendios forestales en el territorio nacional, a partir de diferentes escenarios de observación.

14.1 Paso 1: Descripción de la situación inicial y contexto a analizar

Como punto de inicio, es esencial analizar en retrospectiva lo que ha acontecido durante los últimos años en relación a esta materia, para así determinar si existen patrones o conductas que se repiten a través del tiempo y que se deben tener presentes, así como también contar con una contextualización del escenario actual y los posibles escenarios esperados a futuro.

14.1.1 Antecedentes Generales

Según una investigación realizada por la Dirección General de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea en el año 2012, en conjunto con la ONEMI, PNUD, Unesco y la Cruz Roja, los terremotos y los tsunamis asociados a éstos han sido los desastres de mayor impacto en Chile a lo largo de su historia, por el número de afectados y pérdidas económicas que generan (UNESCO, 2012). Sin embargo, no son los únicos desastres que ocurren dentro del territorio; por su geografía y variedad de climas, la población también está expuesta, entre otros, a inundaciones, erupciones, incendios y sequías. Así mismo, en Chile, los desastres naturales conllevan un alto impacto en el ámbito social: el gran incendio de la ciudad de Valparaíso en el año 2014, por mencionar un ejemplo, dejó más de 2900 viviendas destruidas y 12.500 personas damnificadas, según cifras oficiales (La Tercera, 2014).

La Corporación Nacional Forestal, CONAF, define un incendio forestal como aquel fuego que, cualquiera sea su origen, y con peligro o daño a las personas, la

propiedad o el ambiente, se propaga sin control en terrenos rurales, a través de vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta. Es un fuego injustificado y descontrolado en el cual los combustibles son vegetales y que, en su propagación, puede destruir todo lo que encuentre a su paso (Abumohor, 2012).

En Chile, se inician en promedio 6.000 incendios forestales por año, afectando una superficie aproximada de 50.000 hectáreas (CONAF, 2016) cuando las condiciones ambientales, como la carencia de lluvias, la mayor temperatura del aire y los flujos de viento Sur entre primavera y otoño, favorecen la ignición de la vegetación combustible a causa de una fuente de calor aportada por el ser humano. La causa principal y casi exclusiva de la generación de incendios forestales en el país corresponde a la acción humana y sus actividades, cuyo porcentaje equivale ni más ni menos que al 99% del total de incendios forestales, con una intencionalidad que en algunas comunas de la Octava y Novena regiones alcanza hasta un 90% (Castillo et al. 2003), y tienen una estrecha relación con el aumento o disminución de las actividades silvoagropecuarias, aumento de la población, aumento de la conectividad en terrenos urbanos-rurales, y la mayor presencia de población en terrenos rurales durante el periodo estival (de noviembre a abril) , que es cuando más incendios se producen (UNESCO, 2012).

Son distintas las acciones que surgen entre que se inicia un incendio forestal y se procede a combatir el fuego: el aviso del inicio del incendio a la Central de Coordinación Regional de CONAF (CENCOR) y el análisis que en ella se hace de la situación; el despacho de recursos terrestres y aéreos de combate; su desplazamiento hacia el incendio y el combate propiamente tal. Mientras más rápido se descubre un incendio, más exitoso será el combate y menor el daño producido, por lo que una detección oportuna incide directamente tanto en el ámbito operacional como económico del tema. Por otro lado, se define la detección de incendios forestales como el conjunto de recursos, procedimientos y actividades para descubrir, localizar y reportar en el menor tiempo un incendio a la Central de Coordinación de CONAF, a fin de que ésta decida el despacho de los recursos necesarios (CONAF, 2017). Esta detección debe tener un mínimo de tiempo transcurrido desde el inicio del fuego y debe aportar la mayor cantidad de información acerca de sus características, así como del sector en el cual se propaga.

A continuación, se presentan los sistemas de detección de incendios utilizados por CONAF:

Sistema de Detección	Descripción
Detección Terrestre Móvil	Desplazamiento de vigilantes en un área dada, en un medio de transporte adecuado o a pie. Este tipo de detección entrega información completa sobre el incendio a la vista y posibilita luego un primer ataque al fuego. Como desventaja presenta una observación no continua, pues pasará un cierto tiempo para volver a pasar y vigilar un mismo sector. En Chile tiene una amplia utilización a nivel de predio, especialmente en el caso de empresas forestales, donde se combina con la supervisión de faenas.
Detección Terrestre Fija	Corresponde a la visión de un observador desde estructuras metálicas o de madera, de 15 a 30 m de altura, denominadas torres, o bien de casetas de menor altura llamadas puestos de detección. Se construyen en cerros de altura prominente, desde los cuales el observador vigila el área en un radio estimado en 20 km o más utilizando prismáticos. Una vez avistado el fuego, el observador recopila la información necesaria sobre las características del éste y del terreno, y la transmite por radio a la CENCOR. Como punto a favor se tiene que la observación del área es permanente y casi ininterrumpida, sin embargo, no todo el terreno está a la vista del observador, sino que surgirán puntos ciegos en el lado oculto de los cerros de los cuales únicamente se tomará conocimiento una vez que el humo sea visible. Esta es la modalidad de detección de mayor aplicación en Chile.

Detección Aérea	Esta detección se realiza mediante la utilización de aviones, generalmente mono motores de ala alta, para detectar incendios desde el aire mediante la compañía de un observador al interior del medio de transporte, junto al piloto. Permite observar una gran cantidad de superficie por unidad de tiempo y entrega una gran cantidad de información precisa y exacta acerca del incendio descubierto y sobre el cual se vuela. Como desventaja, posee un alto costo de operación.
Detección con Sistemas Televisivos	Para realizar la detección es posible utilizar cámaras de televisión, las que transmiten su señal por microondas hasta las pantallas de un puesto de mando (por ejemplo en un vehículo en terreno) o hacia una Central de Coordinación, donde el personal se encarga de analizar la situación. Las cámaras pueden estar instaladas sobre torres ubicadas en la cumbre de un cerro, barriendo el área en 360°, o bien instaladas en el exterior de aviones e, incluso, en aviones no tripulados. En Chile, las cámaras fijas sólo se usan en pequeño número.
Satélites	Hay áreas en el mundo donde, debido a la carencia de organizaciones de protección contra incendios forestales o de sistemas de detección, la única posibilidad de conocer lo que ocurre es usando imágenes de satélite de órbita baja, por ejemplo de los satélites Aqua y Terra. (CONAF, 2017) Para detección de incendios esta modalidad es lenta, dado el tiempo entre pasadas del satélite. Por otro lado, no aporta el detalle que entregan los medios convencionales basados en la vista y discernimiento humano. Sin embargo, la percepción satelital, permite monitorear

	cambios en la condición de la vegetación (contenido de humedad) durante la temporada, medir exactamente superficies en incendios de magnitud y monitorear cambios o recuperación de la vegetación una vez extinguido el fuego.
--	--

Tabla 5: Cuadro resumen de sistemas de detección de incendios en Chile

En relación al control aéreo de incendios forestales en Chile, en la actualidad, CONAF cuenta con sus propios aviones cisternas y está en proceso de adquisición de un helicóptero. Las demás organizaciones realizan sus operaciones aéreas por medio de empresas de servicios especializados, según sus propias estrategias de protección contra incendios forestales y los respectivos planes operacionales. Generalmente, las bases de dichas licitaciones contemplan aspectos administrativos tales como antecedentes que acrediten la experiencia de la empresa aérea en el rubro licitado, identificación de las aeronaves ofertadas, garantía de seriedad de la oferta y los formatos en que deben especificarse los valores de stand by y horas de vuelo del material aéreo ofertado (Escamilla et al., 2010). También las licitaciones consideran aspectos técnicos que los oferentes deben informar, como por ejemplo, las condiciones de los helicópteros ofertados, antecedentes de las tripulaciones y las características de las operaciones aéreas que la empresa mandante requiere, entre otros.

Las empresas de servicio aéreo disponen de helicópteros propios o arrendados en el mercado nacional e internacional, así como pilotos y personal de mantenimiento según los requerimientos establecidos en los diferentes contratos estipulados con las compañías. Cada una de las empresas de servicio aéreo debe obligatoriamente contar con un centro de mantenimiento, con personal técnico debidamente habilitado y un stock mínimo de piezas y partes de repuestos.

En Chile, los drones han beneficiado principalmente a la agricultura (para supervisar los campos, vigilar los cultivos, aplicar productos químicos o facilitar la reforestación de campos a través del uso de aire comprimido), donde actualmente se concentra el 80% del uso de estos dispositivos (según información del Centro de Innovación de la Universidad Católica de Chile). Estas aeronaves entregan la posibilidad

de hacer uso de la telemetría o enlace de datos, obtener videos en tiempo real y volar a través del piloto automático, además de tener la capacidad de incorporar otros tipos de tecnología, como cámaras o sensores.

Otros usos actuales bajo el mismo contexto son, entre otros, en vigilancia del ganado y rastreo, observación remota con fines de búsqueda y rescate, inspección de obras, auditorías energéticas con termografía aérea, inspección de líneas de alta tensión, vigilancia y prevención de incendios forestales, adquisición de datos meteorológicos con medición de variables, gestión de inventarios en bodegas a nivel municipal para vigilancia o en actividades de carácter masivo, como festivales o conciertos.

14.1.2 Operador de Sistema

Se busca, a través de la metodología propuesta, y en base al caso de estudio, validar la combinación de la teoría del pensamiento poderoso OTSM – TRIZ y la herramienta de análisis de escenarios de ocurrencia Futures Wheel como mecanismo que permita un acercamiento más globalizado al análisis estratégico de todo tipo de situaciones en conflicto, permitiendo la aplicación de ambas metodologías de manera simultánea e integrada al caso de estudio en particular: el desarrollo de un sistema inteligente de visión multimodal basado en la utilización de drones, que permita el monitoreo automático de incendios forestales en grandes extensiones de territorio y en escenarios no estructurados en tiempo real dentro del territorio nacional chileno.

A continuación, se toman en consideración los puntos mencionados anteriormente, realizándose así una sistematización de la información a partir del uso de la herramienta del Operador de Sistema de la metodología OTSM – TRIZ, como se muestra en la figura a continuación:

	Nivel del SO	PASADO	PRESENTE	FUTURO ESPERADO
SÚPER - SISTEMA	Mundo	Inicios de la sobreexplotación de recursos naturales, intervención del hombre en el deterioro ambiental (Guerras Mundiales, desastres nucleares, contaminación, deforestación y desertificación, agujero en la capa de ozono, otros).	Temperatura global promedio de 0,75°C sobre el promedio de 14°C (variaciones de temperatura, frecuentes e intensas olas de calor, disminución de lluvias) y cambio climático. Aumento en cantidad y magnitud de incendios forestales.	Mayor velocidad en aumento de temperatura media del planeta; se ha pronosticado que los incendios forestales serán cada vez más frecuentes y agresivos, pues las condiciones climáticas cambiantes favorecen la iniciación y propagación del fuego.
	Contexto climático: Chile	Estaciones del año marcadas, inviernos lluviosos, flujos de viento sur y aumento de la temperatura del aire en época estival. Mayor concentración de personas en zonas rurales. Menor regulación en actividades silvoagropecuarias y de contaminación.	Carencia de lluvias, la mayor temperatura del aire y los flujos de viento Sur entre primavera y otoño favorecen la ignición de la vegetación combustible a causa de una fuente de calor aportada por el ser humano. La causa principal de la generación de incendios forestales en el país corresponde a la acción humana y sus actividades (99% del total).	Aumento de las actividades silvoagropecuarias, de la población y de la conectividad en terrenos urbanos-rurales. Se espera que las condiciones ambientales críticas persistan, pero que exista una disminución en la intencionalidad y acción humana en la generación de incendios forestales, con mayor control en las actividades que los generan.
SISTEMA	Monitoreo y detección de incendios forestales	Fase de detección y monitoreo inexistentes, proceso informal. Esfuerzos inmediatos de mitigación.	Visión de un observador desde estructuras metálicas, de madera, o puestos de detección (detección terrestre fija), en adición a otros cuatro mecanismos que son menos utilizados.	Integración tecnológica como forma de minimizar riesgo de pérdida de vidas humanas y agilizar el proceso de traspaso de información. Utilización de Sistemas de Drones de Sobrevuelo para monitoreo.

	Catástrofe a nivel país	En las últimas dos décadas, entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos, se perdieron 313.921 hectáreas de bosque nativo. Entre 2013 y 2015, se quemaron más de 335.000 hectáreas de bosques.	Incendios forestales afectan a más del 45% del territorio nacional. Se estima que la reforestación tras un incendio conlleva una inversión de entre 197 y 275 millones de dólares. El 99% de los incendios son por causas humanas.	Se espera que el tema adquiera mayor relevancia en las fases preliminares y en la prevención, normativa más severa y una disminución en el porcentaje de intencionalidad (que actualmente alcanza el 90%).
SUB - SISTEMA	Partes Involucradas en incendios forestales	Proceso no estructurado, sin distinción de roles. Traspaso oral de información en entorno más inmediato. Sin almacenamiento ni registro de datos. Escaso acceso a tecnología.	Observadores en terreno. Central de Coordinación a cargo de despachar recursos según necesidad detectada. Brigadas en terreno. Hay registro de datos y estadísticas de siniestros (pero no en tiempo real).	Sistema de drones de sobrevuelo en reemplazo de observadores en terreno, abarcando grandes extensiones de territorio y escenarios no estructurados, con recogimiento de datos y traspaso de la información a la Central de Coordinación en tiempo real para la distribución adecuada de recursos para combate.

Tabla 6: Esquema básico del Operador de Sistema aplicado al caso de estudio propuesto

A través de este análisis, se obtiene un análisis cualitativo del sistema, sub – sistema y súper sistema asociado a los incendios forestales, el que permite además comprender cómo éstos han evolucionado a lo largo del tiempo. De aquí, en base a los escenarios de futuro esperado, es que se plantea la urgencia por realizar un acercamiento del conflicto a soluciones tecnológicas e innovadoras que contribuyan a frenar su impacto desde las etapas más tempranas.

14.2 Paso 2: Análisis y determinación de escenarios de estudio

A continuación, se realiza la aplicación de la herramienta de análisis de escenarios TEES, con la cual se resumen las principales características de cada uno de los escenarios relevantes incluidos en la metodología propuesta, en relación a los drones, sus características y limitaciones en cada una de las áreas en particular. Cabe destacar, que los puntos que aquí se presentan fueron recopilados a partir de diversas fuentes de información, entre las que destacan desde trabajos de título, documentos oficiales y registros históricos hasta entrevistas presenciales con agentes entendidos en la materia, particularmente, con el ingeniero a cargo de llevar a cabo el proyecto de sistema de drones.

14.2.1 Escenario 1: Tecnológico / Técnico

Los incendios forestales, al ocurrir y dejar en claro la falta de preparación y eficiencia a la hora de combatirlos, realzan la necesidad de realizar investigación e integración tecnológica para dar con una solución, Universidades se incentivan a realizan estudios e investigaciones respecto del tema, realizando innovaciones altamente favorables para todas las fases de éstos.

Considerado como un sistema técnico, un drone, o aeronave no tripulada, se diseña para funcionar dentro de un medio natural, para volar por los aires o sumergirse dentro del mar, por ejemplo, con el fin de obtener información del entorno objeto de análisis o investigación, y utilizando energía eléctrica para realizar el trabajo de propulsión de las hélices y generar el movimiento. Las funciones del drone son controladas a distancia, ya sea mediante una aplicación en el teléfono móvil, control remoto y otro medio que pueda entregar las señales a la unidad de control que las procesa, convirtiéndolas en pulsos eléctricos que generarán el accionamiento de motores y hélices, que generará, por consiguiente, el movimiento utilizando energía eléctrica como base. Con el tiempo los UAV han evolucionado, incluyendo una mejor tecnología en instrumentos de control, vuelo y en disposición de motores y hélices, entre otros, añadiéndose nuevos instrumentos electrónicos y estructuras de soporte que han diversificado su uso.

Existen diferentes tipos de aeronaves no tripuladas; como primera clasificación, a continuación se presenta una división en subsistemas, en base a una separación en las funciones (Nikulin & Rozas, 2017):

Tipo de Subsistema	Función
De Control	Unidad de mando a distancia, la cual envía señales de usuario y las procesa dentro del drone para el control de sus motores.
De Transmisión	Conexiones eléctricas e instrumentos electrónicos que permiten la transmisión de señales desde unidad control a los motores del drone.
De Trabajo	Sistema que realiza el trabajo de propulsión del drone para el vuelo: conjunto de motores y hélices.
De Energización	Provee de energía al sistema para realizar el trabajo eléctrico.
De Captura/Carga	Permite la recolección de información en vuelo y/o transporte de cargas y/o alguna otra utilización.
De Soporte	Estructura física de anclaje para partes y piezas.

Tabla 7: Esquema básico aplicado al caso de estudio propuesto

Para fines ilustrativos, el énfasis dentro de esta investigación estará en el subsistema de soporte, que corresponde a la estructura física de anclaje para partes y piezas; en otras palabras, este subsistema une todos los dispositivos eléctricos y electrónicos del drone, entregándoles soporte y funcionalidad, y en el de control, que corresponde a la unidad de mando a distancia.

El diseño del drone se verá afectado por las dimensiones de los equipos que se desean instalar, así como sus configuraciones de anclaje, que deben soportar de forma rígida y estable las maniobras a realizarse durante el vuelo. Para lo anterior, existen distintas configuraciones, las que actualmente se enfocan en la necesidad de espacio de

los dispositivos electrónicos a utilizar y en la simetría de su inercia para provocar un vuelo estable. En modelos QUAD (helicóptero multi-rotor, propulsado por cuatro conjuntos motor-hélice horizontales), las más comunes son las configuraciones en x, en + y en H.

Otro factor que incide son los materiales utilizados en la fabricación del drone, los que actualmente dependen del desarrollo tecnológico disponible. Los más utilizados son la fibra de carbono y plástico (ABS, PLA, PETG), moldeado y fabricado con manufactura aditiva (impresión 3D), respectivamente. También se usa el nylon, policarbonato y el aluminio. Aquí también es relevante considerar el medioambiente en el cual obrará el drone, así como también ciertas características físicas: cargas externas, esfuerzos a soportar, mínimo impacto del peso propio del drone, entre otros. De esta manera, se garantizan las mejores características fijas y mayor duración, así como los menores costos.

El subsistema de control, por otra parte, es el que conecta directamente al usuario con el drone: recibe los mandos de éste y los transforma a señales, las cuales son entregadas al subsistema de transmisión. Es posible distinguir tres unidades dentro del subsistema de control: unidad emisora, unidad receptora y unidad de control de motores, las cuales se detallan a continuación:

Unidad	Descripción
Emisora	Se comunica por radio frecuencia. Consta de algún dispositivo que percibe los movimientos que se quiere que realice el drone (determinados por el usuario), los transforma en señales y los envía a la unidad receptora. Entre los dispositivos de transmisión se tienen: control remoto, aplicaciones móviles, control manual con sensor gravitacional, entre otros.
Receptora	Reciben la señal de los transmisores, procesándolas para el funcionamiento de los motores del drone. Se disponen dentro de la estructura del drone, por lo que deben estar consideradas en el

	diseño. Algunos dispositivos electrónicos receptores, se tiene el uso de Raspberry Pi o Arduino, que reciben las señales vía Wifi.
Control de motores	Procesan las señales recibidas, entregando la energía necesaria a los motores, cumpliendo con las indicaciones entregadas por el usuario. Algunos controladores son: APM, NAZA, entre otros.

Tabla 8: Unidades del subsistema de control

Por otro lado, a través de la entrevista con el especialista, se tiene que el uso de drones se clasifica básicamente en tres: para fines recreativos, de investigación y audiovisuales. Cualquiera de estos drones puede usar tecnología abierta, que es de dominio público, o cerrada, cuyo funcionamiento es más desconocido. Para fines de esta investigación, el enfoque estará en el uso de tecnología abierta, cuyo código, al ser abierto también, está siendo constantemente actualizado y mejorado por diversos entendidos en la materia.

Un punto importante a considerar, es que se busca que los drones puedan realizar tareas de forma autónoma, así como lograr que sus sensores capten lo que está sucediendo en el entorno más inmediato. Una solución propuesta para esto es otorgar al drone un “cerebro”, sin embargo, los existentes actualmente poseen poca capacidad de procesamiento.

Para poder estar siempre en control del drone, los operadores en tierra pueden controlar la aeronave de dos maneras: mediante un control remoto o a través del uso de software. La aeronave está programada para responder a ambas formas de mando, y con la segunda opción es posible controlar hasta tres drones simultáneamente. De esta manera, también se busca entregar autonomía al drone, automatizando de paso el monitoreo (no preventivo) de incendios forestales. De esta manera, se presenta una nueva interrogante, que es cómo proteger al drone mientras éste está sobrevolando. Para esto se incorpora una modificación al diseño original del drone, que es el incluir una cámara, que en coordinación con los sensores, permita georreferenciar el estado del drone en el momento en que envía las fotografías tomadas. Así, es también posible trabajar con sistemas de drones de forma complementaria, cumpliendo distintas

funciones en el mismo momento (por ejemplo, el conocer cómo es la columna de humo, para saber cómo se comportará el incendio).

14.2.2 Escenario 2: Económico

Con incendios forestales existe, involuntariamente, una paralización de los procesos productivos relacionados con el rubro, y en algunos casos de procesos que no lo están, así como también hay pérdida de empleo en el sector forestal, disminuciones en el ingreso rural agrícola, daños y destrucción de viviendas habitacionales, de maquinaria e infraestructura. En base a esto, se deberán hacer inversiones y reinversiones, según corresponda, para detener las paralizaciones y levantar los sectores afectados. Estos gastos no solo correrán por cuenta del Estado, sino que también afectan a empresarios, pequeños emprendedores y habitantes de las zonas afectadas.

Los incendios también pueden conllevar un desabastecimiento de materia prima obtenida de las plantaciones que perecieron, el cual puede extenderse a largo plazo; las plantaciones de pino tardan al menos 20 años en ser aptas, mientras que las de eucalipto 8 años como mínimo (ambos de los principales monocultivos en el país, y de alta inflamabilidad). Reforestar una superficie afectada por un incendio forestal puede tardar años. En la zona central del país, la más afectada por incendios forestales, se concentra el 99% de plantaciones forestales de especies exóticas del país. También se pueden generar altas pérdidas (indirectas) en el sector turístico, el cual ascendió a cerca de 4000 millones de dólares el año 2016, y que puede llegar a decaer en más de un 30% en zonas que son focos de incendios forestales.

Según datos de la Corporación de Madera, reforestar tras un incendio conlleva una inversión de entre 197 y 275 millones de dólares. Por otro lado, realizar un despliegue aéreo de combate tiene un costo superior a los 100 millones de dólares; como mínimo, los incendios forestales generan al país 60 millones de dólares de pérdida cada año, cifra que en el último tiempo ha llegado incluso a los 400 millones de dólares en pérdidas patrimoniales para el sector silvoagropecuario.

En cuanto al escenario económico en relación a los drones, se tiene que se debe realizar una inversión inicial para así poder adquirir las aeronaves no tripuladas con características de nivel industrial. Se estima que los costos por equipo fluctúan entre uno a tres millones de pesos. De esta misma manera, se debe tener en consideración un presupuesto disponible en caso de que alguno de éstos sufra desperfectos o alguna de sus piezas deba ser reemplazada. Las partes más comunes a ser cambiadas son los controladores, las luces y baterías.

Por otro lado, junto con la implementación de este sistema de monitoreo, se debe considerar también la capacitación en el tema a los operarios y equipos a cargo de la operación de los drones; es de suma importancia que los manipuladores conozcan el lenguaje al que responde el drone, así como su correcto funcionamiento y manejo, para así evitar conductas temerarias que puedan resultar en consecuencias perjudiciales. La contratación de personal capacitado y experto es también otro punto a tener en cuenta en este nivel, así como el constante trabajo de investigación, desarrollo y seguimiento del software y código asociado al drone, para así poder realizar mejoras o modificaciones en caso de ser necesario.

14.2.3 Escenario 3: Medioambiental (Environment)

Los incendios forestales afectan a más del 45% del territorio nacional. En las últimas dos décadas, entre las regiones de Valparaíso y Los Lagos, se perdieron 313.921 hectáreas de bosque nativo, mientras que sólo en el verano de 2017, casi 600.000 hectáreas fueron totalmente calcinadas. Entre 2013 y 2015, se quemaron más de 335.000 hectáreas de bosques (aproximadamente 100 mil hectáreas por año).

Consecuencias no sólo visuales o de deterioro para el paisaje natural, también hay erosión en el suelo afectado, el cual pierde sus propiedades físicas y químicas de manera irreparable, así como también hay pérdida de la vegetación y su fertilidad. Generan contaminación en el aire debido al dióxido de carbono y a las emisiones de gases de efecto invernadero (al quemarse una plantación de pino adulto, emite 400 a 500 toneladas de CO₂ por hectárea, equivalente a las emisiones anuales de al menos

100 personas), pérdida de biodiversidad, a la flora y la fauna que habita en el lugar, pudiendo llegar a desaparecer todo el ecosistema que hay en el bosque afectado; los más afectados son la fauna de baja movilidad (anfibios, reptiles, insectos, entre otros) junto con aves y mamíferos, que debido a la destrucción están obligados a migrar a otros ecosistemas, quebrándose así el equilibrio natural y el mecanismo de adaptación de las especies. Por otro lado, existe un serio daño a las cuencas hidrográficas, la sedimentación de las vertientes y ríos afecta a la calidad del agua.

Diversas investigaciones actualmente están preocupadas de analizar cómo inciden los drones en el medioambiente y la naturaleza, por ejemplo, en el comportamiento animal. Un estudio desarrollado en la Universidad de Montpellier, en Francia, se enfocó en el estudio de los animales que habitan humedales y zonas costeras (por ejemplo, flamencos), ambos hábitats de estudio en el uso de UAV, observando que en el 80% de los casos, el comportamiento de estas aves no se ve afectado por la presencia de drones, llegando a acercarse el aparato hasta a cuatro metros de distancia de los sujetos. El mismo estudio ha tenido en cuenta también el color de los drones, su velocidad de aproximación y el número de vuelos, todos factores que no parecen tener influencia en las reacciones de las aves. Un factor que sí afecta, a diferencia de los anteriores, es el ángulo de aproximación del vehículo aéreo, descubriendo que, por debajo de los 60 grados los animales no parecen sentirse amenazados, mientras que cuando el dron se sitúa en un ángulo de 90 grados, estos sí logran identificarlo. Si el dron está a menos de cuatro metros de distancia y sobrevolando al animal, es posible que éste lo confunda con un depredador. Si bien no se han observado cambios evidentes en el comportamiento de animales estudiados en estado salvaje frente a drones de sobrevuelo, no se puede descartar que éstos no puedan sufrir episodios de estrés por la presencia de UAV en sus hábitats naturales; existen registros, por ejemplo, de diversos tipos de aves atacando a drones “intrusos” en sus hábitats.

Para realizar el trabajo de propulsión de las hélices y generar el movimiento, los drones hacen uso de la energía eléctrica, por lo que no impactan negativamente en el medioambiente haciendo uso de combustibles dañinos, que generen emisiones o energías no renovables. Sin embargo, hacen uso de una batería (la mayoría de las veces

de litio), la cual sí puede generar efectos contraproducentes en el medio ambiente a mediano o largo plazo. Dado que esta tecnología posee inmensas posibilidades de diversificación en materia de prestar ayuda, a nivel medioambiental, el uso de drones puede ayudar a preservar el entorno y contribuir con su restauración. Algunos de los temas medioambientales en los que se utilizan drones son mostrados a continuación:

Tema	Descripción
Uso de drones para fines ecológicos.	Utilizados en diferentes trabajos, para beneficio de la naturaleza en general, pues generan un alto aporte a la investigación y estudios de ecosistemas.
Estudios geológicos	Para el análisis de los movimientos de tierra en áreas determinadas, para la determinación de posibles deslizamientos de tierra (y su correspondiente advertencia).
Estudios atmosféricos	Para medir la cantidad relativa de agentes contaminantes en las atmósferas urbanas, así como también en las rurales.
Supervisión de reservas naturales	Para detectar y avisar al sistema de seguridad y guardia de la presencia de cazadores en la zona, como medios de control de la población y la salud de los animales en la reserva.
Preservación de especies	Para evitar la caza ilegal de especies protegidas por ley, o en peligro de extinción, para cuidar de la flora de la zona monitoreada.
Siembra masiva de árboles	Para la siembra masiva de árboles, sobrevolando un área predeterminado de forma automática mientras van soltando

	semillas pre-germinadas en cápsulas de plástico biodegradable (proyecto de la Universidad de Oxford).
--	---

Tabla 9: Temas medioambientales en los que se usan drones

Por otro lado, sí es posible que, ante su masificación comercial (y utilización excesiva) puedan generar una congestión aérea elevada a bajos niveles de sobrevuelo, tanto en zonas pobladas como no pobladas. La interferencia con otras aeronaves puede generar riesgos para la seguridad física de las personas y sus bienes más próximos a la zona de influencia del dron.

14.2.4 Escenario 4: Social

- **Normativas y Regulaciones Chilenas en el Uso de Drones**

Chile fue el primer país en Latinoamérica que normó el tema del uso de drones, a través de las normas aeronáuticas DAN de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC). Cualquier dron debe ser registrado, lo que consiste en una licencia en la que se muestra a través de una foto el dron en particular, su número de registro o serie (el cual también debe exhibirse grabado en el mismo aparato), además de otras particularidades técnicas, como marca y modelo. Las normativas de la DGAC en relación al uso de drones son las siguientes (DGCA, 2017):

- **DAN – 151**, que corresponde a las Operaciones de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) en Asuntos de Interés Público, que se Efectúen sobre Áreas Pobladas.
- **DAN – 91**, que corresponde a las Reglas del Aire.

La diferencia entre ambas está en que la primera es aplicable a lugares poblados y la segunda a lugares no poblados (que es la que aplicaría, por tanto, a incendios forestales). En ambas normas se incluye como requisito la contratación de un seguro cuando se trata de vuelos de drones comerciales. Además, existe un instructivo para la operación de UAV/UAS/RPAS que debe ser tomado en cuenta. Quien pilotee la aeronave

no tripulada debe tener más de 18 años y obtener una credencial para volar en espacios públicos poblados a través de la rendición de un examen.

Por otro lado, se establece también una clasificación según el peso de las aeronaves no tripuladas. De esta manera, los drones que pesan más de 750 gramos deben cumplir con la norma DAN-151 (RPAS en Asuntos de Interés Público, que se Efectúen sobre Áreas Pobladas) de la DGAC, la que indica el peso máximo de éstos, quiénes pueden pilotarlas, las condiciones en que deben ser operadas, la obligación de registro en la DGAC y los documentos requeridos para su uso. En relación a la privacidad, la normativa únicamente menciona que ésta se debe de respetar. Los drones que pesan menos de 750 gramos (fabricados con polietileno expandido o material equivalente) no deben cumplir con la norma DAN-151 en los aspectos de registro, credencial y autorización si van a ser usados en lugares poblados a menos de 50 metros de altura. Por el contrario, si los aparatos de menos de 750 gramos son usados en lugares no poblados, para lo cual no se requiere inscripción, ni obtener credencial de operador, solo bastará con solicitar la autorización correspondiente a la DGAC, la que luego de un análisis podrá otorgarse tal como indica la norma DAN 91. Es el operador quien debe responder ante cualquier daño a tercero que cause la utilización del dron. A continuación, se presenta un cuadro comparativo de las normativas relevantes en este tópico, y que entrega mayor información:

DAN - 151	DAN - 91
Para lugares poblados. Sólo se podrá volar hasta un máximo 2 kilómetros de distancia de una pista aérea (aeródromo o aeropuerto). Por motivos de seguridad, tampoco se podrá sobrevolar por zonas prohibidas. Las aeronaves que se pueden utilizar en la vía pública y no deberán pesar más de	Para lugares no poblados. Toda aeronave pilotada a distancia deberá contar con la autorización de la DGAC previo a realizar cualquier operación de vuelo. Dicha autorización será otorgada para cada operación (caso a caso), requiere que la DGAC evalúe que la operación prevista no

6 kilos ni sobrevolar más allá de los 500 metros de distancia de su operador, que deberá tenerlo a la vista en todo momento mientras lo controla. El uso de estos artefactos estará limitado a aquellas situaciones de beneficio público, así como a aquellas realizadas por solicitud de agentes del Estado, a no más de 130 metros de altitud. En cuando a los asuntos de interés público, se utilizarán en los siguientes casos: Obtención de imágenes sobre hechos de connotación pública con la finalidad de difundirlas a través de medios de comunicación. Ejecución de actividades de apoyo en relación con desastres o emergencias. Cumplimiento de las funciones legales de algún organismo de la administración del estado. Otras situaciones de similar naturaleza en cuanto al interés público involucrado, que la DGAC califique	constituya riesgo para las personas o para otras aeronaves. Ninguna aeronave pilotada a distancia se utilizará sobre el territorio de otro estado sin la previa autorización especial concedida por el estado en el que se efectuará el vuelo. Se permiten las operaciones en áreas pobladas sin requerir autorización de la DGAC, con RPA fabricadas con polietileno expandido o material equivalente, de hasta peso máximo de 750 gramos, destinadas al uso privado o recreacional y siempre que no operen a más de 50 metros de altura.
---	---

sobre la base de la seguridad de la operación.	
--	--

Tabla 10: Cuadro Comparativo Normas DAN - 151 y DAN - 91

Por otro lado, dentro de las prohibiciones asociadas a la normativa, se tienen los siguientes puntos:

- a) Poner en riesgo la vida e integridad de las personas.
- b) Poner en riesgo la propiedad pública o privada.
- c) Afectar derechos de terceros (privacidad e intimidad).
- d) Operar en forma descuidada o temeraria.
- e) Operar a menos de 2 kilómetros del umbral de una pista o 1 kilómetro a los lados.
- f) Operar a más de 400 pies (130 metros) sobre el terreno.
- g) Operar en zonas prohibidas o peligrosas.
- h) Operar sin autorización especial en una zona restringida.
- i) Operar sin el conocimiento de las normativas vigentes.
- j) Operar más de una aeronave simultáneamente.
- k) Operar bajo la influencia de drogas o alcohol.
- l) Operar donde se combate un incendio con aeronaves tripuladas.
- m) Operar de noche sin autorización especial DGAC.
- n) Ocupar un RPA para lanzamiento de carga sin autorización especial DGAC.

En base al punto anterior, se debe también tener en consideración la normativa DAR – 51, que corresponde al Reglamento de Procedimiento Infraccional, aprobado por Decreto Supremo N°158 de septiembre del 2004, y cuyo propósito es lograr mayor acatamiento de la norma aeronáutica mediante la imposición de sanciones a quienes infrinjan la normativa, sin perjuicio de las atribuciones de los tribunales de justicia. A continuación, se presenta un cuadro resumen con algunos hitos interesantes respecto de esta normativa (Villalobos, 2017):

Tipos de Sanciones Aeronáuticas	Procesos Infraccionales al año 2017
Amonestación escrita Multas de 5 a 500 UTM (\$226.580 – \$22.658.000) Suspensión de permisos y licencias hasta por tres años Cancelación definitiva de permisos o licencias.	Se han realizado 24 procesos infraccionales: • Uno sobreseído • 14 sancionados • 9 en tramitación

Tabla 11: Cuadro resumen sanciones y procesos infraccionales al año 2017

- **Sociedad**

Se estima que en los próximos años se fabricarán unos 35.000 drones en el mundo, llegando a ser el área que más crecerá de la industria aeronáutica. De acuerdo a una investigación realizada por el Director General de la Brigada Aérea durante el año 2017 (Villalobos, 2017), en materia de aeronaves pilotadas a distancia en la aviación civil, actualmente Chile experimenta una venta exponencial de RPAS, siendo el chileno un mercado en expansión en este ámbito, como se muestra en el siguiente cuadro resumen:

RPAS >= 1 kg vendidos	Drone Store	Retail y Otros	TOTAL
2013	140	120	260
2014	270	350	620
2015	430	780	1.210
2016	760	1.300	2.060
TOTAL	1.600	2.550	4.150

Tabla 12: Ventas de RPAS en Chile en los últimos cuatro años

Se estimó que el crecimiento de venta de drones en Chile fue de un 200% en el año 2012, y que el mercado actualmente crece alrededor del 20% por mes.

Además, se tiene que sólo un 8% del total de RPAS entre los años 2015 a 2017 está inscrita en la DGAC, lo que corresponde a 363 aeronaves no tripuladas de un total de 4.500 registradas, mientras que, dentro del territorio nacional únicamente existen 79 empresas con autorizaciones otorgadas conforme a la normativa DAN – 151. De la misma manera, ha habido un aumento en las autorizaciones de sobrevuelo en áreas no pobladas. Más información al respecto es entregada en la siguiente tabla:

Año	RPAS inscritas en la DGAC	Total de Credenciales de Pilotos	Autorizaciones áreas no pobladas
2015	98	138	210
2016	198	319	302
2017	67	162	-

Tabla 13: Cuadro resumen de RPAS inscritas en DGAC, total de credenciales y autorizaciones entre 2015 – 2017

En Chile, los drones han beneficiado principalmente al mercado audiovisual, pues la captura de imágenes de alta definición permite mejorar las labores en diferentes áreas, por ejemplo en la agricultura (para supervisar los campos, vigilar los cultivos, aplicar productos químicos o facilitar la reforestación de campos a través del uso de aire comprimido), donde actualmente se concentra el 80% del uso de los dispositivos (según información del Centro de Innovación de la Universidad Católica de Chile), pues los drones otorgan la posibilidad de hacer uso de la telemetría o enlace de datos, obtener videos en tiempo real y volar a través del piloto automático, además de tener la capacidad de incorporar otros tipos de tecnología, como cámaras o sensores. Bajo esta misma perspectiva, los drones están también siendo utilizados para vigilar el ganado y rastrearlo, en observación remota con fines de búsqueda y rescate, inspección de obras, auditorías energéticas con termografía aérea, inspección de líneas de alta

tensión, vigilancia y prevención de incendios forestales, adquisición de datos meteorológicos con medición de variables, entre otros, como la gestión de inventarios en bodegas o a nivel municipal para vigilancia, patrullando sectores en los cuales había registros de tráfico de drogas, resguardo de la seguridad de las viviendas y buscando así disminuir los índices de delitos en la zona.

Los incendios forestales, por su parte, afectan a toda la población, ya sea de manera directa o indirecta; hay gente en las cercanías que es afectada directamente, pero también se ve afectada a toda la cadena productiva. Los problemas de tipo indirecto, como el daño ambiental, afectan a toda la población aunque ésta esté lejana a la ubicación de los incendios. Hay también un problema de calidad atmosférica, una pérdida de calidad de vida. Las casas quemadas indirectamente, las plantaciones y/o bosques incendiados también conllevan una pérdida de valor social que se verá traducida en un gasto social asociado; hay recursos fiscales que serán reasignados, buscando así evitar el empobrecimiento de las comunas forestales y financiar los mayores costos de los programas habitacionales, los cuales no estarán disponibles para otros fines sociales.

Una de las consecuencias más devastadoras de los incendios es el impacto que generan directamente en las personas, más allá de la pérdida de lo material. Heridas, quemaduras de diversa gravedad, intoxicaciones, patologías crónicas a largo plazo, damnificados e incluso muertes (ya sea la propia o de algún familiar). También quienes están a cargo de la mitigación del fuego (brigadistas y voluntarios) corren un grave peligro al trabajar directamente en la zona del siniestro. Por otro lado, también se tienen las pérdidas totales de casas, villas y poblados, así como el deterioro e inutilización de servicios básicos. Durante un tiempo, las personas vuelven a condiciones de vida precarias, incluso si es por un tiempo.

A partir de lo anterior, se tiene que, indudablemente, gran parte de la población no es ajena a la tecnología y uso de drones para fines civiles o recreativos, así como también para tareas más especializadas y enfocadas a la industria e investigación.

14.3 Paso 3: Combinación de metodologías

A continuación, como paso inicial de esta sección, se realiza una definición del evento/tema/problema de interés en el caso de estudio:

Tema de Interés
Monitoreo de incendios forestales utilizando sistemas de drones de sobrevuelo que procesen información en tiempo real.

Tabla 14: Cuadro definición tema de interés

Posteriormente, y con la información obtenida de los pasos anteriores, se procede a definir las relaciones causales, usando OTSM – TRIZ, estableciéndose problemas, sub problemas y soluciones parciales por escenario de estudio, a través de la utilización de la RdP:

14.3.1 RdP 1: Escenario Tecnológico

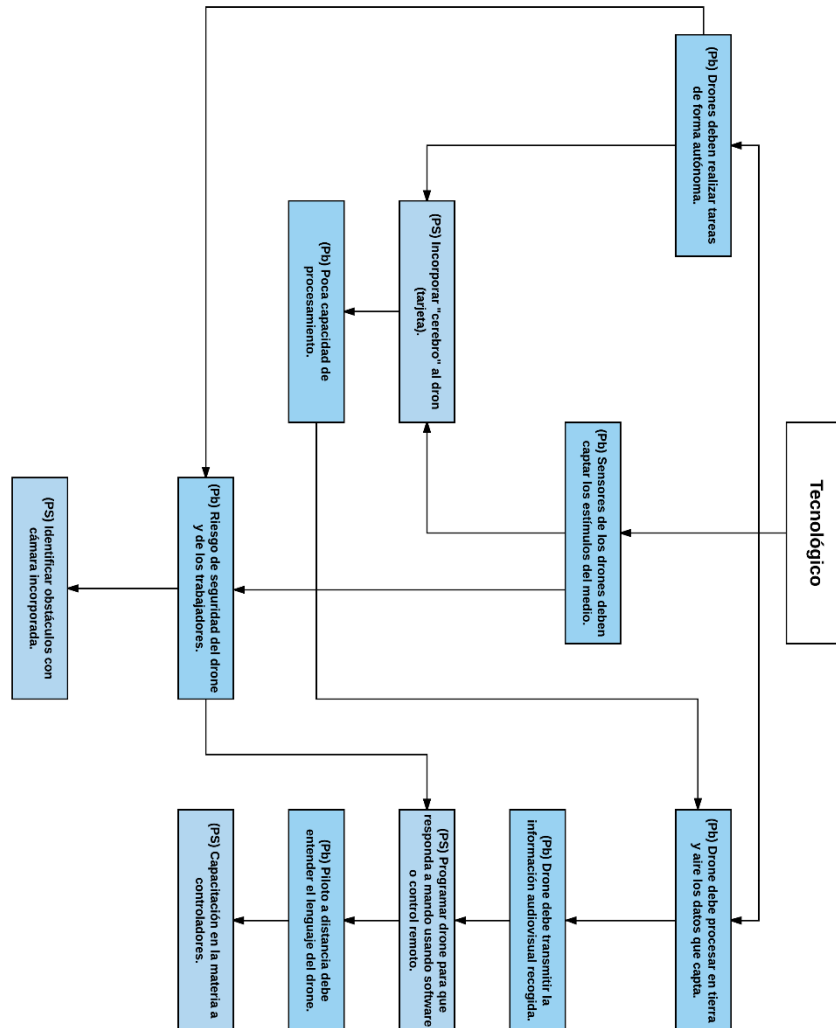


Figura 8: RdP tecnológica utilizando OTSM – TRIZ

14.3.2 RdP 2: Escenario Económico

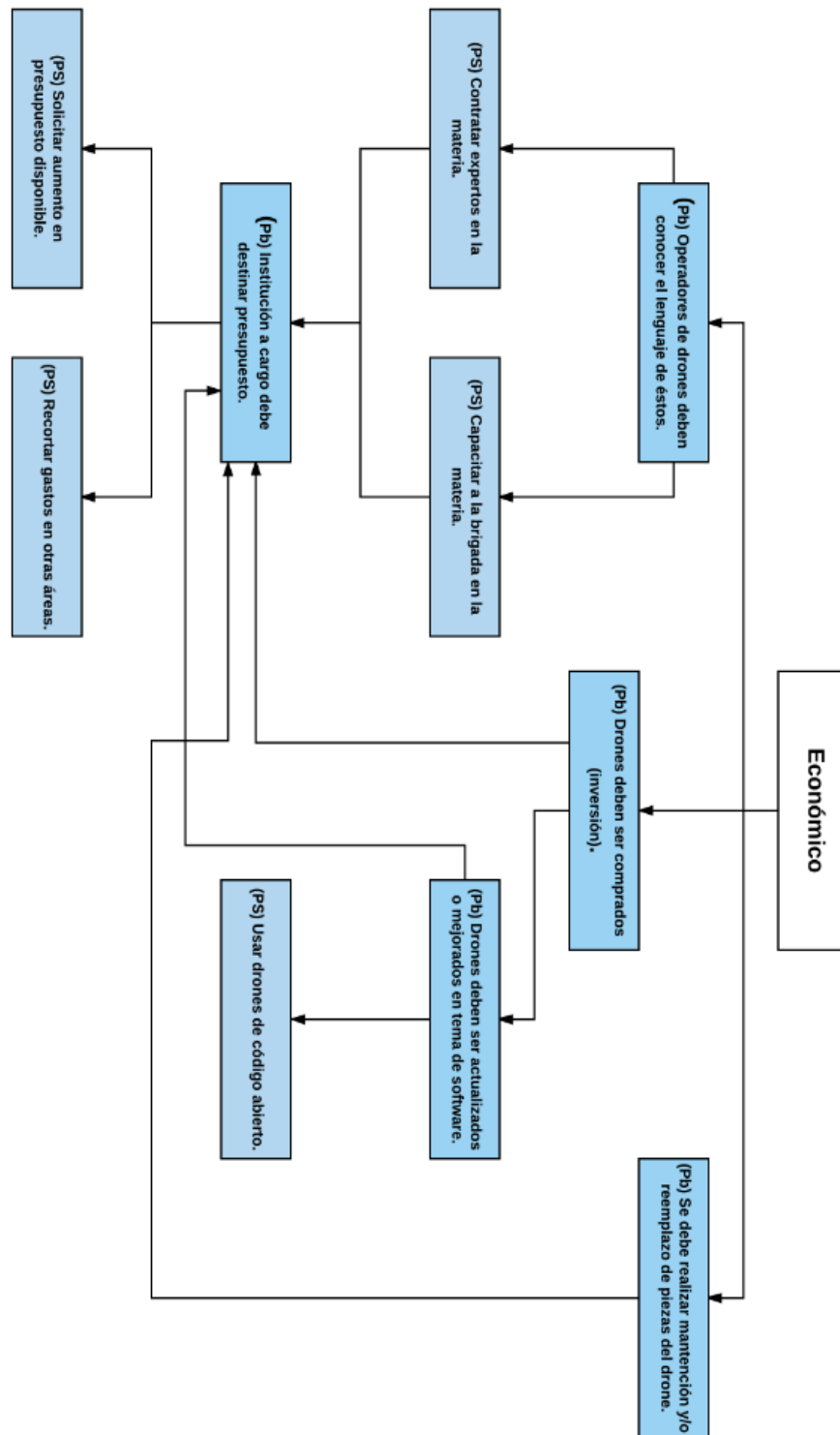


Figura 9: RdP económico utilizando OTSM - TRIZ

14.3.3 RdP 3: Escenario Medioambiental

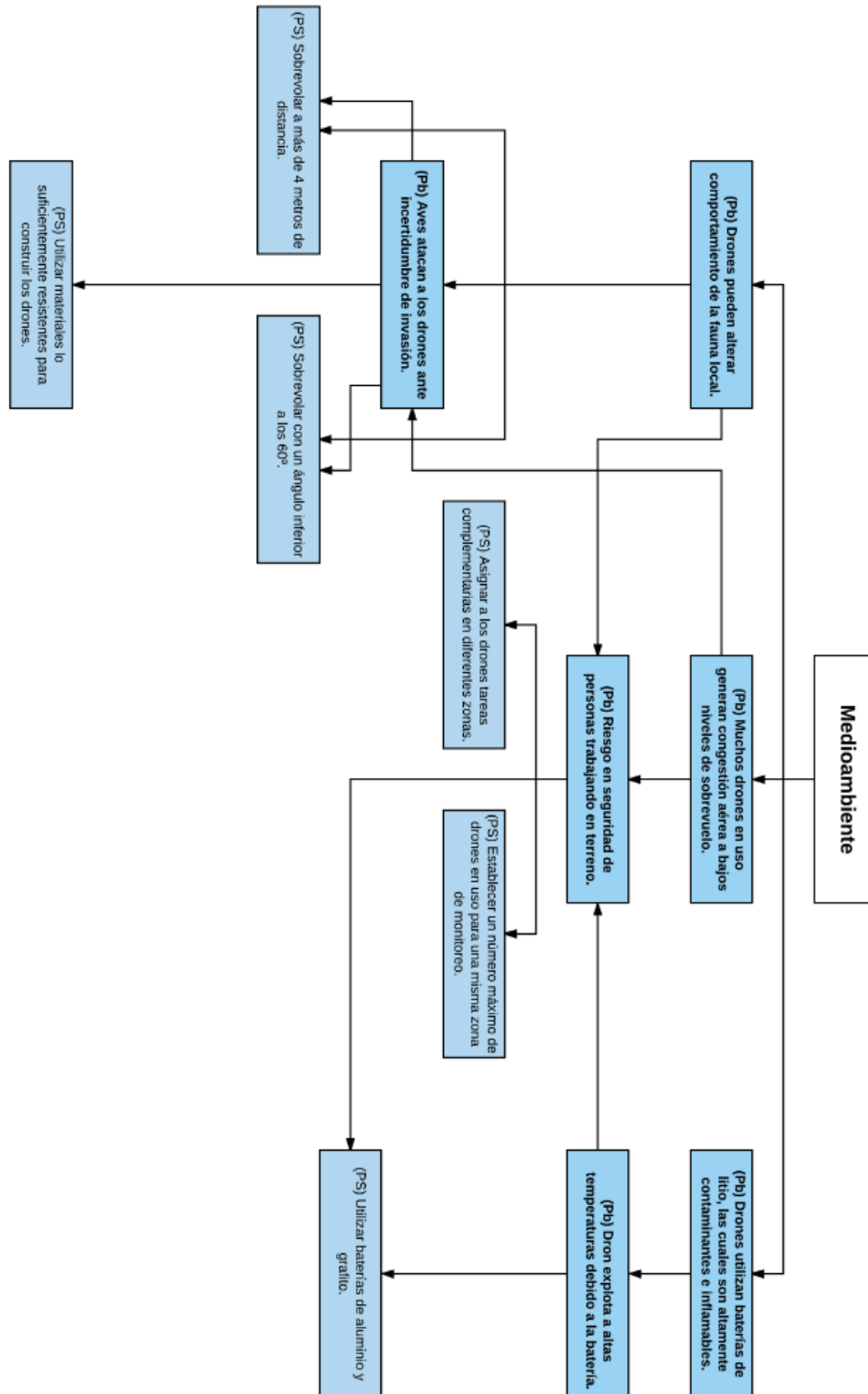


Figura 10: RdP medioambiental utilizando OTSM - TRIZ

14.3.4 RdP 4: Escenario Social

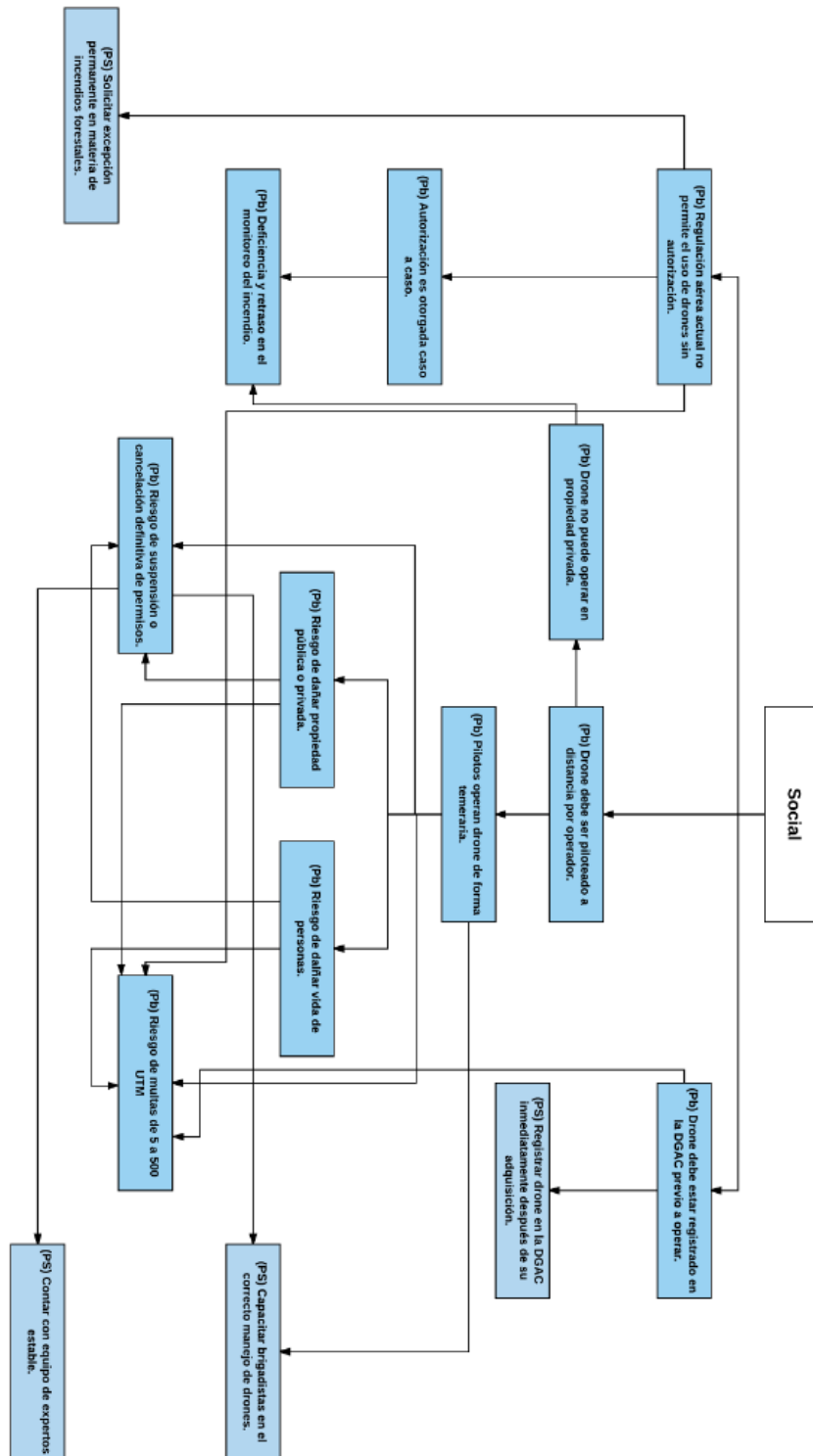


Figura 11: RdP social utilizando OTSM - TRIZ

14.4 Paso 4: Jerarquización de variables

A partir de la información obtenida y trabajada en los pasos anteriores, se procede a realizar una jerarquización de la misma, a partir de la identificación de los problemas más relevantes, a través de las redes previamente establecidas. Para este paso, se utilizó como apoyo la Matriz de Vester, obteniéndose los siguientes resultados:

14.4.1 RdP 1: Escenario Tecnológico

Como paso inicial de esta sección, y considerando la RdP del escenario tecnológico previamente estructurada, se realiza la asignación de puntaje correspondiente a través de la Matriz cruzada de Vester, lo cual se muestra a continuación:

Tecnológico													
Código	Variable	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	Influencia (X)
T1	Drones realizan tareas de forma autónoma	0	0	1	2	1	1	1	2	1	1	1	11
T2	Sensores deben captar estímulos del medio	0	0	1	2	1	1	1	2	1	1	1	11
T3	Drone debe procesar en tierra y en aire	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	1	5
T4	Riesgo de seguridad del drone y trabajadores	0	0	0	0	0	1	0	0	2	2	1	6
T5	Drone debe transmitir la información audiovisual	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	4
T6	Piloto a distancia debe entender lenguaje del drone	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
T7	Poca capacidad de procesamiento	0	0	2	0	1	1	0	0	0	1	1	6
T8	Incorporar cerebro al dron (tarjeta)	0	0	1	0	1	1	2	0	0	1	1	7
T9	Identificar obstáculos con cámara incorporada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T10	Programar drone para que responda a dos formas de mando	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	3
T11	Capacitación a controladores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dependencia (Y)		0	0	5	4	6	9	4	4	4	9	10	55

Tabla 15: Matriz de Vester para escenario Tecnológico

Una vez encontrados los valores máximos de los ejes de dependencia (Y) e influencia (X), se procede a posicionar cada uno de los problemas en un gráfico que representa a la Matriz de Vester, pudiendo así clasificarlos en diferentes tipos de problemas, según la posición de cada variable, como par ordenado, dentro del plano, como se muestra en la siguiente figura:

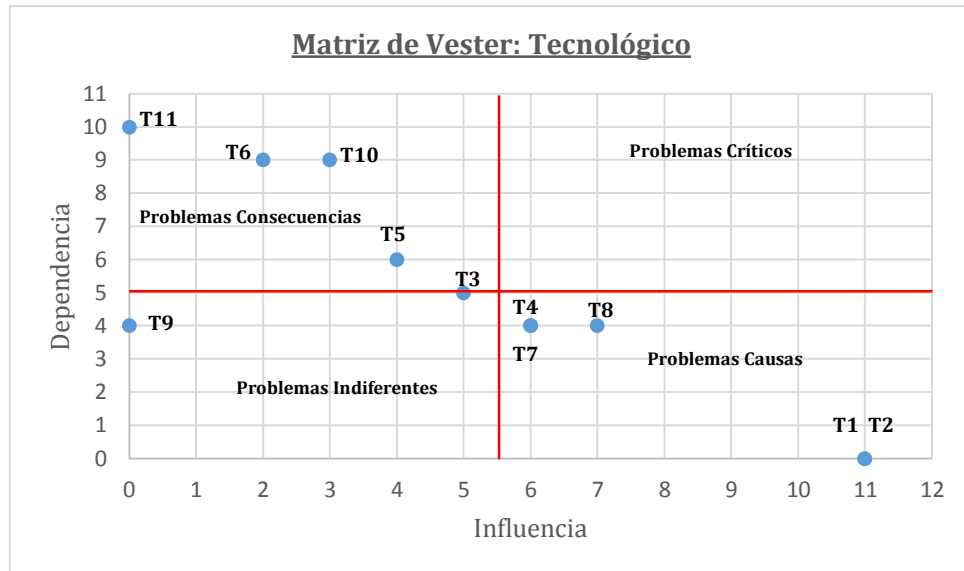


Figura 12: Gráfico de la Matriz de Vester: Tecnológico

Una vez identificada la categoría a la que pertenece cada uno de los problemas, se procede a establecer la equivalencia por nivel según clasificación de Futures Wheel, como se muestra en la siguiente tabla, con lo cual se podrá incluir la red de problemas, ahora separada por niveles de jerarquía, en la nueva Red Combinada, a realizarse en el siguiente paso:

Tipo de Problema/Problema	Equivalencia en Futures Wheel
Problemas Causa: T1, T2, T4, T7, T8	Consecuencia Directa de Primer Orden (CPO), nivel 1.
Problemas Críticos: Ninguno	Consecuencia Indirecta de Segundo Orden (CSO), nivel 2.
Problemas Consecuencia: T5, T6, T10, T11	Consecuencia Indirecta de Tercer Orden (CTO), nivel 3.
Problemas Indiferentes: T3, T9	Consecuencia Indirecta de Orden Inferior, nivel 4.

Tabla 16: Clasificación de los resultados de la Matriz de Vester (Tecnológico) utilizando FW

14.4.2 RdP 2: Escenario Económico

Considerando la RdP del escenario económico previamente estructurada, se realiza la asignación de puntaje correspondiente a través de la Matriz cruzada de Vester, lo cual se muestra a continuación:

Económico												
Código	Variable	Ec1	Ec2	Ec3	Ec4	Ec5	Ec6	Ec7	Ec8	Ec9	Ec10	Influencia (X)
Ec1	Drones deben ser comprados	0	0	2	0	2	0	0	1	1	1	7
Ec2	Se debe realizar mantención y/o reemplazar piezas del dron	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	4
Ec3	Actualización/mejora de drones (software)	0	0	0	0	2	0	0	2	1	1	6
Ec4	Operadores de drones deben conocer el lenguaje de éstos	0	0	0	0	1	2	2	0	1	1	7
Ec5	Se debe destinar presupuesto	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4
Ec6	Contratar expertos	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	4
Ec7	Capacitar a la brigada	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	4
Ec8	Usar drones de código abierto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ec9	Solicitar aumento en presupuesto disponible	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ec10	Recortar gastos en otras áreas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dependencia (Y)		0	0	2	0	11	2	2	3	8	8	36

Tabla 17: Matriz de Vester para escenario Económico

Una vez encontrados los valores máximos de los ejes de dependencia (Y) e influencia (X), se procede a posicionar cada uno de los problemas en un gráfico que representa a la Matriz de Vester, pudiendo así clasificarlos en diferentes tipos de problemas, según la posición de cada variable, como par ordenado, dentro del plano, como se muestra en la siguiente figura:

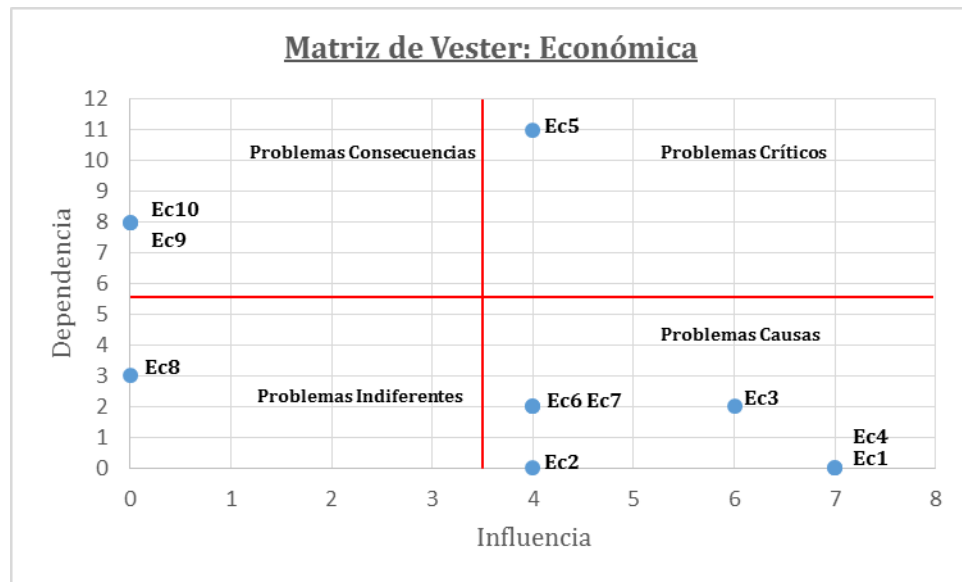


Figura 13: Gráfico de la Matriz de Vester: Económico

Una vez identificada la categoría a la que pertenece cada uno de los problemas, se procede a establecer la equivalencia por nivel según clasificación de Futures Wheel, como se muestra en la siguiente tabla, con lo cual se podrá incluir la red de problemas, ahora separada por niveles de jerarquía, en la nueva Red Combinada, a realizarse en el siguiente paso:

Tipo de Problema/Problema	Equivalencia en Futures Wheel
Problemas Causa: Ec1, Ec2, Ec3, Ec4, Ec6, Ec7	Consecuencia Directa de Primer Orden (CPO), nivel 1.
Problemas Críticos: Ec5	Consecuencia Indirecta de Segundo Orden (CSO), nivel 2.
Problemas Consecuencia: Ec9, Ec10	Consecuencia Indirecta de Tercer Orden (CTO), nivel 3.
Problemas Indiferentes: Ec8	Consecuencia Indirecta de Orden Inferior, nivel 4.

Tabla 18: Clasificación de los resultados de la Matriz de Vester (Económico) utilizando FW

14.4.3 RdP 3: Escenario Medioambiental

Considerando la RdP del escenario medioambiental previamente estructurada, se realiza la asignación de puntaje correspondiente a través de la Matriz cruzada de Vester, lo cual se muestra a continuación:

Medioambiental														
Código	Variable	En1	En2	En3	En4	En5	En6	En7	En8	En9	En10	En11	En12	Influencia (X)
En1	Drones pueden alterar comportamiento de fauna local	0	0	0	1	0	2	2	2	1	0	1	1	10
En2	Muchos drones en uso generan congestión aérea	0	0	0	2	0	2	0	0	1	0	1	2	8
En3	Drones utilizan baterías de litio	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	1	0	5
En4	Riesgo en seguridad de personas trabajando	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	2	2	8
En5	Dron explota a altas temperaturas	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	1	1	6
En6	Aves atacan a los drones ante invasión	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	6
En7	Sobrevolar a más de 4 m de distancia	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	4
En8	Sobrevolar con un ángulo inferior a 60º	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	4
En9	Utilizar materiales resistentes para construcción del dron	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
En10	Utilizar baterías de aluminio y grafito	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
En11	Establecer número máximo de drones en una misma zona	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
En12	Asignar a los drones tareas complementarias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dependencia (Y)		0	2	0	6	4	4	4	4	6	5	8	8	51

Tabla 19: Matriz de Vester para escenario Medioambiental

Una vez encontrados los valores máximos de los ejes de dependencia (Y) e influencia (X), se procede a posicionar cada uno de los problemas en un gráfico que representa a la Matriz de Vester, pudiendo así clasificarlos en diferentes tipos de problemas, según la posición de cada variable, como par ordenado, dentro del plano, como se muestra en la siguiente figura:

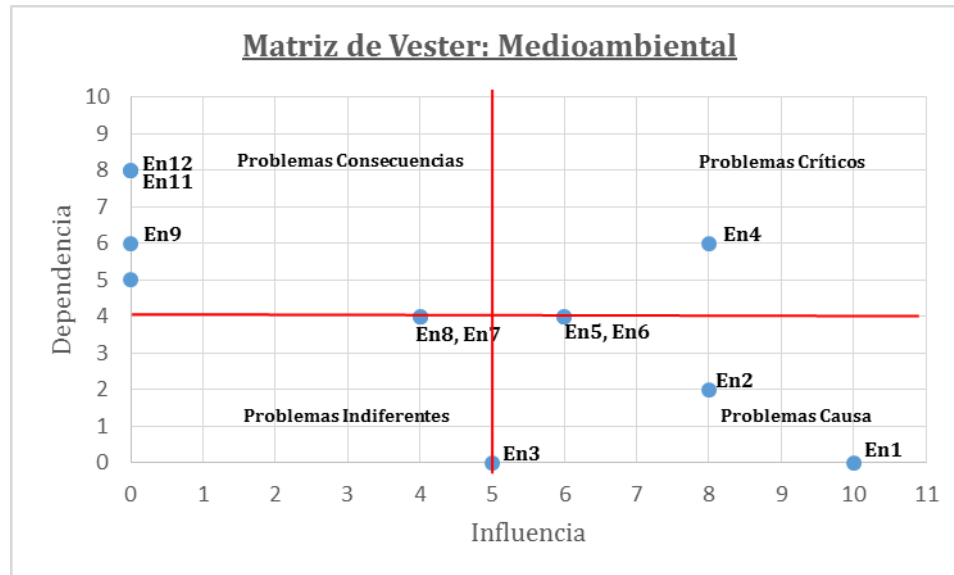


Figura 14: Gráfico de la Matriz de Vester: Medioambiental

Una vez identificada la categoría a la que pertenece cada uno de los problemas, se procede a establecer la equivalencia por nivel según clasificación de Futures Wheel, como se muestra en la siguiente tabla, con lo cual se podrá incluir la red de problemas, ahora separada por niveles de jerarquía, en la nueva Red Combinada, a realizarse en el siguiente paso:

Tipo de Problema/Problema	Equivalencia en Futures Wheel
Problemas Causa: En1, En2, En3	Consecuencia Directa de Primer Orden (CPO), nivel 1.
Problemas Críticos: En4, En5, En6	Consecuencia Indirecta de Segundo Orden (CSO), nivel 2.
Problemas Consecuencia: En7, En8, En9, En10, En11, En12	Consecuencia Indirecta de Tercer Orden (CTO), nivel 3.
Problemas Indiferentes: Ninguno	Consecuencia Indirecta de Orden Inferior, nivel 4.

Tabla 20: Clasificación de los resultados de la Matriz de Vester (Medioambiental) utilizando FW

14.4.4 RdP 4: Escenario Social

Considerando la RdP del escenario social previamente estructurada, se realiza la asignación de puntaje correspondiente a través de la Matriz cruzada de Vester, lo cual se muestra a continuación:

Social																		
Código	Variable	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	Influencia (X)	
S1	Autorización en el uso del dron	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	7	
S2	Autorización se entrega caso a caso	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
S3	Dron no puede operar en prop. Privada	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
S4	Deficiencia y retraso en monitoreo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S5	Registro del Dron en la DGAC	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	6	
S6	Dron debe ser pilotado a distancia	0	0	2	1	0	0	2	0	1	0	1	0	0	1	0	8	
S7	Pilotos operan dron de forma temeraria	0	0	0	2	0	0	0	2	2	2	2	0	0	2	1	13	
S8	Riesgo de daño a prop. Privada y/o pública	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	1	1	6	
S9	Riesgo de suspensión o cancelación de permisos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	
S10	Riesgo de dañar vida de personas	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	1	1	6	
S11	Riesgo de multas de 5 a 500 UTM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S12	Solicitud de excepción en materia de incendios forestales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S13	Registrar dron en DGAC inmediatamente tras su compra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S14	Capacitar brigadistas en el correcto manejo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
S15	Contar con equipo estable de expertos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Dependencia (Y)		0	2	2	10	0	0	2	2	7	2	11	2	2	7	5	54	

Tabla 21: Matriz de Vester para escenario Social

Una vez encontrados los valores máximos de los ejes de dependencia (Y) e influencia (X), se procede a posicionar cada uno de los problemas en un gráfico que representa a la Matriz de Vester, pudiendo así clasificarlos en diferentes tipos de problemas, según la posición de cada variable, como par ordenado, dentro del plano, como se muestra en la siguiente figura:

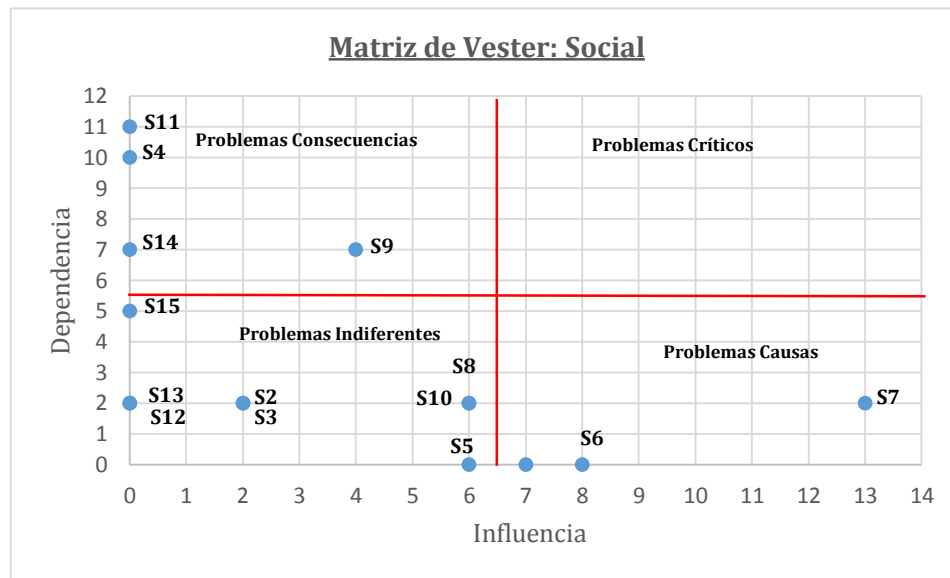


Figura 15: Gráfico de la Matriz de Vester: Social

Una vez identificada la categoría a la que pertenece cada uno de los problemas, se procede a establecer la equivalencia por nivel según clasificación de Futures Wheel, como se muestra en la siguiente tabla, con lo cual se podrá incluir la red de problemas, ahora separada por niveles de jerarquía, en la nueva Red Combinada, a realizarse en el siguiente paso:

Tipo de Problema/Problema	Equivalencia en Futures Wheel
Problemas Causa: S1, S6, S7	Consecuencia Directa de Primer Orden (CPO), nivel 1.
Problemas Críticos: Ninguno	Consecuencia Indirecta de Segundo Orden (CSO), nivel 2.
Problemas Consecuencia: S4, S9, S11, S14	Consecuencia Indirecta de Tercer Orden (CTO), nivel 3.
Problemas Indiferentes: S2, S3, S5, S8, S10, S12, S13, S15	Consecuencia Indirecta de Orden Inferior, nivel 4.

Tabla 22: Clasificación de los resultados de la Matriz de Vester (Social) utilizando FW

14.5 Paso 5: Generación de la nueva Red Combinada

A continuación se presenta la Red Combinada de manera gráfica, la cual cumple con ser de fácil lectura e interpretación para quienes deben tomar las decisiones dentro de la organización o proyecto analizado, así como con la incorporación de los principales elementos de OTSM – TRIZ y Futures Wheel.

Para fines prácticos, la nueva Red Combinada está configurada en base a los códigos dados a cada problema y solución parcial encontrados, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

	Código	Variable	Nivel FW
Tecnológico	T1	Drones realizan tareas de forma autónoma	N1
	T2	Sensores deben captar estímulos del medio	N1
	T3	Drone debe procesar en tierra y en aire	N4
	T4	Riesgo de seguridad del drone y trabajadores	N1
	T5	Drone debe transmitir la información audiovisual	N3
	T6	Piloto a distancia debe entender lenguaje del drone	N3
	T7	Poca capacidad de procesamiento	N1
	T8	Incorporar cerebro al drone (tarjeta)	N1
	T9	Identificar obstáculos con cámara incorporada	N4
	T10	Programar drone para que responda a dos formas de mando	N3
	T11	Capacitación a controladores	N3
Económico	Ec1	Drones deben ser comprados	N1
	Ec2	Se debe realizar mantención y/o reemplazar piezas del drone	N1
	Ec3	Actualización/mejora de drones (software)	N1
	Ec4	Operadores de drones deben conocer el lenguaje de éstos	N1
	Ec5	Se debe destinar presupuesto	N2
	Ec6	Contratar expertos	N1
	Ec7	Capacitar a la brigada	N1
	Ec8	Usar drones de código abierto	N4
	Ec9	Solicitar aumento en presupuesto disponible	N3
	Ec10	Recortar gastos en otras áreas	N3
Medioambiental	En1	Drones pueden alterar comportamiento de fauna local	N1
	En2	Muchos drones en uso generan congestión aérea	N1
	En3	Drones utilizan baterías de litio	N1
	En4	Riesgo en seguridad de personas trabajando	N2

	En5	Drone explota a altas temperaturas	N2
	En6	Aves atacan a los drones ante invasión	N3
	En7	Sobrevolar a más de 4 m de distancia	N3
	En8	Sobrevolar con un ángulo inferior a 60º	N2
	En9	Utilizar materiales resistentes para construcción del drone	N3
	En10	Utilizar baterías de aluminio y grafito	N3
	En11	Establecer número máximo de drones en una misma zona	N3
	En12	Asignar a los drones tareas complementarias	N3
Social	S1	Autorización en el uso del drone	N1
	S2	Autorización se entrega caso a caso	N4
	S3	Drone no puede operar en prop. Privada	N4
	S4	Deficiencia y retraso en monitoreo	N3
	S5	Registro del Drone en la DGAC	N4
	S6	Drone debe ser piloteado a distancia	N1
	S7	Pilotos operan drone de forma temeraria	N1
	S8	Riesgo de daño a prop. Privada y/o pública	N4
	S9	Riesgo de suspensión o cancelación de permisos	N3
	S10	Riesgo de dañar vida de personas	N4
	S11	Riesgo de multas de 5 a 500 UTM	N3
	S12	Solicitud de excepción en materia de incendios forestales	N4
	S13	Registrar drone en DGAC inmediatamente tras su compra	N4
	S14	Capacitar brigadistas en el correcto manejo	N3
	S15	Contar con equipo estable de expertos	N4

Tabla 23: Equivalencias en Future Wheel de cada variable identificada

Con lo anterior como referencia, se presenta la nueva Red Combinada.

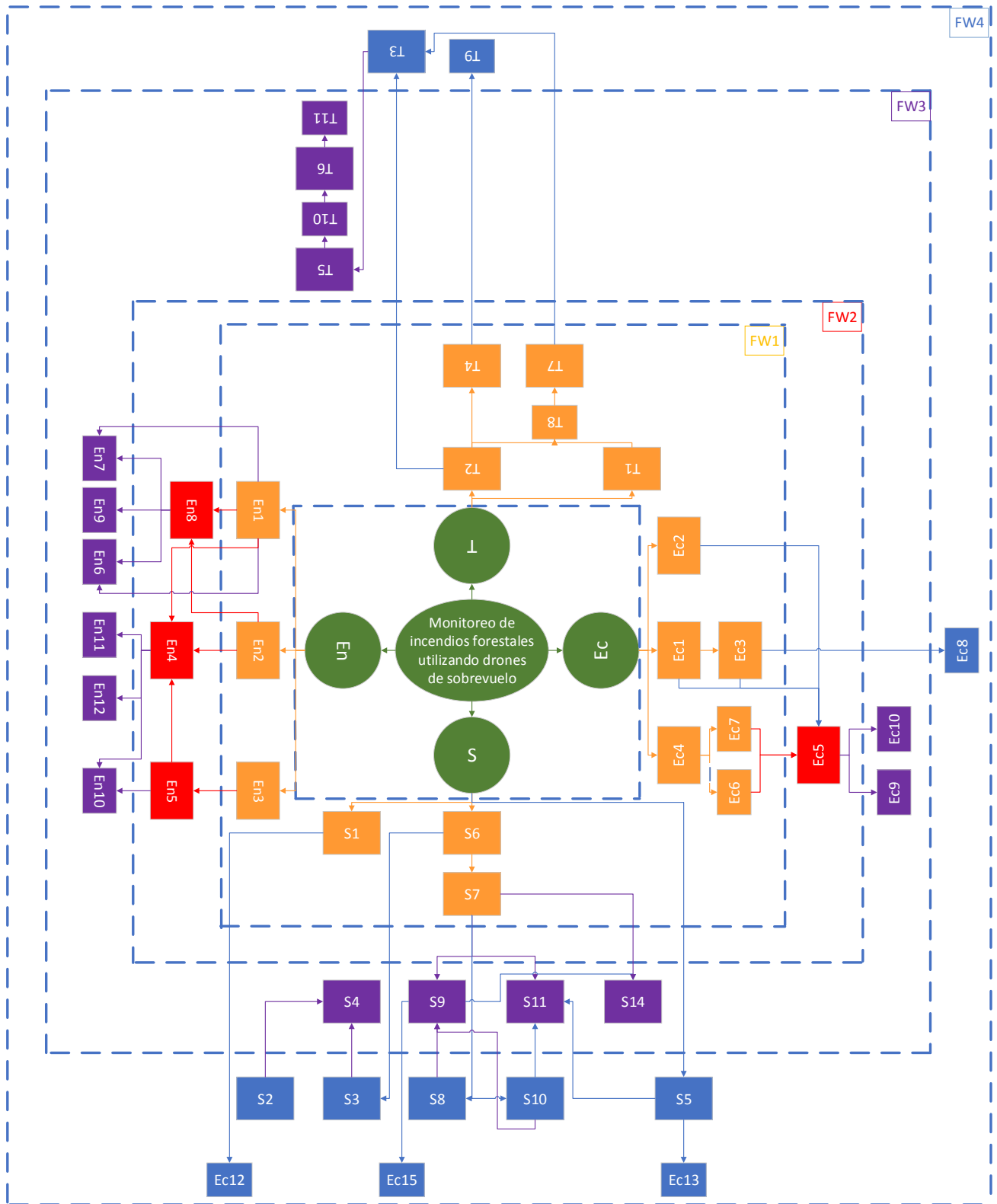


Figura 16: Red Combinada

14.6 Paso 6: Análisis y toma de decisiones

A partir de la Red Combinada obtenida es posible para el tomador de decisiones evaluar de manera más objetiva cómo afectarán sus decisiones, o las estrategias que decida implementar en el modelo, así como su impacto en cada uno de los diferentes escenarios, y posteriormente, en el cambio o evento crítico principal.

De esta manera, en base a la Red Combinada, es posible identificar, por ejemplo, cuatro problemas críticos, entre los que destaca la seguridad del personal o de los operadores y personas en general que están expuestos al radio de acción del dron, así como la cantidad de dinero que se debe destinar a éstos y que debe provenir de algún sitio.

Con esta Red Combinada, y tomando en consideración los cuatro escenarios relevantes analizados, el siguiente paso deberá ser realizar una planeación estratégica para saber cómo proceder y abordar los problemas según su relevancia. Para este caso particular, se propone realizar una planificación en el tiempo por etapas, fijándose planes operativos para objetivos tanto a corto como a mediano y largo plazo, tomando como prioridad además la fijación de un presupuesto que permita solventar las inversiones y gastos en los que se deberá incurrir.

En base a lo anterior, se propone hacerse de un grupo de expertos en el uso y maniobra de drones, así como capacitar a brigadistas y operarios en sus dos modalidades de uso para el monitoreo, posterior a la adquisición de los equipos. De esta manera se reducen las posibilidades de conductas temerarias en el manejo de las aeronaves, al tiempo que se previene la invasión y alteración que estos pueden generar a la fauna nativa del radio en el que actúan y se protege además la seguridad de las personas que trabajan en su conjunto.

También se debe prestar especial énfasis a cumplir con los trámites burocráticos de forma temprana, de tal forma que las aeronaves estén aptas para su utilización desde el punto de vista legal en caso de incendio. En este punto, los tomadores de decisiones del proyecto en sí no tienen demasiado control, pues hay temas con las normativas y políticas públicas que aún deben ser mejoradas o modificadas por los organismos

gubernamentales encargados, sin embargo, sí es posible ejercer presión por tener las aeronaves legalmente aprobadas e inscritas, así como en la aceleración de los procesos de aprobación de sobrevuelo en situaciones especiales de siniestro.

15. Conclusiones

15.1 De la metodología propuesta

A través de la presente investigación, se analizó la complejidad del monitoreo de los incendios forestales, mediante la integración de la Teoría del Pensamiento Poderoso OTSM - TRIZ en combinación con la herramienta de análisis de escenarios Futuros Wheel, utilizando como herramientas de apoyo la Matriz de Vester y el dimensionamiento de escenarios según TEES. De esta manera, como caso de aplicación, se buscó representar la realidad actual del monitoreo de los incendios forestales en Chile, planteándose como solución al problema en cuestión la utilización de sistemas de drones de sobrevuelo.

Para poder abordar la integración de ambas herramientas (OTSM – TRIZ y Futuros Wheel), se propuso, como metodología, la elaboración de un algoritmo metodológico sistémico que consta de seis pasos, y que, apoyado por TEES y la Matriz de Vester, permite la efectiva combinación de ambas herramientas, así como de cada una de sus partes.

En base, principalmente, a la experiencia y opinión de expertos en la materia, así como a investigaciones previas, se generó una base teórica respecto de los incendios forestales, así como de los drones y el uso actual que éstos tienen dentro del territorio nacional. Con la información más relevante, fue posible construir el Operador de Sistema asociado al tema, herramienta utilizada por la metodología OTSM – TRIZ para analizar el contexto que se está estudiando, así como los factores que pueden afectar o limitar la situación en conflicto, permitiendo así entender distintos escenarios para una misma situación. Se recalca la importancia de entender cómo varían cada uno de los sistemas, para así entender más completamente los cambios relacionados a estos. El análisis que esto conllevó, se realizó en base a los cuatro escenarios propuestos por TEES: técnico (tecnológico), medioambiental, económico y social, los cuales permitieron, posteriormente, construir las RdP asociadas a OTSM – TRIZ en base a cada una de las dimensiones, estableciéndose así problemas y soluciones parciales para cada

caso, según correspondiese. Sin embargo, estos problemas y soluciones encontrados, a este nivel de avance, no se encuentran jerarquizados ni ordenados según la prioridad a atender, lo cual es necesario para poder clasificarlos en los diferentes niveles de relevancia que propone Futures Wheel y así lograr integrar ambas metodologías.

Para poder realizar lo anterior, se utilizó como herramienta de apoyo la Matriz de Vester, a través de la cual fue posible establecer clasificaciones de relevancia que permitieron jerarquizar tanto los problemas como las soluciones parciales propuestas, para los cuatro escenarios analizados. De esta manera, y hasta este punto, se cuenta con cuatro redes de problemas (una por escenario) y cuatro matrices de Vester (una por escenario también). Una vez que los problemas fueron clasificados dentro de una de las cuatro categorías propuestas por Vester (activos, críticos, pasivos o indiferentes), se procedió a establecer una equivalencia con los diferentes niveles de relevancia propuestos por Futures Wheel, a decir, nivel directo o indirecto de consecuencia, en base a la situación propuesta como problema o evento relevante.

A continuación, se presenta un cuadro resumen de las equivalencias entre la Matriz de Vester y Futures Wheel:

Tipo de Problema en Matriz de Vester	Equivalencia en Futures Wheel
Problemas Activos	Consecuencia Directa de Primer Orden (CPO)
Problemas Críticos	Consecuencia Indirecta de Segundo Orden (CSO)
Problemas Pasivos	Consecuencia Indirecta de Tercer Orden (CTO)
Problemas Indiferentes	Consecuencia Indirecta de Orden Inferior

Tabla 24: Equivalencias entre la Matriz de Vester y Futures Wheel

Con las equivalencias previamente mostradas, fue posible realizar efectiva y satisfactoriamente la integración de OTSM – TRIZ y Futures Wheel, viéndose esto reflejado en la generación y gráfica de la Nueva Red Combinada obtenida, la cual clasifica los problemas y soluciones por escenarios, así como también por niveles de relevancia o importancia. Para poder graficar la Red Combinada, debido a su extensión, fue necesario otorgar códigos a cada uno de los problemas y soluciones parciales, para facilitar así su orden y lectura global dentro de la red. Una vez realizado todo lo anterior, los tomadores de decisiones están capacitados para la realización de decisiones, así como para poder realizar una planificación estratégica por etapas en el tiempo, priorizando los problemas que necesitan ser tomados en cuenta con urgencia por sobre los que pueden esperar un poco más para ser atendidos. De aquí, es posible saber también, por ejemplo, a qué problemas se les deben asignar recursos más urgentemente.

A partir de lo anterior, es posible señalar que Futures Wheel realiza una valiosa contribución a la metodología propuesta por OTSM – TRIZ, al jerarquizar sistemáticamente los problemas y soluciones parciales encontradas para los diferentes escenarios que se desean construir. Sin embargo, la deficiencia está en que debe ser apoyada por una herramienta externa que permita realizar una jerarquización cuantitativa de cada variable, como es el caso de la Matriz de Vester, para así facilitar y respaldar la gráfica por niveles de relevancia que se obtienen combinando Futures Wheel y OTSM – TRIZ en la Nueva Red Combinada generada. Esta red permite abarcar el problema o evento madre de manera mucho más íntegra y globalizada, tomando en cuenta más de un escenario a la vez, y permitiendo el establecimiento de relaciones entre problemas y soluciones parciales de distintos escenarios y niveles de relevancia. Sin embargo, en caso de que se deba tomar en consideración un excesivo número de variables, la Red Combinada puede resultar a ratos un poco más confusa o de difícil lectura. A pesar de esto, sigue siendo una herramienta efectiva para que los tomadores de decisiones puedan establecer planes estratégicos en base a las variables que deben ser priorizadas a través del tiempo por sobre las que no son tan relevantes, determinando así los pasos futuros a seguir.

En cuanto a las limitaciones que presenta la integración propuesta de metodologías, se tiene como punto relevante el hecho de que, particularmente, OTSM – TRIZ debe ser de dominio y conocimiento de quien está levantando el modelo, pues es una herramienta estructurada, con reglas de desarrollo y nomenclatura específica que deben ser conocidas para su correcta utilización y aplicación. De la misma manera, la Matriz de Vester permite cierta flexibilidad en ciertos parámetros de puntuación, pudiendo utilizarse incluso hasta cuatro puntajes (de 0 a 3, a diferencia de esta investigación, que consideró puntajes de 0 a 2), lo cual deberá quedar bajo la determinación de quien esté a cargo de realizar el modelo, según el nivel de especificación o dificultad que se pretenda dar al mismo. De aquí, se desprende por tanto que, si bien la metodología propuesta corresponde a un algoritmo metodológico sistémico que consta de seis pasos, la utilización de OTSM – TRIZ y Futures Wheel se configura en base a la opinión de expertos en las materias que se pretenden abarcar, por lo que tienen asociadas un grado de subjetividad que incidirá directamente en los problemas y soluciones a identificar, así como de la jerarquización o priorización que se les dará. Como consecuencia, se tiene que la integración de ambas metodologías tendrá también un grado de subjetividad asociada, por lo que la configuración de la Red Combinada estará determinada en parte por lo que los expertos consultados consideren más relevante o estén en conocimiento de.

Como trabajo futuro, es posible avanzar en la combinación de ambas metodologías realizando la integración de cada dimensión de análisis de manera simultánea. En esta investigación, cada escenario de análisis fue realizado por separado, siguiendo los pasos propuestos a través del algoritmo sistémico, y uniéndose en los pasos finales para realizar la Red Combinada, sin embargo, es también interesante realizar una propuesta, en estudios futuros, de un mecanismo para trabajar la integración simultánea de los cuatro escenarios de análisis, construyendo la Red Combinada como una única red de problemas y soluciones parciales desde un comienzo.

15.2 Del caso de estudio

En relación al caso de estudio propuesto, referente a la utilización de un sistema de drones colaborativos y de visión multimodal en el monitoreo de incendios forestales en el territorio nacional, es posible establecer conclusiones a partir de los diferentes escenarios de análisis establecidos a través de TEES.

En Chile, los terremotos y los tsunamis originados por éstos han sido los desastres de mayor impacto a lo largo de su historia, por el número de afectados y pérdidas económicas que generan. Sin embargo, por su geografía y variedad de climas, la población también está expuesta, entre otros, a inundaciones, erupciones, incendios y sequías. Los desastres naturales conllevan un alto impacto en el ámbito social dentro del país: el gran incendio de la ciudad de Valparaíso en el año 2014, por mencionar un ejemplo, dejó más de 2900 viviendas destruidas y 12.500 personas damnificadas, según cifras oficiales. Dentro del territorio nacional, se inician en promedio 6.000 incendios forestales por año, afectando una superficie aproximada de 50.000 hectáreas, siendo la causa principal y casi exclusiva la acción humana y sus actividades, cuyo porcentaje equivale ni más ni menos que al 99% del total de incendios forestales. En base al estudio generado para este caso de aplicación, y considerando las cifras presentadas, es que se vuelve relevante el proponer medidas innovadoras que permitan la resolución y prevención de este tipo de eventos, buscando soluciones a partir de la tecnología, como es el uso de drones.

En base a lo anterior, como punto relevante se destaca que los drones no vienen prediseñados para una aplicación específica, sino que son altamente modificables y adaptables para las tareas que se busca que éstos realicen, así como para los campos de investigación o trabajo para los cuales se pretenden utilizar. Esta alta adaptabilidad es gratamente favorable, desde el punto de vista tecnológico y técnico, para la organización y estructuración del desarrollo de soluciones innovadoras para este tipo de problemas tan recurrentes dentro del país.

Por otro lado, tomando en consideración el punto de vista social, es posible señalar que, si bien Chile es un país pionero en la normativa y regulación de aeronaves

no tripuladas, aún queda camino por recorrer en cuanto a la preparación de políticas públicas que permitan mejorar la aceptación de soluciones tecnológicas en ambientes tan rigurosos y extremadamente peligrosos, como es la situación de un incendio forestal en desarrollo. Particularmente, como ejemplo, en cuanto al papeleo que se debe realizar previo a la utilización en terreno de estas aeronaves. Es necesario contar con profesionales y expertos capacitados, que puedan contribuir al desarrollo tecnológico de estas soluciones, que al mismo tiempo cuenten con un respaldo legal para poder llevar a cabo las maniobras y destrezas necesarias para su correcta implementación a través del tiempo. Por lo mismo, se debe contar con un equipo que esté capacitado en relación al lenguaje al que responden los drones, así como a todos los planes alternativos que estos tienen y que buscan preservar la seguridad de quienes los maniobran, así como del contexto inmediato en el que se mueve el dron y de la aeronave misma.

Considerando su impacto medioambiental casi inexistente, el uso de drones para mitigación y monitoreo de incendios forestales se alza como una alternativa innovadora y tecnológica interesante a tomar en consideración como solución tanto preventiva como combativa para este tipo de eventos. No es una herramienta invasiva para la flora y fauna inmediatamente afectada por el radio de acción, mientras que utiliza la energía eléctrica para realizar sus actividades. El único punto en contra sigue siendo la utilización de baterías de litio, tema que ya se encuentra en discusión, con diferentes alternativas sustitutivas en desarrollo y estudio. Si bien el plan de sistema de drones de monitoreo requerirá una alta inversión inicial en equipos y software, así como un desembolso en capacitaciones y contratación de equipos de expertos, es una alternativa de prevención y monitoreo altamente efectiva, segura e inteligente: e indudablemente, mucho menos costosa, tanto monetaria como social y medioambientalmente hablando, que los incendios forestales recurrentes que afectan al país cada temporada estival, para los cuales aún no se han establecidos soluciones 100% completas.

16. Referencias

Abumohor, A. (2012). Incendio forestal Parque Nacional Torres del Paine.

Altshuller, G. (1984). Creativity as an exact science: The Theory of the Solution of Inventive Problems. 1984. Gordon & Breach Science Publishing, New York.

Altshuller, G. (2002). 40 Principles: TRIZ keys to innovation (Vol. 1). Technical Innovation Center, Inc.

Bermudez, G., & Gomez, H. (2001). Los problemas en tecnología: una propuesta metodológica. *Revista Tecnura*, 5(9), 68-79.

Brown, A. A., & Davis, K. P. (1973). Forest fire: control and use.

Castillo, M., Pedernera, P., & Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista ambiente y desarrollo de CIPMA*, 19(3), 44-53.

Cavallucci, D., & Khomenko, N. (2006). From TRIZ to OTSM-TRIZ: addressing complexity challenges in inventive design. *International Journal of Product Development*, 4(1-2), 4-21.

Chuvieco, E., Martín, M. P., Martínez, J., & Salas, F. J. (1998). Geografía e incendios forestales. *Serie Geográfica*, 7, 11-17.

CONAF (2015). De Rengo, I. M. Plan Protección Contra Incendios Forestales Comuna De Rengo Región Del Libertador General Bernardo O'Higgins Años 2015-2018.

CONAF. (2016). O'Higgins, R. D. L. G. B., & De Coltauco, I. M. Actualización Plan Protección Contra Incendios Forestales.

CONAF. (2017). *Métodos de Combate de Incendios Forestales*. Recuperado de: <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/combate-de-incendios-forestales/metodos-de-combate-de-incendios-forestales/>

CONAF. (2017). *Combate de Incendios Forestales*. Recuperado de: <http://www.conaf.cl/incendios-forestales/combate-de-incendios-forestales/deteccion-de-incendios-forestales/>

Escamilla, G., Pérez, P. J., & Valenzuela, P. L. (2010). La brigada de helitanque y los procedimientos de trabajo con helicópteros. Corporación Nacional Forestal. Santiago de Chile, Chile.

Fonseca, N. I. R. Estudio del plan de prevención de accidentes y daños a la propiedad, en las operaciones de brigadas en el combate de incendios forestales, período 2006–2013. CONAF Región de Los Lagos.

Glenn, J. (1972). Futurizing Teaching vs. Futures Courses. Social Science Record.

Haltenhoff, H. The Forest fires in Chile: Change the paradigm: Control strategies or citizen participation.

HUIZACHE. (2017). *OTSM – TRIZ – ARIZ*. Recuperado de: <http://www.huizache.org/posts/otsm-triz-ariz>

Jiménez, J. M. M. (2002). El proceso analítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones. Caballero, R. y Fernández, GM Toma de decisiones con criterios múltiples. RECT@. Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA. Serie Monografías, (1), 21-53.

Khomenko, N., Kucharavy, D., & LRPS, E. (2002, November). OTSM-TRIZ problem solving process: solutions and their classification. In Proceedings of TRIZ Future Conference (pp. 6-8).

Khomenko, N., & De Guio, R. (2007). OTSM Network of Problems for representing and analysing problem situations with computer support. In Trends in Computer Aided Innovation (pp.77-88). Springer US.

La Tercera (2014). Siniestro de Valparaíso entra en fase de liquidación y anuncian medidas. Recuperado de: <http://www.latercera.com/noticia/siniestro-de-valparaiso-entra-en-fase-de-liquidacion-y-anuncian-medidas/>

Lopez-Campos, Monica. Nikulin, Christopher. Solis, Paulina. (2014). Una metodología para mejorar el proceso de toma de decisiones: Integración de modelos de sistemas dinámicos y teoría de decisiones con la teoría de resolución de problemas de inventiva (TRIZ).

Mejía, R. F. T. (2009). Seguridad ocupacional. Ecoe ediciones.

Nasi, R., Dennis, R., Meijaard, E., Applegate, G., & Moore, P. (2002). Los incendios forestales y la diversidad biológica. Unasylva (FAO).

NATIONAL GEOGRAPHIC. (2010) *Incendios*. Recuperado de <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/incendios>

Nikulin, C., Cascini, G., Viveros, P., Stegmaier, R., & Barbera, L. (2014). An algorithm for root causa analysis integration base don OTSM – TRIZ: Complex problem analysis. Safety, Reliability and Risk Analysis (pp. 643-650). CRC Press.

Nikulin, C., Graziosi, S., Cascini, G., Araneda, A. & Minutolo, M. (2013). An algorithm for supply chain integration based on OTSM – TRIZ. Procedia – Social and Behavioral Sciences, 75, 383 – 396.

DGCA. (2017). Operaciones de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPA) En Asuntos de Interés Público, que se Efectúen Sobre Áreas Pobladas. Recuperado de: http://www.dgac.gob.cl/transparencia/pdf2017/DAN_151Ed2.pdf

P.-M Basset, A. T. (2014). Rotary Wing UAV pre-sizing: Past and Present Methodological Approaches at Onera. Journal Aerospace Lab.

Pons, P. (2001). Consecuencias de los incendios forestales sobre los vertebrados y aspectos de su gestión en regiones mediterráneas. *Conservación de la biodiversidad y gestión forestal: su aplicación en la fauna vertebrada*, J. Camprodon y E. Plana (eds.). Publicaciones y Ediciones Universidad de Barcelona, Barcelona, 197-211.

Real Academia Española. (2001). Diccionario de la lengua española (22.a ed.). Recuperado de <http://www.rae.es/>

Sempere, D., Urbano, A., Lavabre, J., & Dolz, J. (1994). Consecuencias hidrológicas de los incendios forestales. *Ingeniería del Agua*, 1(4), 33-48.

Tapia, G., & Castillo, M. (2014). Propuesta de diseño de un sistema de torres de detección de incendios forestales: aplicación a la región Metropolitana de Chile central. *Bosque (Valdivia)*, 35(3), 399-412.

UNESCO (2012). *Análisis de Riesgos de Desastres en Chile*. Recuperado de: <http://www.unesco.org/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Santiago/pdf/Analisis-de-riesgos-de-desastres-en-Chile.pdf>

Villalobos, V. (2017). *Aeronaves Piloteadas a Distancia en la Aviación Civil*. Recuperado de: <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=109046&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION>

Westerling, A. L., Hidalgo, H. G., Cayan, D. R., & Swetnam, T. W. (2006). Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. *science*, 313(5789), 940-943.