



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA

*“DESARROLLO DE UNA SILLA DE RUEDAS  
INNOVADORA PARA POBLACION GERIATRICA  
BASADO EN TRIZ”*

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA**

**INGENIERIA MECANICA-DISEÑO MECANICO**

**P R E S E N T A**

**ING. SILVIA GONZALEZ SALINAS**

DIRECTOR DE TESIS: Dr. ADRIAN ESPINOSA BAUTISTA



2011

**JURADO ASIGNADO:**

PRESIDENTE: DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ

SECRETARIO: DR. LEOPOLDO A. GONZÁLEZ GONZÁLEZ

VOCAL: ADRIÁN ESPINOSA BAUTISTA

1er. SUPLENTE: DR. ALEJANDRO C. RAMÍREZ REIVICH

2do. SUPLENTE: M.I. ANTONIO ZEPEDA SÁNCHEZ

Lugar donde se realizó la tesis

MÉXICO, DISTRITO FEDERAL

TUTOR DE TESIS

DR. ADRIÁN ESPINOSA BAUTISTA

---

FIRMA

## **DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS**

*A mi madre **Matilde Salinas Delgado** por ser mi apoyo y mi guía y motivarme siempre a ser mejor cada día. Gracias por apoyarme para cumplir todos mis sueños.*

*A la memoria de mi padre **Francisco Javier González Ramírez** que siempre estuvo presente en todos mis logros.*

*Al **Dr. Adrian Espinosa Bautista**, porque siempre ha creído en mí y me ha impulsado a seguir siempre adelante.*

*A mi familia y amigos por brindarme su apoyo y su cariño.*

*A **Ilse Nayeli Domínguez, Tonatiuh López y Andrés Ortega** por su colaboración en el desarrollo de este proyecto.*

**Y quiero brindar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México y al Posgrado de Ingeniería por brindarme la oportunidad de estudiar en sus aulas y por contribuir en mi desarrollo profesional.**

## INDICE

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1	Teorías de Diseño	1
1.2	Objetivo	3
1.3	Alcances del Proyecto	3
1.4	Hipótesis	4
1.5	Proceso de Diseño	4
<b>2</b>	<b>Marco Teórico</b>	<b>6</b>
2.1	Primera etapa del diseño: TRIZ-UCD	6
2.1.1	Una oportunidad para la integración del enfoque de Diseño Centrado en el Usuario y TRIZ	7
2.1.2	UCD-TRIZ Metodología de Diseño	7
2.1.2.1	Observación	7
2.1.2.2	Marcos de referencia	8
2.1.2.3	Imperativos	8
2.1.2.4	Soluciones	8
2.2	Segunda etapa de diseño: Evaluación	9
2.2.1	Teoría de evolución	9
2.2.1.1	Las leyes básicas en la evolución	10
2.2.1.2	Etapas de evolución de los sistemas tecnológicos	12
2.2.1.3	Las leyes de evolución de los sistemas tecnológicos	12
2.2.2	Niveles de innovación	14
2.2.3	Sistemas tecnológicos	15
2.2.4	Diagrama de función	15
2.2.4.1	Funciones	16
2.2.4.2	Conflictos de sistemas	17
2.2.4.3	Diagrama de los conflictos de sistemas	17
2.2.4.4	Resolución de conflictos	18
2.2.4.5	Definición de modelo de función	18
2.2.5	Diagrama sustancia-campo	18
2.2.5.1	Modelo sustancia-campo	18
2.2.5.2	Modelos físicos de los diagramas sustancia-campo	20
2.2.5.3	Creación del modelo sustancia-campo	21
2.2.5.4	Transformaciones típicas de diagramas de sustancia-campo	23
2.2.6	Contradicciones físicas y técnicas	23
2.2.6.1	Contradicciones técnicas	23
2.2.6.2	Contradicciones físicas	24
2.2.6.2.1	Separación de propiedades opuestas en el tiempo	26
2.2.6.2.2	Separación de propiedades opuestas en el espacio	26
2.2.6.2.3	Separación de propiedades opuestas entre el todo y sus partes	26
2.3	Tercera etapa de diseño: Segunda iteración	27
2.3.1	Prototipado	27
<b>3</b>	<b>APLICACIÓN DE METODOLOGÍA TRIZ-UCD</b>	<b>28</b>
3.1	Observación	28

3.1.1	Estudio geriátrico	29
3.1.2	Estudio ergonómico	31
3.1.3	Encuestas a usuarios, médicos y familiares	33
3.1.4	Normativas para silla de ruedas	34
3.2	Marco de referencia	36
3.2.1	Personas	36
3.2.2	Escenarios	38
3.2.3	La ventana de recursos	39
3.2.4	La ventana de restricciones	40
3.2.5	Mapa mental	41
3.2.6	Triángulo de redefinición	42
3.2.7	Diagrama de función externo	43
3.3	Imperativos	44
3.3.1	Matriz de las contradicciones	44
3.4	Soluciones	45
3.4.1	Generación de concepto	45
3.4.1.1	Benchmarking	45
3.4.1.2	Aplicación de los principios de diseño	46
3.4.2	Diseño de sistemas y evaluación de conceptos	48
3.5	El modelo inicial y sus características	50
3.5.1	La estructura	50
3.5.2	Asiento	50
3.5.3	Sistema de amortiguación	50
3.5.4	Llantas	50
3.5.5	Frenos	51
3.5.6.	Diseño conceptual del modelo inicial	51
<b>4</b>	<b>RADAR DE EVOLUCIÓN</b>	<b>52</b>
4.1	Desarrollo del radar de evolución	52
4.1.1	Materiales inteligentes	53
4.1.2	Segmentación del espacio	54
4.1.3	Segmentación de superficie	54
4.1.4	Segmentación del objeto	54
4.1.5	Redes y fibras	55
4.1.6	Evolución geométrica de la construcción volumétrica	55
4.1.7	Dinamización	56
4.1.8	No-linealidad	56
4.1.9	Mono-sistema a poli-sistema	56
4.1.10	Incrementación del uso del color	57
4.1.11	Enfoque de compra del cliente	57
4.1.12	Grados de libertad	58
4.1.13	Reducción de complejidad del sistema	58
4.1.14	Controlabilidad	58
4.1.15	Decremento de la intervención humana	59
4.1.16	Metodología de diseño	59
4.1.17	Reducir la energía de n a 0	59
4.2	Grafica del radar	60
4.3	Análisis de las tendencias de evolución	60
<b>5</b>	<b>GENERACIÓN DE DIAGRAMA DE FUNCIÓN</b>	<b>63</b>

5.1	Análisis del caso de estudio	63
5.1.1	Modelo de relación	63
5.1.2	Tabla de análisis de los sistemas	64
5.1.3	Diagrama de función (Interno)	65
5.1.4	Diagrama sustancia-campo (Llantas)	65
5.1.5	Diagrama sustancia-campo (Sistema de amortiguamiento)	67
<b>6</b>	<b>SEGUNDA ITERACIÓN DE DISEÑO</b>	<b>69</b>
6.1	Diseño inicial	69
6.2	Generación de bosquejos	70
6.2.1	Replanteamiento del problema	71
6.2.2	Generación de nuevos conceptos	72
6.2.3	Utilización del radar de evolución	73
6.2.4	Utilización del diagrama sustancia-campo	74
6.2.5	Utilización de las contradicciones físicas	74
6.3	Modelos realizados	75
6.3.1	Prototipo "Gamma"	75
6.3.2	Prototipo "Beta"	76
6.4	Prototipo final "Icpalli"	77
6.4.1	Estructura	77
6.4.2	Asiento	79
6.4.3	Llantas	81
6.4.3.1	Sección delantera	81
6.4.3.2	Sección trasera	82
6.4.4	Detalles a considerar	84
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>87</b>
<b>8</b>	<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>89</b>

## CAPITULO 1. INTRODUCCION

*En este capítulo nos introduciremos a las teorías y metodologías de diseño existentes dando un repaso a las más importantes y conocidas. Así mismo se plantearán los objetivos, los alcances, la metodología propuesta y una breve descripción de la estructura de la tesis.*

### 1.1 TEORIAS DE DISEÑO

La investigación del diseño en ingeniería se clasifica en filosofías de diseño, modelos y metodologías. La teoría del diseño es definida como “*un conjunto de principios que son útiles para explicar un proceso de diseño y proporcionar una base para la comprensión básica necesaria*” [32]. Rabins afirma que la teoría del diseño se refiere a la declaración sistemática de los principios, los cuales son verificados experimentalmente así como las relaciones que explican el proceso de diseño y proporcionan los conocimientos básicos necesarios para crear una metodología útil [37]. En la teoría del diseño se explica qué es el diseño, mientras que la metodología de diseño es un conjunto de procedimientos, herramientas y técnicas de uso para los diseñadores. La metodología de diseño, por su parte es preceptivo, ya que indica la forma de diseñar [15]. Una metodología de diseño debe promover y orientar las capacidades de los diseñadores, alentar la creatividad y la necesidad de una evaluación objetiva de los resultados [34].

Haciendo un estudio del estado del arte en metodologías de diseño Pahl y Beitz identificaron cuatro fases que son comunes a cualquier modelo normativo para el diseño: la clarificación de tareas, el diseño conceptual, diseño y realización del detalle [34]. Asimow propuso tres fases del diseño: Estudio de factibilidad, diseño preliminar y la fase de diseño detallado [14]. Michael French propone un diseño de ocho fases: identificación de la necesidad, el análisis del problema, la declaración del problema, diseño conceptual, selección de régimen, forma de realización, detalles y planos de trabajo [17]. Dieter y Schmidt proponen una metodología de ocho etapas: la definición de problemas, la recopilación de información, generación de conceptos, evaluación de conceptos, la arquitectura del producto, la configuración de diseño, diseño paramétrico y el diseño de detalle [14]. Ulrich y Eppinger proponen una metodología de seis fases: Planificación, desarrollo de conceptos, diseño de nivel de sistema, diseño de detalle, pruebas y producción piloto [41]. Ullman por su parte propone una metodología de seis fases: el descubrimiento de productos, planificación de productos, definición de producto, diseño conceptual, desarrollo de productos y soporte de producto [42].

El papel y la visión de los diseñadores, ingenieros, empresas de diseño y los laboratorios de diseño dentro de las universidades han cambiado debido a la complejidad de los nuevos retos de las economías actuales. Hoy en día, las empresas en todo el mundo están buscando una ventaja competitiva mediante la innovación. La innovación es algo más que nuevos productos, se trata de reinventar los procesos de negocio y la creación de mercados totalmente nuevos que satisfagan las necesidades de los clientes [23]. Tom Kelley y su empresa IDEO, propone una metodología de cinco fases para innovar no sólo en el diseño del producto físico, sino los servicios mediante la comprensión, observación, visualización, evaluación y el refinamiento de dicha información [23]. IDEO también propone una metodología para el Diseño Centrado en Humanos con el objetivo de desarrollar un producto, servicio, ambientes, organizaciones y modos de interacción con un profundo conocimiento del usuario [25]. Beckman y Barry proponen un proceso de innovación genérico que se pueden aplicar en: hardware y software, modelos

de negocio y la creación de productos, esta propuesta tiene su base en el modelo de Owen y se mueve entre lo concreto y el mundo abstracto y alternativamente usa el análisis y la síntesis [7].

UCD (*User Center Design*) se enfoca principalmente en observar al usuario. Esta teoría se basa en la tendencia de un diseño participativo, donde interviene el usuario dentro del proceso de desarrollo del producto y durante todo el desarrollo, con una comprensión profunda de sus necesidades, gustos y características. Esta teoría muestra diseños de soluciones significativas e innovadoras que proporcionan un valor más allá del desarrollo de cualquier producto [35].

TRIZ su nombre en ruso lo refiere como Teoría de inventiva para la solución de problemas. Es definida como una teoría de evolución tecnología y como una metodología para el desarrollo efectivo de nuevos sistemas tecnológicos, esto de acuerdo a las herramientas y principios que sean utilizados para la solución de problemas. Esta estructura está basada en la innovación y se puede utilizar como un conjunto de herramientas para una mejor comprensión del problema [38].

La metodología que propone cada uno de los autores son generadas por un enfoque personal, el cual fue desarrollando por cada uno según los retos que superaron, reportándolos a través de las metodologías de diseño, pero esto no significa que sean inflexibles o que no se puedan combinar entre sí.

Los enfoques de cada teoría de diseño también son el resultado de un mercado cambiante y de la percepción que se va teniendo en la evolución de la sociedad [7]. Se puede observar el comportamiento de los productos para crear nuevas formas de diseñar así como nuevos retos a las empresas mismas. Una de las perspectivas que debe tener el diseño competitivo es la innovación. El realizar productos innovadores es una premisa que amplía las posibilidades del éxito del producto. Existen teorías que se basan en este enfoque para realizar el diseño, tal es el caso de TRIZ.

La primera intención de Altshuller al desarrollar TRIZ es para remplazar la incertidumbre del proceso de la prueba y error estructurando un enfoque para la resolución de problemas ingenieriles difíciles. La lógica de su investigación fue la necesidad de resolver rápidamente problemas y poder predecir cambios en el futuro y ofrecer soluciones para esto [38].

TRIZ nace como una teoría, sin embargo, puede ser vista como: una metodología, una técnica o un conjunto de técnicas. Entonces podemos decir que TRIZ es una teoría de evolución tecnología y una metodología para el desarrollo efectivo de nuevos sistemas tecnológicos.

TRIZ en un sentido práctico es una guía para los diseñadores basada en los principios de diseño obtenidos a través del estudio de miles de patentes y que es utilizada para soluciones innovadoras que romper paradigmas y exploran nuevas maneras de resolver problemas.

La forma en TRIZ para resolver problemas es a través de su traducción en situaciones abstractas. Por lo tanto el conjunto de herramientas que compone TRIZ ayuda a definir el problema, e incluso para entenderlo de mejor manera. Varias herramientas se pueden utilizar a lo largo de la metodología TRIZ para definir el producto.

TRIZ puede ser utilizado en distintas fases del diseño considerando también que el diseño es un proceso iterativo. Es muy común utilizarlo en la fase inicial debido a que sus herramientas nos ayudan a

esclarecer el problema y generar los primeros conceptos. Pero las herramientas de TRIZ pueden ser aplicadas también en la etapa de diseño a detalle o diseño robusto para ayudarnos a resolver contradicciones físicas y técnicas que el diseño inicial contenga. Otra de las herramientas que se aplican para evaluar el concepto es el radar de evolución el cual muestra el nivel de desarrollo de dicha invención.

El poder utilizar TRIZ como un conjunto de herramientas es una de las principales ventajas que permite utilizar en conjunto con otras teorías complementándola, observando resultados más satisfactorios y productos más completos.

Algunas oportunidades de integración y enriquecimiento, así como comparaciones de TRIZ y UCD se han presentado anteriormente por Heno y Van Pelt [36]. También TRIZ se ha integrado y combinado con otros métodos y metodologías como Six Sigma, DFMA y QFD [27]. En otros casos, las herramientas de TRIZ específico han sido aplicadas a tareas particulares [16]. Dieter y Schmidt se refieren a TRIZ en la etapa de generación de conceptos.

En este trabajo es la continuación de un desarrollo de una silla de ruedas geriátrica la cual, se obtiene al combinar herramientas de TRIZ y UCD. Estas herramientas nos llevaron a la identificación de necesidades y la creación de un primer modelo el cual presenta un alto grado de innovación. Dicho modelo tiene actualmente un registro de patente en trámite.

En este trabajo se realiza una segunda iteración con la intención de analizar los resultados obtenidos en la primera etapa y resolver conflictos internos en el diseño del producto. Se exploran herramientas de TRIZ buscando una profundizar en dicha Teoría y a su vez obtener un nuevo concepto que contenga los elementos de patente del primer modelo.

## 1.2 OBJETIVO

El propósito de esta tesis es desarrollar a partir de una idea inicial un producto innovador, esto a través de una segunda iteración de diseño que se basa principalmente en profundizar el uso de las herramientas de TRIZ.

El objetivo es desarrollar un nuevo diseño conceptual de una silla de ruedas geriátrica que cumpla con las necesidades del cliente y que a su vez conserve los elementos de patente que contiene el modelo inicial. Este diseño debe ser innovador y pertenecer al siguiente nivel de evolución que el modelo inicial.

Las principales herramientas de TRIZ a desarrollar son: el radar de evolución, los diagramas de función y sustancia-campo y la solución de contradicciones físicas.

## 1.3 ALCANCES DEL PROYECTO

Se espera alcanzar un conocimiento más profundo de las herramientas de TRIZ y aplicarlas al caso práctico del desarrollo de una silla de ruedas geriátrica.

Se pretende mostrar los resultados en un prototipo virtual que muestre las características más importantes del nuevo diseño.

## 1.4 HIPOTESIS

El diseño de productos se puede ver como un ejercicio iterativo el cual nos permite conocer cada vez más las necesidades del usuario y madurar mejor las ideas. La primera propuesta que se obtiene después de identificar las necesidades y requerimientos no será necesariamente la mejor ni la única. De acuerdo con la teoría de diseño UCD es recomendable realizar nuevamente la búsqueda de necesidades en una segunda iteración, la cual, nos puede brindar nueva información o confirmar la obtenida anteriormente. Esto con el fin de minimizar errores desde la etapa de observación buscando en cada iteración, nos acercarnos a la mejor y más completa solución.

La utilización de distintas teorías de diseño es fundamental en la creación de nuevos productos. Cada una de las teorías de diseño tiene un enfoque diferente. Cada una de ellas busca dar al producto una característica distinta, por lo que la utilización de distintas teorías da como resultado el complemento de las mismas.

Este proyecto surge de la complementación de dos teorías de diseño por lo que la fase de generación de necesidades y análisis de los usuarios ya se encuentra ampliamente desarrollada. Este trabajo parte de una segunda etapa de diseño en la cual se utiliza la teoría TRIZ como teoría base, la cual busca generar un modelo que contenga un nivel mayor de innovación.

Se espera que este producto generado a través de la complementación de la teoría TRIZ con UCD cumpla con las necesidades específicas de los usuarios y alcanzar un nivel de desarrollo más amplio. Esto se espera conseguir con la solución de contradicciones físicas que nos lleven al siguiente nivel de desarrollo.

## 1.5 PROCESO DEL DISEÑO

El desarrollo de este trabajo consta de tres etapas principales. En la primera etapa se utilizara la metodología de UCD-TRIZ que es la combinación de ambas teorías. En la segunda etapa se realiza el análisis del diseño conceptual obtenido en la etapa anterior, se utiliza la teoría TRIZ para resolver conflictos internos que posea el diseño inicial y en la tercera etapa se realiza una segunda iteración para generar un nuevo concepto.

A continuación se describirán las etapas principales detallando las herramientas utilizadas.

La primera etapa consta de sub etapas: Observación, Marcos de referencia (Frameworks), Imperativos y Soluciones. En cada una de las sub etapas se utilizan distintas herramientas.

1. Las actividades realizadas en la sub etapa de observación son: un estudio geriátrico, un estudio ergonómico, encuestas de usuarios médicos y familiares y normativas para sillas de ruedas.
2. En los marcos de referencia se utilizaron: personas, escenarios, la ventana de recursos, la ventana de restricciones, el mapa mental, el triangulo de redefinición y el diagrama de función (externo).

3. En la fase de imperativos se utiliza la matriz de las contradicciones.
4. En la fase de soluciones realizamos generación de conceptos, diseño de sistemas y evaluación de conceptos, hasta finalizar con la propuesta de un primer concepto o diseño inicial.

La segunda etapa del desarrollo comienza analizando el primer concepto. Para esto utilizamos TRIZ y el desarrollo del radar de evolución del concepto inicial. Esto con la finalidad de conocer el nivel de desarrollo de nuestro primer modelo.

Posteriormente se analizó el modelo de una forma interna, es decir, analizando la interacción de los elementos y subsistemas que posee la silla de ruedas. Esto lo haremos utilizando TRIZ y su herramienta diagrama de función. Esto nos brindara como resultado la identificación de conflictos internos dándonos la pauta de las oportunidades de mejora.

Posteriormente estos conflictos se modelaran utilizando la herramienta de TRIZ de sustancia campo y se resolverán utilizando soluciones estándares y a través de contradicciones físicas.

Por último en la tercera etapa se realizara la segunda iteración de la metodología UCD-TRIZ donde se desarrolla las siguientes fases: Una generación de nuevos conceptos con ayuda de los resultados obtenidos en el análisis del modelo inicial, la descripción de los modelos realizados y al diseño conceptual final.

## Capítulo 2. Marco teórico

*En este capítulo se describirá los elementos de Teoría que se utilizaran en la primera, segunda y tercera etapa del desarrollo. En la primera etapa se utiliza la metodología UCD-TRIZ. Así mismo se describen las herramientas utilizadas de ambas metodologías, la forma en que se cambiaron.*

*Para la segunda etapa se son descritas las herramientas de TRIZ como son las leyes de la evolución, los diagramas de función y sustancia campo, las contradicciones físicas para el análisis del primer modelo que nos ayudaran a realizar posteriormente la evaluación y el análisis del primer modelo.*

*Por último en la tercera etapa se realiza una segunda iteración de diseño, la cual contendrá desarrollo de diseños conceptuales y prototipado. Para ello es revisado el concepto de prototipado, su clasificación y sus características.*

### 2.1 PRIMERA ETAPA DE DISEÑO: TRIZ-UCD

Esta primera etapa se encentra basada principalmente en la tesis titulada “Aplicación del método TRIZ para el desarrollo de una silla de ruedas geriátrica” [González, Silvia 2009] [19] la cuales es complementada con un desarrollo realizado en el CDMIT [2011] [20].

En este apartado se describe la integración de las teorías de diseño TRIZ y UCD así como las herramientas que se utilizaron.

#### 2.1.1 Una oportunidad para la integración del enfoque de Diseño Centrado en el Usuario y TRIZ

Hoy en día las organizaciones de marketing, el diseño en las empresas deben hacer más, que apelar a un mercado de masa indiferenciada. Deben aprender a ofrecer a los clientes individualidad.

Tal es el caso del enfoque de diseño centrado en el usuario, que muestra la participación de los usuarios en el proceso de desarrollo de productos, el cual profundiza mucho en el entendimiento de las necesidades del usuario. Esta teoría plantea que las necesidades de los usuarios serán el resultado de la base del producto, sin embargo, una comprensión de las necesidades de la gente pueden ser aprovechadas a través de una actividad completa, proporcionando un valor más allá del desarrollo de un producto único.

TRIZ por su parte puede ser aplicado como diversas herramientas que nos ayudan a explorar y entender el problema así como un gran apoyo en la etapa de generación de conceptos, buscando siempre la innovación de productos.

La utilidad de la metodología propuesta se centra en las oportunidades de la integración y el enriquecimiento que existen entre el enfoque de UCD y TRIZ. A lo largo de sus etapas se realizara una complementariedad de sus herramientas. La metodología propuesta combina los niveles concretos y lo

abstractos a lo largo de sus etapas para una mejor toma de decisiones. En particular, la viabilidad de la integración entre UCD y TRIZ de la metodología propuesta se destaca debido a los niveles de abstracción que tienen las dos metodologías.

La metodología propuesta se aplica en un caso de estudio, que es el diseño de una silla de ruedas geriátrica para los países en desarrollo. El diseño de la silla de ruedas incluye las actividades llevadas a cabo a partir de las necesidades del usuario de reunión para la creación, de un prototipo funcional de un concepto de diseño. Las etapas de la metodología se describen en el estudio de casos y se señala las herramientas utilizadas y sus características.

Se presenta como resultado un modelo inicial el cual cumple con los requisitos del cliente. Este concepto integra características innovadoras que son objeto de patente. Esto demuestra que la combinación de las metodologías mencionadas puede realmente ayudar a obtener resultados útiles.

### 2.1.2. UCD-TRIZ Metodología de diseño

La metodología TRIZ UCD-se basa en el enfoque de UCD y el conjunto de innovadoras herramientas de solución de problemas de TRIZ y el proceso de innovación genérico propuesto por Barry y Beckman y el modelo de Owens [7]. Mediante el análisis de los niveles abstractos y concretos, se propone de un modelo gráfico de oportunidades de la integración (Fig. 2.1). Este modelo grafico es generado sobre la base de la experiencia en la aplicación de UCD y TRIZ en varios estudios de casos. La metodología TRIZ-UCD se divide en cuatro etapas con el fin de clarificar los objetivos y las metas alcanzadas. Las etapas son las siguientes:

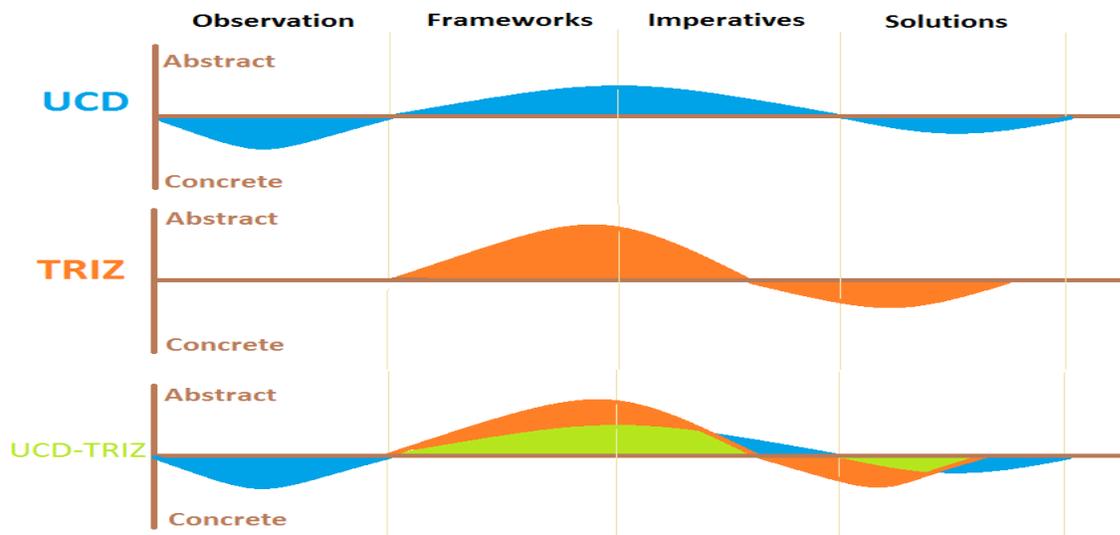


Figura 2.1 Puntos de intersección entre USD y TRIZ (Desarrollo CDMIT 2011)

#### 2.1.2.1. Observación

Esta etapa se desarrolla de una forma directa con clientes y usuarios lo cual brinda la identificación de necesidades. Aquí tenemos una oportunidad para entender cómo funciona el producto o servicio que se está usando, y cómo sus beneficios se derivan del contexto de uso. A través de la investigación

observacional y etnográfica, se trata de comprender no sólo el uso y necesidades fundamentales de usabilidad, sino también encontrar un significado a esto [8].

### **2.1.2.2. Marco de referencia**

Para asegurarse de que el verdadero problema está siendo resuelto. En esta etapa los objetivos se basan en la identificación de patrones particulares, así como las oportunidades de innovación. El objetivo final es redefinir la forma en que los usuarios pueden hacer frente al problema de una manera diferente. Las herramientas utilizadas en esta etapa son las siguientes:

- **Personas:** perfiles de personajes virtuales generadas a través de observar un grupo de usuarios los cuales destacan características de los clientes reales.
- **Escenarios:** Posibles ambientes presentes y futuros donde se desenvolverá el producto mediante la iteración con el usuario y el ambiente.
- **La ventana de recursos:** herramienta de TRIZ, que ayuda a visualizar los recursos existentes en el espacio-tiempo.
- **La ventana de restricciones:** TRIZ utiliza para visualizar las restricciones espacio-temporales que deben ser considerados durante el proceso de diseño.
- **Los mapas mentales:** una herramienta flexible para organizar la información recogida a través de investigación con el fin de analizar.
- **Triángulo de redefinición:** Esta herramienta de TRIZ ayuda a maximizar o minimizar el problema, puntualizando o generalizando los puntos de valor o la comprensión del problema.
- **Diagrama de función:** Esta herramienta de TRIZ nos ayuda a visualizar cómo y cuando los elementos del sistema se involucran calificando su interacción identificando posibles contradicciones.

### **2.1.2.3. Imperativos**

En esta etapa se identifican las opciones de valor que deben ser cumplidas por el nuevo concepto, las cuales brindarán a los clientes beneficios tangibles que se derivan de la solución final del producto. Una de las herramientas utilizadas en esta etapa es la matriz de las contradicciones.

- **Las contradicciones de la matriz:** TRIZ ofrece una guía a los diseñadores a través de principios de inventiva que resuelven contradicciones técnicas. Recordemos que una contradicción técnica se produce cuando una mejora en un parámetro de ingeniería deseada al sistema, da lugar al deterioro de los otros parámetros.

### **2.1.2.4. Soluciones**

Por último tenemos la etapa de los imperativos. El objetivo final de esta etapa es generar, seleccionar y evaluar los conceptos finales con el fin de recoger la opinión más óptima para usuarios finales. Esta etapa incluye: (a) la generación de conceptos, (b) selección de conceptos y (c) la evaluación de conceptos.

## 2.2 SEGUNDA ETAPA DE DISEÑO: Evaluación

En esta sección se realizara la evaluación del modelo que se obtiene como resultado en la primera etapa. Para ello se utilizan diversas herramientas de TRIZ.

En esta sección se describe la teoría de evolución que plantea Altshuller en su teoría TRIZ en donde el menciona los patrones de evolución de sistemas tecnológicos. Estos son desarrollados a través de las leyes de evolución. La información teórica fue obtenida de los autores Fey& Rivin [2007] [38] y Coronado, Oropeza y Rico. [2005][13] y de la tesis de maestría de Aguayo H. [1997][3].

Una vez conocido el nivel de evolución de la invención se realizara un análisis interno del producto donde realizamos un análisis de niveles de evolución, así mismo una descripción de los sistemas tecnológicos, las contradicciones físicas y técnicas y la elaboración de los diagramas de función y sustancia-campo tal como los plantean Fey& Rivin [2007][38], Coronado, Oropeza y Rico. [2005][13], Acosta Flores [2008][1], Li Haijun [2009], Darrell Mann [1999][10] así como la tesis de maestría de Ing. Omar Yuren [2010][43].

### 2.2.1 TEORIA DE EVOLUCION

La teoría de inventiva para resolver problemas (TRIZ) está basada en la premisa de *“La evolución de los sistemas tecnológicos no es aleatoria, sino que, es gobernada por varias leyes”* [38] Esta premisa fue establecida por Altshuller al haber identificado los patrones que seguían los desarrollos tecnológicos. Entendiendo por sistema tecnológico *“cualquier cosa que se emplea para llevar a cabo una tarea específica”* [13].

Esta identificación de los pasos de evolución de la tecnología ayuda a realizar mejores y más rápidos diseños, optimizando el tiempo y los recursos, en comparación con los realizados por medio de la búsqueda aleatoria de soluciones.

Se puede realizar una analogía entre el uso de las leyes de evolución y las leyes de la mecánica. En el movimiento de un objeto observamos que *“Si podemos encontrar la posición de un objeto en movimiento para un cierto momento en el tiempo, la posición futura de este puede ser encontrada por la solución de las correspondientes ecuaciones de movimiento”*. Así de igual manera en las leyes de evolución, en las cuales se describe la curva de la vida de la evolución en el espacio. Si la corriente de la configuración es dada, la configuración futura puede ser realmente calculada [38].

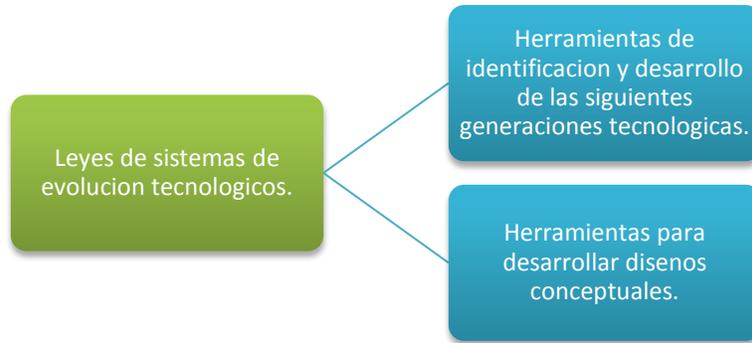


Figura 2.2 (Traducida de Innovation on Demand, Victor Fey and Rivin, Cambridge University Press)

La primera intención de Altshuller al desarrollar la teoría TRIZ es para remplazar la incertidumbre del proceso de la prueba y error estructurando un enfoque para la resolución de problemas ingenieriles difíciles. La lógica de su investigación de desarrollar una metodología fue la necesidad de resolver rápidamente problemas y poder predecir cambios en el futuro y ofrecer soluciones para esto.

Entonces podemos decir que TRIZ es una teoría de evolución tecnología y una metodología para el desarrollo efectivo de nuevos sistemas tecnológicos (Figura 2.2) [38]. Por lo que estos dos subsistemas de TRIZ se generan a partir de las leyes de evolución pueden describirse como:

- 1) “Un conjunto de métodos para desarrollar diseños conceptuales de los sistemas”.
- 2) “Un conjunto de herramientas para la identificación y desarrollo de las nuevas generaciones tecnológicas”. [38]

### 2.2.1.1. Las leyes básicas en la evolución

Las leyes de la evolución son definidas por muchos autores como 8 básicas o principales, pero a través del tiempo de han añadido algunas mas a la lista, nosotros consideraremos 9:

1. Ley de integración de las partes de un sistema. Este principio se refiere a la unión de cuatro partes básicas (subsistemas) en un solo sistema que se reúnen con el objetivo de realizar alguna tarea determinada. Las cuatro partes a las que se refiere son: Un motor o fuente de energía, un órgano de trabajo que lleve a cabo la función del sistema, un órgano de transmisión que conduzca la energía del motor al órgano de trabajo y un órgano de control a través del cual se controle el sistema.
2. Ley de la conducción de energía en un sistema. Este principio plantea que los sistemas tecnológicos evolucionan incrementando la eficiencia en la transmisión de energía de la maquina al órgano de trabajo. Esta transferencia puede ser a través de una substancia (flecha, engrane, etc.), a través de un campo (magnético, térmico, etc.) o a través de ambos (substancia-campo).

3. Ley de armonización de ritmos. Indica que un sistema tecnológico evoluciona al aumentar la armonía entre los cuatro órganos de trabajo que lo integran, lo cual incluye, la armonía de movimiento, de frecuencias, de vibraciones y ritmos en general del sistema tecnológico.
4. Ley de incremento de idealidad. La idealidad se entiende como la evolución que sufren los sistemas tecnológicos hacia su mejor desempeño o mejora continua la cual se puede determinar con la formula:  $I=U_i/H_j$  ( $U_i$ =coeficiente de la suma de los efectos útiles del sistema) ( $H_i$ = la suma de los efectos perjudiciales).
5. Ley del desarrollo desfasado de los elementos del sistema. Esta ley menciona que a medida que un sistema tecnológico es más complejo, existe mayor grado de desfasamiento en la evolución de los subsistemas que lo integran.
6. Ley de la transición a un supersistema. Este principio se refiere a que cuando un sistema tecnológico llega a su máximo nivel de desarrollo o de utilidad, puede estar sujeto a un salto tecnológico que lo convierta en un subsistema de un sistema de mayor jerarquía que él.
7. Ley de la transición de macronivel al micronivel. Esta ley establece que el desarrollo de los órganos de trabajo van primero al marco y luego al micronivel. La transición final de los sistemas es cuando el control se hace en el micronivel y mediante el uso de campos, con un decremento en el involucramiento humano.
8. Ley de incremento dinámico. Este principio trata del aumento del grado de movilidad de alguna de las partes de un sistema tecnológico con objeto de hacerlo más flexible y adaptable a los requerimientos para los cuales fue diseñado.
9. Ley del incremento de involucramiento entre substancia-campo. Este principio plantea el aumento en la interacción de las substancias y el campo (modelo substancia-campo) en un sistema tecnológico.

Algunos autores han incluido también otras leyes de evolución como “La ley de mayor interacción” y “La ley de inercia psicológica”, pero los mencionados anteriormente son los más referidos por los autores. [13]

Los sistemas tecnológicos se encuentran en un estado continuo de cambio para satisfacer las nuevas necesidades que la sociedad requiere y para sobrevivir en un mercado global cambiante. Esta evolución es desarrollada a través de las distintas etapas, las cuales se encuentran ligadas de una manera directa y que al finalizar, dan comienzo a la siguiente. A lo largo de estas etapas los sistemas tecnológicos son sometidos a numerosos desarrollos, los cuales, a medida que incrementan el desarrollo tecnológico llevan a los sistemas a la siguiente etapa.

### 2.2.1.2. *Etapas de evolución de los sistemas tecnológicos*

Estas etapas se refieren a los cambios que sufren los sistemas tecnológicos a lo largo de toda su vida útil, mostrando las características de las etapas del desarrollo de un producto.

-  “Infancia. En esta etapa nacen los sistemas tecnológicos, son muy ineficientes y se encuentran muy alejados de la solución ideal”.
-  “Crecimiento acelerado. En esta etapa el sistema tecnológico ya ha sido mejorado gracias a los avances tecnológicos y los descubrimientos científicos”.
-  “Madurez. En esta etapa los sistemas tecnológicos logran una estabilidad, los cambios tecnológicos son mínimos y relativamente insignificantes”.
-  “Vejez. Esta es la etapa final de vida de los sistemas tecnológicos, es decir, se vuelven obsoletos al no poder ser mejorados significativamente” [13].

Los sistemas tecnológicos son constantemente presionados directamente por la sociedad a través de las fuerzas del mercado, se buscan mejoras en el desempeño del sistema esperando requerir menos recursos para su manufactura o dentro del sistema al combinar varias funciones para un mejor rendimiento. Pero estos cambios usualmente ocurren en las invenciones. Cientos de personas realizan grandes y pequeñas invenciones cada año pero la fuente de la creatividad no es algo regulado. Los inventores usan métodos independientes en su creatividad y frecuentemente no son conscientes de los desarrollos de otros inventores que trabajan en los mismos desarrollos tecnológicos y aun así sus esfuerzos son dirigidos hacia la misma dirección. Pero no todos los desarrollos tecnológicos son comúnmente aceptados por la sociedad. Este rechazo puede ser explicado, en cierta medida, por la falta de capital y la apatía psicológica [13].

Las leyes de evolución de los sistemas describen importantes, constantes y repetidas interacciones entre elementos del sistema tecnológico y sus entornos durante el proceso de su evolución.

### 2.2.1.3. *Las leyes de evolución de los sistemas tecnológicos*

Estas leyes fueron formuladas después del análisis de cientos de patentes desarrolladas a lo largo de la historia de numerosos sistemas tecnológicos reales que se encuentran incluso en el mercado. Este proceso incluye la selección de avances de invención y su análisis para identificar las fases de evolución.

No todas las leyes son universales y pueden ser aplicadas a todas las etapas de la evolución de los sistemas tecnológicos. Pero algunas como “La ley del incremento de la idealidad”, “Ley de la transición a un supersistema”, “Ley del desarrollo desfasado de los elementos del sistema” y “Ley de incremento dinámico” gobiernan la evolución de los sistemas tecnológicos en todas las etapas del desarrollo tecnológico en todas las etapas de la historia [38].

Frecuentemente los factores no tecnológicos como la presión económica, los altos costos en la tecnología, los procesos de manufactura existentes, intereses políticos, inercia psicológica, etc. impiden la utilización y son los causantes del retraso en el desarrollo de la siguiente generación de los nuevos productos o procesos.

Las desviaciones de la trayectoria evolutiva resulta generalmente, en un desperdicio de valiosos recursos y perdiendo competitividad en el mercado.

Todas las leyes de la evolución definen en general la dirección para el desarrollo de la siguiente generación de los sistemas. El poder predictivo de algunas leyes es significativamente reforzadas y asociada con las líneas de evolución en las específicas etapas de la evolución de un sistema tecnológico general [38].

Una ley de evolución se relaciona con sus líneas de evolución como un radar que muestra la ruta. Las primeras ayudan a determinar la dirección del destino mientras que las segundas muestran una ruta específica que se puede recorrer para llegar al destino.

- (a) Evolución en etapas: Un sistema tecnológico evoluciona a través de los periodos de concepción, nacimiento, infancia, adolescencia, madurez y decline.
- (b) Evolución hacia el incremento de Idealidad: Los sistemas tecnológicos evolucionan hacia la Idealidad incrementada.
- (c) Desarrollo no uniforme de los elementos del sistema: Los subsistemas de los sistemas tecnológicos no evolucionan uniformemente, lo que resulta en contradicciones.
- (d) Evolución hacia el incremento de dinamismo y controlabilidad: Los sistemas tecnológicos evolucionan hacia el dinamismo y controlabilidad incrementada.
- (e) Incremento en la complejidad y luego la simplificación: Los sistemas tecnológicos evolucionan primero hacia la complejidad, y luego hacia la simplificación.
- (f) Evolución primero con emparejamiento y luego con separación de componentes: Los sistemas tecnológicos evolucionan con sus componentes uniéndose emparejadamente y luego separándose entre sí.
- (g) Evolución hacia el micronivel y el incremento en el uso de campos: Los sistemas tecnológicos evolucionan hacia el micronivel y el uso incrementado de campos
- (h) Evolución hacia el decremento en el involucramiento humano: Los sistemas tecnológicos evolucionan hacia el decremento en el involucramiento humano [3].

Estas leyes nos ayudan a realizar el radar de evolución de nuestro producto, para conocer el nivel de innovación, Altshuller define una métrica donde clasifica las invenciones según el desarrollo obtenido.

### 2.2.2. NIVELES DE INNOVACIÓN

Altshuller desarrolló una clasificación para diferenciar los niveles de innovación entre los sistemas tecnológicos. Estos niveles de innovación permiten clasificar las soluciones en base al tipo de conocimiento necesitado para obtener la solución.

Nivel 1. Una simple mejora del sistema tecnológico. También llamado “*standard*”, este se refiere a una solución simple de un problema técnico que no requiere de una gran sofisticación y que puede ser resuelto por cualquier persona cercana al problema. La solución existe dentro de un área perfectamente bien definida de una profesión.

Nivel 2. Una invención que incluye la resolución de una contradicción técnica. Se define también como “mejora” y por lo tanto requiere de un pensamiento más avanzado del nivel anterior. El problema y su solución se ubica dentro del entorno de la industria y se resuelve mediante conceptos y principios actuales, perfectamente definidos.

Nivel 3. Una mejora que contiene la solución de una contradicción física. En este caso habla de una “invención” que resuelve un problema más complejo que en los niveles anteriores. El problema y su solución se circunscriben al área de una ciencia determinada como la química, física, biología, etc.

Nivel 4. Una nueva tecnología es aplicada conteniendo la resolución de contradicciones las cuales mejoran la aproximación al resultado final ideal. En este caso se habla de “un cambio de paradigma” mediante el cual se crea todo un nuevo sistema o proceso tecnológico. El problema se ubica dentro de un entorno de la ciencia y su solución fuera de ese entorno.

Nivel 5. Descubrimiento de un nuevo fenómeno o sustancia. Es llamado “descubrimiento” y es referido a un nuevo conocimiento para el desarrollo de nueva tecnología. Para resolver el problema será necesario hacer nuevos descubrimientos científicos y en base a ellos resolver el problema [13].

Estos niveles de innovación nos serán muy útiles para evaluar las soluciones generadas y conocer el nivel de innovación alcanzado en el nuevo modelo.

Ya que conocemos el nivel de innovación de nuestra invención, podemos comenzar a realizar una evaluación interna, pero antes, tenemos que definir que es un sistema tecnológico, una función, que son las contradicciones físicas y técnicas y que son los diagramas de función y sustancia-campo. Esto se realiza en los siguientes apartados.

### 2.2.3. SISTEMAS TECNOLÓGICOS

En este trabajo la silla de ruedas será vista como nuestro sistema tecnológico, por lo que antes de comenzar a analizar las herramientas de TRIZ haremos referencia a algunas definiciones que nos ayuden a introducirnos mejor a los términos utilizados por TRIZ.

Un sistema se refiere a todos los entes existentes– biológicos, sociales, técnicos y otros. Esto significa que hay varios niveles de descomposición. Una entidad se compone de partes que interactúan y cada una de esas partes a su vez está constituida de otras más pequeñas. Esto se lleva hasta el nivel de partícula elemental que puede alcanzar un límite determinado de acuerdo a la extensión de los conocimientos científicos actuales [38]. Un sistema es generalmente considerado una conglomeración de objetos que realiza una función específica [42]

Cada sistema tecnológico está diseñado y constituido para realizar una función. Estos son ordenados por jerarquías, las cuales a su vez contienen niveles subordinados. Las propiedades de cada sistema son influenciadas por las características del sistema superior e inferior. Muchos sistemas entonces originan sistemas múltiples, los cuales tienen elementos completamente independientes o libremente conectados. La eliminación de los elementos múltiples tiene poco o nulo efecto en los otros elementos o en toda la estructura [38].

Un sistema tecnológico surge cuando se comienzan a hacer conexiones funcionales y que la unión de estos elementos desarrolla un ente. La migración de múltiples sistemas a otro sistema es el principal vector de evolución tecnológica [38].

Un sistema tiene ciertas características que no son equivalentes a la simple suma de los elementos que la constituyen (de otra manera estos elementos podrían no ser sugeridos para constituir el sistema). Algunos filósofos han declarado esto a lo largo del tiempo: Aristóteles declaró que el todo es mayor a la suma de sus partes. Por lo tanto la principal ventaja de un sistema tecnológico es el efecto que generan todas las partes del sistema [38].

En algunas ocasiones el sistema cuenta con propiedades simultáneas que son realmente opuestas y el conjunto de ellas lo hace mejor y da un mayor valor al sistema.

Contando ya con las definiciones más relevantes de los sistemas tecnológicos, comenzaremos a analizar los diagramas de funciones, así como las características que poseen las funciones.

### 2.2.4. DIAGRAMA DE FUNCIÓN

Los diagramas de función están contenido de funcione, por lo que antes de hablar de ellos daremos la definición de funciones.

### 2.2.4.1. Funciones

Los sistemas tecnológicos llevan a cabo dos funciones (i.e. un producto o servicio). Una función contiene 2 componentes “un objeto y una herramienta”. El objeto debe ser controlado, movido, magnetizado, dividido, pintado, detectado, medido, etc. Un objeto solo no puede controlarse así mismo, este necesita otro componente, una herramienta para ejecutar la operación requerida [13]. Una descripción de una función incluye la acción producida por la herramienta hacia el objeto (acción reciproca). Para describir objetos y herramientas utilizamos sustantivo y para las acciones usamos verbos [32]. Las funciones pueden ser descritas de la siguiente forma:

- *Una función contiene una acción física directa de la herramienta sobre el objeto.*
- *Un objeto es un componente a ser controlado.*
- *Una herramienta es un componente que controla físicamente los parámetros de un objeto [13].*

En la interacción de un par de herramienta-objeto puede conectarse directamente con otro par. La descripción de la función puede sonar intuitivo y varias herramientas pueden utilizarse para realizar la misma acción [13].

Un sistema tecnológico usualmente realiza una o más funciones primarias y una o más funciones secundarias. La función primaria es usualmente soportada por una o más secundarias. Las herramientas pueden ser categorizadas en: herramientas principales y herramientas secundarias [13].

A su vez, las herramientas secundarias pueden ser clasificadas como de apoyo, de mejora, de medición y de corrección.

- *Herramientas de apoyo: Apoyan el desempeño de la función primaria.*
- *Herramientas de mejora: Buscan potenciar o modificar el comportamiento de las herramientas principales.*
- *Herramientas de medición: Medir o detectar los parámetros de los componentes del sistema.*
- *Herramientas de corrección: Mitigan o eliminan los efectos indeseables del sistema.[13]*

### Acciones de las funciones

Las acciones son realizadas por las funciones y pueden ser vistas como útiles o dañinas. Existe una nomenclatura, la cual es subjetiva porque la misma acción puede ser considerada positiva o negativa, vista desde distintos puntos de vista (Figura 2.3).

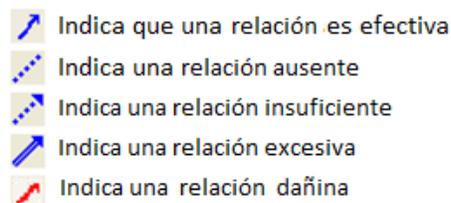


Figura 2.3 Indicadores del nivel de desempeño de las funciones (Obtenido de CREAX Innovation Suite)

#### 2.2.4.2. *Conflicto de sistemas*

Las funciones están constituidas dentro de los sistemas. Cuando un sistema tecnológico tiene conflictos internos en sus subsistemas, es necesario analizar las funciones que lo constituyen.

Al mejorar el atributo de un sistema puede llevarnos al deterioro de otro atributo (fuerza-peso, combustible-potencia, espacio-productividad) y estos son llamados conflictos del sistema [38].

Encontramos un conflicto en un sistema cuando:

- *Una acción útil causa simultáneamente un efecto dañino*
- *La introducción (o intensificación) de una acción útil a la alimentación (alivio) de una acción dañina causa una inadecuada o una inaceptable complicación de una de las partes del sistema [1].*

La solución de un problema asociado con un conflicto en el sistema puede ser un intento por encontrar el equilibrio entre las contradicciones demandantes o para satisfacer cada una de ellas.

Las ventajas y desventajas de no eliminar los conflictos en los sistemas es que se busca generalmente mitigar estos, pero se intenta conservar el efecto dañino o no deseado de la acción que produce el efecto al sistema. Los conflictos que los requerimientos poseen, se van guardando dentro del sistema y con el tiempo el funcionamiento se vuelve más incompatible. Con el tiempo vienen avances y mejoras en el rendimiento del sistema y estos cambios son imposibles si no se eliminan todos los conflictos del sistema [13].

Desde el punto de vista de TRIZ, el realizar buenas invenciones significa resolver un conflicto en el sistema sin comprometer la función del mismo.

La aparición de un conflicto en el sistema está profundamente arraigada en la jerarquía natural de los sistemas tecnológicos. Esta estructura jerárquica determina totalmente una estrategia de desarrollo de los sistemas.

#### 2.2.4.3. *Diagramas de los conflictos de sistemas*

Los conflictos de los sistemas pueden ser presentados gráficamente indicando las acciones útiles y las dañinas. Estas gráficas son llamadas diagramas de conflicto de sistemas. Los componentes que participan en los conflictos del sistema son llamados “conflictos de los componentes”.

De vez en cuando un componente participa en dos conflictos del sistema, esto puede crear una cadena de conflictos en el sistema. Como una regla general los conflictos de los sistemas en la cadena tienen un orden: i.e. el segundo sistema en conflicto es la causa del primero. Las cadenas de sistemas en conflicto son usualmente descompuestas en conflictos de sistemas más pequeños y cada uno de estos es abordado por separado.

#### 2.2.4.4. *Resolución de conflictos*

Considerando un diagrama de un típico conflicto de un sistema, significa eliminar la acción dañina mientras que conserva la útil. La eliminación de la acción dañina es equivalente a la introducción de otra útil. Se proponen 3 formas de resolución de los conflictos de sistemas:

1. “Eliminación de alguno de los dos componentes (objeto o herramienta) usando el concepto de idealidad”.
2. “Cambio de componentes en conflicto (i.e. las herramientas o los objetos) de tal manera que desaparezca la acción dañina”.
3. “Introducir un componente espacial (herramienta) con el propósito de eliminar o neutralizar la acción dañina” [38].

Ahora bien los modelos de funciones están constituidos por la representación gráfica de los sistemas y las funciones. Estos diagramas no pueden llegar a mostrar cómo interactúan funciones y sistemas en un campo físico.

#### 2.2.4.5. *Definición de un modelo funcional*

En cada relación es necesario clasificar la acción en condiciones útiles o dañinas, acciones insuficientes, satisfactorias y excesivas, dirección de la acción (un solo sentido o ambos sentidos) y basadas en el tiempo (continuas, periódicas, etc.). Es muy importante definir la importancia de los tipos de funciones y definir los rangos de función.

En términos de TRIZ las funciones son categorizadas en: básicas, suplementarias, auxiliares. De igual manera los rangos de las funciones pueden ser: insuficientes, dañinas o malas, satisfactorias o excesivas [1].

### 2.2.5. DIAGRAMA SUBSTANCIA CAMPO

La rama de TRIZ que estudia las estructuras de las sustancias, los campos y su transformación es llamado análisis de sustancia-campo.

#### 2.2.5.1. *Modelos sustancia-campo*

Un modelo sustancia-campo está contenido de la interacción entre una herramienta y un objeto, este es acompañada por la generación, absorción, o transformación de energía. En otras palabras, es el efecto resultante de la acción entre la sustancia del sistema. Así, el objeto, la herramienta y la energía de esta interacción son necesarios y suficientes para construir el más básico diagrama sustancia-campo que desarrolle una sola función [38].

Para el desempeño eficaz de una función se requiere de la presencia de la interacción de los tres elementos. En este modelo cada sistema se crea para que ejecute algunas funciones. La función deseada es la salida de un objeto o sustancia (S1), causada por otro objeto o herramienta (S2) que interactúan con la ayuda de un campo F (algún tipo de energía) [38].

Una sustancia es cualquier cosa tangible que tenga una estructura definida, que sea posible detectar con los cinco sentidos o con instrumentos adecuados, desde algo tan tenue como el aire hasta una sólida viga de acero [43].

Frecuentemente una sustancia es un sistema tecnológico de varios grados de complejidad.

El término campo se refiere a la energía necesaria para la integración entre dos sustancias. Los modelos físicos reconocen los siguientes campos fundamentales (fuerzas):

1. *Gravitatorio (acción entre dos o más piezas materiales).*
2. *Electromagnético (causas eléctricas y efectos magnético que une átomos y moléculas).*
3. *Campo nuclear de interacciones débiles.*
4. *Campo nuclear de interacciones fuertes.*
5. *Campo mecánico.*
6. *Campo térmico.*
7. *Campo óptico.*
8. *Campo acústico. [13]*

Esta clasificación no es suficiente para el diseño de soluciones conceptuales de problemas. El significado de los campos para TRIZ es muy amplio y permite convenientemente distinguir entre varias interacciones. TRIZ trabaja con campos de la ingeniería, estos son siempre generados por sustancias que se manifiestan en ellos mismos a través de muchos grupos físicos y fenómenos químicos.

Para definir un sistema tecnológico son necesarios y suficientes dos sustancias y un campo. Existen cuatro modelos básicos (Figura 2.4):

- *Un sistema incompleto (requiere complementarlo o transformarlo en un nuevo sistema).*
- *Un sistema completo pero inefectivo (demanda mejoras para crear el efecto deseado).*
- *Un efecto completo dañino (es necesario eliminar el efecto negativo).*
- *Un sistema completo efectivo. [1]*
- *Sistema completo excesivo.*

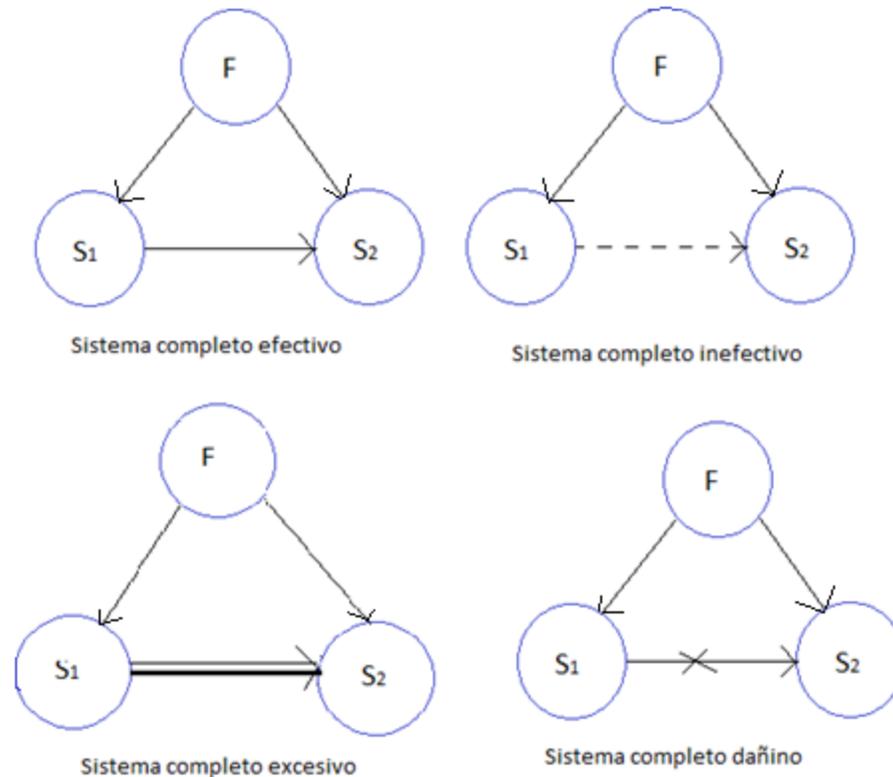


Figura 2.4 Diagramas de sistemas (Obtenido y modificado de Acosta, Flores [2008])

Si falta alguno de los elementos esenciales del sistema falta, el análisis de sustancia campo deberá completarse. Si el sistema se encuentra completo se pueden modificar los elementos para obtener un funcionamiento óptimo.

Una sustancia puede generar un campo o un campo puede ser aplicado a una sustancia o una sustancia puede transformar un campo en otro. Las sustancias interactúan entre sí a través del campo. Estas interacciones tienen que ser mostradas con una descripción muy precisa en el diagrama sustancia-campo. “El campo F1 actúa sobre sustancia S2, esta es transformada por el campo F2 el cual actúa en la sustancia S1. El campo F2 puede ser el mismo o diferente que F1 [1]”.

El más importante y usado modelo de solución se realiza con la transformación realizada a partir de la entrada de un campo de otra naturaleza (un campo térmico introduce un campo mecánico, un campo mecánico introduce un campo magnético, etc.)

En algunos casos, no es fácil de reconocer la herramienta S2 en un modelo de sustancia-campo, esto usualmente sucede cuando S2 se encuentra dentro del objeto S1, es decir, S1 realiza la acción a un nivel de partícula en el objeto (micro nivel). [38]

### 2.2.5.2. Modelos físicos de los diagramas sustancia-campo

El diagrama sustancia-campo es el lenguaje físico que permite un conveniente modelo de interacciones físicas (efectos físicos) en sistemas tecnológicos. El modelo general de un efecto físico se muestra en la

figura. Aquí se introduce una sustancia (o un grupo de dos o más sustancias) esta realiza la transformación dentro del campo  $F_{\text{entrada}}$  (entrada) y campo  $F_{\text{salida}}$  (salida). La sustancia puede entonces cambiar este parámetro  $P$  (forma, dimensión, coeficiente de fricción, permeabilidad magnética, índice de refracción, densidad, posición en el espacio, etc.) de la acción de entrada de este campo  $F$  [38].

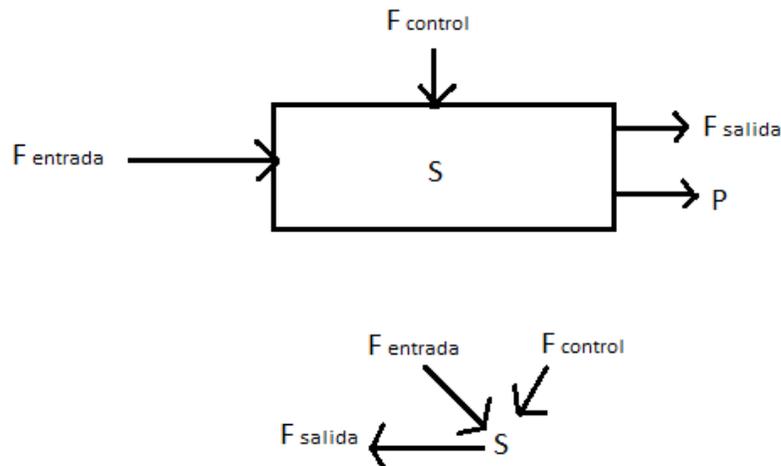


Figura 2.5 Modelo sustancia-campo general de un efecto físico (Traducido de Victor Frey [2007])

El modelo incluye un campo de control  $F_{\text{control}}$  (control) este puede modular (incrementar, suprimir, apagar, encender, etc.) la acción de la entrada del campo  $F_{\text{entrada}}$ .

El modelo de fenómenos físicos es muy efectivo cuando es usado para la identificación de un nuevo sistema tecnológico.

### 2.2.5.3. Creación del modelo sustancia-campo

El problema de innovación se modela como un triángulo que ilustra la relación existente entre las sustancias y el campo. Los sistemas complejos pueden modelarse conectando varias triadas. Para realizar el modelo sustancia-campo se:

1. Identificar los elementos. El campo está actuando sobre sustancias o está integrado como sistema con la sustancia2.
2. Construir la triada.

Las relaciones entre los modelos sustancia-campo se ilustran de la siguiente manera [38]:

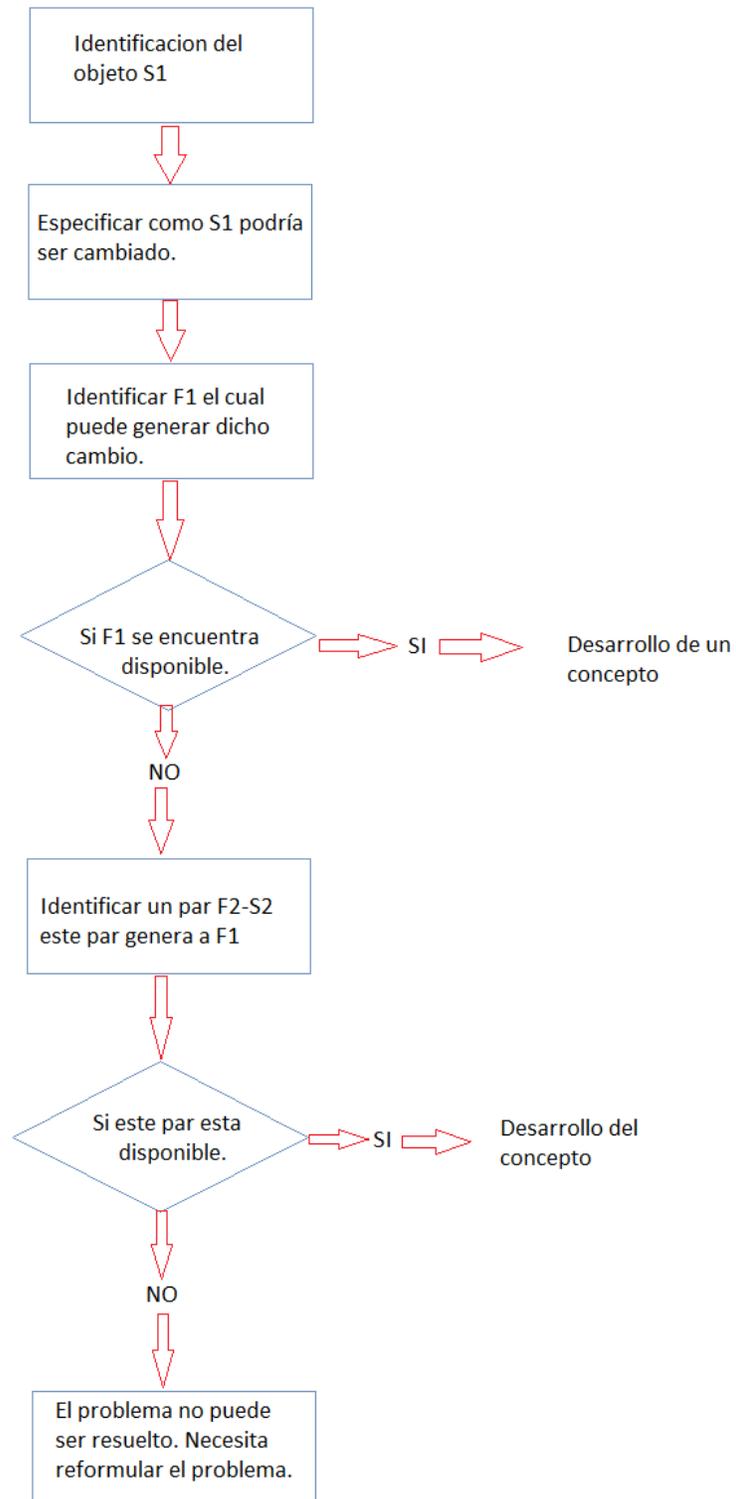


Figura 4.3 Diagrama de flujo para realizar análisis de substancia-campo. (Traducido de Victor Fey, [2007])

#### 2.2.5.4. *Transformaciones típicas de diagramas de sustancia-campo*

Numerosos cambios en la tecnología de sistemas pueden ser descritos por varios tipos de modelos sustancia-campo y sus combinaciones. Algunos modelos se muestran en la tabla.

Un sistema, el cual necesita una cierta mejora es modelado con un diagrama sustancia-campo y puede ser usado para mejorar el sistema. Las transformaciones que normalmente sufren los diagramas sustancia-campo son llamadas “aproximaciones estándar para resolver problemas” o simplemente diagramas estándares. El uso de estos diagramas estándares (generalmente análisis de sustancia-campo de alguna situación comenzando con la abstracción en un inicial modelo sustancia-campo en una libre descripción del problema o situación (dependiendo del entendimiento del problema, puede ser más complicado que un modelo básico). Para su realización es necesario tener en cuenta la identificación de:

- ◆ Función F
- ◆ Objeto S1
- ◆ Herramienta S2
- ◆ Interacciones entre S1, S2 y F.

Después de identificar el modelo podemos construirlo, podemos asociarlo con los básicos diagramas sustancia-campo. Estos modelos pueden ser relacionados a uno o más diagramas estándares dependiendo de la perspectiva. Estos podrían ser seguidos por determinación de estructuras físicas y por el desarrollo de los respectivos diseños conceptuales [38]

Los conflictos que se generan en los diagramas de función y sustancia campo suelen ser contradicciones técnicas o físicas. Para resolverlas existen otras herramientas de TRIZ. A continuación analizaremos más a fondo estas contradicciones, así como su forma de solución.

#### 2.2.6. CONTRADICCIONES FÍSICAS Y TÉCNICAS

Altshuller plantea que la contradicción en un sistema tecnológico es una condición que surge cuando entra en conflicto un subsistema con otro o cuando las propiedades de un subsistema entran en conflicto con ellas mismas, por lo que se hace necesario eliminar tales conflictos mediante una solución novedosa [43].

##### 2.2.6.1. *Contradicciones Técnicas*

Las contradicciones técnicas en un sistema tecnológico ayudan a entender mejor la raíz del problema y encontrar la solución más rápida y exacta. Estas aparecen cuando existen conflictos entre las características de un sistema. Al mejorar un parámetro del sistema lleva a empeorar otro parámetro del mismo sistema.

Este tipo de contradicciones surge cuando se demandan funciones completamente diferentes o incompatibles de los subsistemas de un sistema tecnológico.

Cuando se comienza a pensar en una solución para resolver estos conflictos técnicos se usan simples y comprometedoras aproximaciones que no resuelven el problema del todo. La razón para esta conclusión es una propiedad de nuestra mente de suponer la lógica simple acerca del conflicto de la situación. Entonces un resultado de esta situación paradójica es que se cuenta con todo el conocimiento para resolver el problema pero no se sabe cómo aplicar estos conocimientos. En muchos casos, el pensamiento lógico usual comienza a ser improductivo, por lo que existe la necesidad de utilizar otro proceso de pensamiento lógico para resolver la contradicción.

TRIZ propone la resolución de contradicciones a través de:

- Los 40 principios de solución
- Transformación de las contradicciones técnicas a contradicciones físicas

Las contradicciones técnicas son relacionadas a las propiedades del conjunto técnico del sistema pero las contradicciones físicas se relacionan con características físicas de un elemento del sistema.

Las contradicciones aparecen en el proceso cuando realizamos mejoras a los requerimientos técnicos de un sistema existente.

En la base de cada contradicción técnica se puede encontrar una reacción física para dicha contradicción. Casi todas las contradicciones técnicas se pueden transformar en correspondientes contradicciones físicas. Al realizar dicha transformación se define un problema físico específico el cual puede ser resuelto con la aplicación de principios “Físicos” que derivan de la química, la física, efectos geométricos, junto con otros fenómenos [38].

### **2.2.6.2. Contradicciones físicas**

Las contradicciones físicas son conflictos que incluyen dos requerimientos físicos que son mutuamente excluyentes en un elemento del sistema tecnológico. Se generan cuando una característica “X” de un sistema tecnológico se requiere cambiar, y ese cambio, por alguna otra razón, resulta negativo, entrando dicha característica en conflicto consigo misma.

Cuando tratas de resolver un conflicto de un sistema, uno de estos componentes en conflicto frecuentemente puede ser cambiado o eliminado:

1. Proporcionar la acción útil, sin generar los efectos nocivos.
2. Proporcionar la acción útil y protegerse de las dañinas.
3. Proporcionar la acción útil y no generar las dañinas.

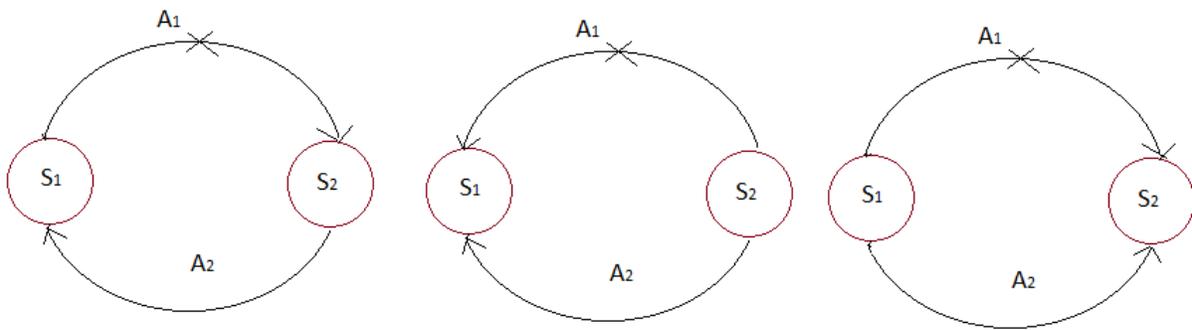


Figura 4.4 Posibles interfaces entre componentes de conflictos y acciones útiles y dañinas (Extraído de Victor Fey, [2007] ).

Frecuentemente al realizar alguna de estas acciones alguna parte del componente en conflicto puede estar en un estado de oposición físico o puede generar una propiedad mutuamente excluyente (frio y caliente en un mismo tiempo).

*“Una situación en la cual se muestran mutuamente excluyentes estados físicos es llamada una contradicción física. Las contradicciones físicas son dadas en pares. La realización de la acción  $A_1$  de un componente (o de una parte) puede tener propiedades  $P$  pero la realización de la acción  $A_2$ , no (se trata de evitar o neutralizar), estos componentes (o una parte) pueden tener una opuesta propiedad  $-P$ ”[38]*

La formulación de demandas opuestas de todo el componente es llamado marco de contradicciones físicas mientras que la formulación de las demandas opuestas para los elementos constitutivos de cada componente (partículas o segmentos), son llamadas micro-contradicciones físicas.

Para su solución se formula el formato de “dado un elemento del sistema podría tener característica  $A$  en orden de realizar funciones requeridas” y se puede recurrir al uso de los cuatro principios básicos para la superación de este tipo de contradicciones:

1. Separación en el espacio. Una parte de un componente tiene propiedades  $P$ , mientras otra parte contiene propiedades opuestas  $-P$ .
2. Separación en el tiempo. En un tiempo un componente tiene propiedad  $P$  y en otro tiempo tiene la propiedad opuesta  $-P$ .
3. Separación entre las partes del todo (transformación de sistemas). Un sistema tiene propiedades  $P$ , mientras otros componentes tiene propiedades  $-P$  [38].
4. Separación de acuerdo con una condición [1](esta no será desarrollada en este trabajo).

Entonces, una contradicción física es un conflicto entre dos mutuamente excluyentes requerimientos físicos de la misma característica de un sistema tecnológico. De acuerdo al orden de la formulación de la contradicción física, se puede determinar la característica opuesta requerida de solo un elemento del sistema. Si utilizamos la condición de separación en el tiempo, su proyección en el eje del tiempo podría

no tener superposición. Si se utiliza separación en el espacio o en sistemas entonces su proyección en el eje podría también no tener superposición [38].

Frecuentemente las acciones tienen un rendimiento más efectivo cuando cada acción es realizada por una entidad física designada “La acción  $A_1$  es realizada por una entidad y la acción  $A_2$  por otra” Estos entes físicos son presentados en diversas formas: en todos los componentes o en un grupo de moléculas, átomos o en una sola partícula elemental [38].

La solución de problemas de contradicciones físicas podría encontrarse con:

1. Identificar el componente asociado con las útiles y las acciones dañinas (i.e. un conflicto en el sistema).
2. Formular un par de demandas mutuamente excluyentes de los estados físicos (propiedades) o sus componentes.
3. Identificar la separación de principios individuales o en combinación para satisfacer las demandas [38].

#### **2.2.6.2.1. Separación de propiedades opuestas en el tiempo**

Esta separación de principios físicos es basada frecuentemente en la transición de estructuras flexibles siguiendo la ley de incrementación de dinamismo. Los componentes más flexibles suelen ser más completos y sus propiedades contradictorias pueden ser separadas. El uso de segmentos vinculados, materiales flexibles, sustancias inteligentes, componentes no lineales y cambios electromagnéticos permiten la separación temporal de las demandas contradictorias.

Para los sistemas mecánicos esto es una poderosa técnica que ayuda a realizar separación en tiempo.

- Transformación de fase: Puede utilizarse la transformación de sólido a líquido y/o a gas.
- Descomposición de sustancia: En un cierto momento el componente material (sustancia) es descompuesto en elementos (moléculas, átomos, etc.) los cuales formulan las acciones opuestas [38].

#### **2.2.6.2.2. Separación de propiedades opuestas en el espacio**

Esta separación de principios implica una transición de mono-sistemas a poli-sistemas, en el cual cada subsistema (componente) posee una de las opuestas propiedades (y realizar una de las acciones en conflicto) [38].

#### **2.2.6.2.3. Separación de propiedades opuestas entre el todo y sus partes.**

Esta separación de principios es particularmente útil cuando resuelves contradicciones tales como: rigidez-completo, duro-suave, etc. En estos casos la solución puede encontrarse empleando materiales sueltos y/o flexibles como: películas, fibras, granos, polvo, etc [38].

Con esto se concluye la teoría que se aplicara en la sección del análisis del modelo inicial. Los resultados de dicho análisis se retomaran en la última sección para la generación de conceptos. A continuación definiremos la etapa del prototipado que será utilizada para desarrollar algunas de las ideas conceptuales en la última sección de este trabajo.

## 2.3. TERCERA ETAPA DE DISEÑO: SEGUNDA ITERACION

En esta etapa utilizamos algunas de las herramientas de la fase inicial las cuales nos llevaran a la creación de una nueva solución. Para ejemplificar se realizaran distintos tipos de prototipos. Para ello revisaremos la definición y las características del prototipado tal y como lo define Ulrich [2009][41].

### 2.3.1. PROTOTIPADO

Esta herramienta será utilizada en la última parte de este proyecto durante la segunda iteración. Esto nos ayudara a desarrollar las ideas y concepto se realizaran algunos modelos y prototipos físicos y virtuales, esto con el fin de ejemplificar los nuevos subsistemas y proponer la configuración más optima para el sistema.

Ulrich (2009) define un prototipo como “una aproximación al producto en una o más dimensiones de interés” [41] él engloba que un prototipo puede ser un bosquejo de concepto, modelos matemáticos, simulaciones, componentes de prueba y versiones completamente funcionales previas a la construcción del producto y la construcción de dichos prototipos es el proceso de desarrollar una aproximación al producto.

Existen 4 principales tipos de prototipo: Físicos, analíticos, Integrales y enfocados.

Los físicos como su nombre lo indica son objetos tangibles semejantes al producto. Los prototipos analíticos representan al producto en una forma no tangible generalmente matemática o virtual. Los prototipos integrales implementan la mayor parte de atributos de un producto (es el tipo de prototipo normalmente conocido y aceptado por todos). Y por último los prototipos enfocados uno o solo algunos de los atributos del producto. Los prototipos se pueden realizar a través de modelos, estos pueden contar con características de varios tipos de prototipos.

Los prototipos son desarrollados principalmente para tener aprendizaje (conocer si el producto o sistema específico funcionará), comunicación (mostrar como luce nuestra idea), integración (para conjuntar los subsistemas y observar su funcionamiento en paralelo) y medir alcances (demostrar el desarrollo, la viabilidad de producto y las metas obtenidas) [41].

En el siguiente capítulo se desarrollará brevemente la primera etapa de este trabajo mostrando la aplicación de las herramientas ya descritas reportando los resultados obtenidos.

## CAPITULO 3. APLICACIÓN DE METODOLOGÍA TRIZ- UCD

*En este capítulo se presentaran los avances y resultados obtenidos en un primer trabajo de tesis titulado “Aplicación del método TRIZ para el desarrollo de una silla de ruedas geriátrica” [González, Silvia 2009][19] el cual es complementado y adaptado al uso de la metodología UCD-TRIZ el cual es parte de un desarrollo realizado en el CDMIT [2011][20]. Así mismo se describe la aplicación de las herramientas utilizadas de ambas metodologías en el caso de estudio.*

*Al final se presenta el modelo inicial junto con una breve descripción de sus características.*

### CASO DE ESTUDIO: Silla de ruedas geriátrica

Ahora aplicaremos la metodología propuesta descrita en el capítulo 2 sección 2.1 en el caso de estudio: “Silla de ruedas geriátrica” en donde mostraremos brevemente cada una de las etapas, resaltando los resultados obtenidos.

#### 3.1 Observación

Comenzamos con la primera etapa de observación donde analizamos las necesidades de un nuevo mercado de oportunidad, las características de éste y la interacción directa con los usuarios.

Los productos geriátricos, a diferencia de los convencionales, tienen que adaptarse a las capacidades y limitaciones de los adultos mayores, por lo que es necesario conocer más a fondo las necesidades de este sector de la población para crear objetos que les ofrezcan una mejor calidad de vida.

Una de las principales necesidades que se observa, es la reducción de las capacidades físicas que generan cambios en nuestra vida y en nuestro cuerpo. La disminución de la movilidad provoca problemas de locomoción y dificultad de desplazamiento de un lugar a otro. Observando esto, se encontró la necesidad de desarrollar un dispositivo de movilidad para los adultos mayores que facilite el desplazamiento en caminos largos e irregulares.



Figura 3.1 Persona de la tercera edad.

El cuerpo humano va cambiando con el transcurso de los años y las capacidades para realizar actividades físicas comienzan a decrecer (Figura 3.1). Las cosas que se hacen diariamente comienzan a ser un reto. Las personas mayores intentan adaptarse al medio, pero también es necesario que el medio se adapte a ellos. Los utensilios y herramientas de la vida cotidiana necesitan ser remplazados por objetos de diseño específicos para ancianos comúnmente llamados productos geriátricos.

Pero, por lo general son las enfermedades más que el proceso natural de la vejez, son la explicación de la pérdida de capacidades funcionales. Los cambios generados en la vejez y las enfermedades están muy relacionados con el estilo de vida que las personas llevaron a lo largo de su vida.

Pero, ¿Cómo saber qué es lo que los ancianos necesitan? Primero que nada debemos conocerlos y saber cuáles son sus capacidades y limitaciones. Para ello comenzaremos definiendo que es la vejez.

La vejez es un proceso natural de todos los seres vivos y es considerada como una etapa más de la vida. Al llegar esta etapa existen varios cambios corporales, una de las principales actividades que se ve afectada es caminar. El desplazarse de un lugar a otro comienza a ser más difícil y lento. Los ancianos necesitan un medio para poder desplazarse dentro y fuera de sus casas de una forma fácil, cómoda y segura. Una silla de ruedas podría ser la solución, pero ¿Qué tipo de silla de ruedas?

La mayoría de las sillas de ruedas más vendidas en el mercado son estándar mecánicas y están diseñadas para personas adultas, que posee todas sus capacidades de autonomía, una antropometría diferente y generalmente que está en un proceso de recuperación, por lo que no pasaran muchas horas en ella. También existen sillas automatizadas que cumplen con casi todos los requisitos de comodidad y ergonomía pero son muy pesadas y difíciles de cargar, por lo que es necesario contar con rampas para poder desplazarse.

Para lograr un diseño que contenga todas las necesidades que encontramos para los adultos mayores realmente es un gran reto ya que se tienen que conjuntar diversas características en el diseño, sin olvidar la parte de innovación.

Para conocer más acerca de nuestros ancianos y de los requerimientos de nuestro producto se realizaron a profundidad las siguientes investigaciones:

- ◆ Estudio geriátrico.
- ◆ Estudio ergonómico.
- ◆ Encuestas a usuarios, médicos y familiares.
- ◆ Estudio del entorno (donde habitan).
- ◆ Normativas para sillas de ruedas.

Aquí mostraremos parte de los resultados que se obtuvieron en dichos estudios.

### 3.1.1 Estudio geriátrico

La vejez es una etapa de los seres vivos en la cual comienza a haber cambios corporales y comienzan a desarrollarse algunas enfermedades. En los seres humanos el primer indicador de vejez es la disminución de enfoque que comienza a tener el ojo, la capacidad auditiva disminuye, la grasa corporal

aumenta y la masa muscular decrece alterando su distribución, la piel se vuelve más fina, arrugada y frágil y las capacidades de las funciones internas del cuerpo humano se ven afectadas. La capacidad de retener líquidos es pequeña y las personas comienzan a disminuir su altura [33].

Las principales enfermedades que se generan en las personas de la 3ra edad se engloban en el siguiente listado: Enfermedad de Alzheimer y otras demencias, úlceras por presión, hiperplasia prostática benigna, cáncer de próstata, cataratas, leucemia linfocítica crónica, diabetes tipo II, glaucoma, gammapatías monoclonales, artrosis, osteoporosis, enfermedad del Parkinson, herpes zoster, ictus, incontinencia urinaria, entre otras [33].

Una afección crónica no implica necesariamente la invalidez; de hecho, muchos pacientes pueden seguir con sus actividades y no depender de los demás a pesar de tener diabetes, alteraciones renales, enfermedades del corazón y otras enfermedades crónicas.

Los factores socioeconómicos modifican con frecuencia la forma en que las personas mayores buscan y reciben cuidados; a menudo tienden a ocultar los problemas cuando son poco importantes; tampoco solicitan atención médica hasta que los trastornos se vuelven más graves.

En la edad avanzada, se tiende además a padecer más de una enfermedad a la vez, y cada enfermedad puede influir en las otras. También es frecuente que, debido a los factores psicosociales, las enfermedades se compliquen en las personas de edad avanzada. Este grupo de personas puede deprimirse si la afección implica una pérdida de independencia temporal o permanente y, en consecuencia, necesitan atención por parte de los servicios sociales, al igual que ayuda psicológica [33].

Según las enfermedades antes mencionadas podemos realizar una lista de especificaciones de las limitaciones de los ancianos que son generadas por las enfermedades:

- ⊗ No debe contener botones y/o letreros pequeños de indicaciones de uso (como frenos, etc.) debido a que presentan pérdida de visión y cataratas.
- ⊗ No se debe utilizar mucha fuerza en el despliegado de los reposapiés, frenos, cinturones de seguridad, y otros elementos adaptables porque generalmente existe una reducción de la fuerza corporal.
- ⊗ Se deben seguir las medidas antropométricas y diseñar un buen asiento que tenga una textura suave para evitar úlceras por presión porque los ancianos son muy propensos a estas.
- ⊗ Debe facilitar el levantarse y sentarse porque ellos tienen una movilidad reducida y poca fuerza muscular.
- ⊗ Debe facilitar el acto de ir al baño porque ellos generalmente sufren de enfermedades urinarias como incontinencia urinaria, etc. Por esta causa también se debe contar con una tapicería fácil de limpiar.
- ⊗ Contar con un accesorio para porta vaso y medicinas debido a que las toman con mucha frecuencia y es más fácil para ellos tenerlas cerca.
- ⊗ Uno de los aspectos más importantes será el considerar que nuestra silla sea de tipo de traslado. Está será impulsada por una persona externa debido a que ellos no tienen la fuerza necesaria para impulsarse por sí mismos y/o algunas enfermedades como el Parkinson, artrosis, etc. se los impide.
- ⊗ Contar con un sistema de seguridad para cuidar su integridad y evitar caídas que pudieran resultar en fracturas por la osteoporosis.

- ⊗ Muchos de ellos tiene su movilidad muy reducida o nula por lo que pasan muchas horas en la silla. En algunos casos pueden llegar a dormirse en ella por lo que es necesario tener acolchonamientos laterales.

### 3.1.2. Estudio ergonómico

El estudio geriátrico se divide en dos etapas, el análisis antropométrico y el postural. El análisis antropométrico se refiere a las dimensiones específicas de nuestros usuarios que consideraran en el desarrollo de nuestro producto y el postural tiene que ver con la correcta posición cedente que adoptará el usuario con el producto.

El análisis antropométrico se determina a partir del grupo de usuarios a los que será dirigido el producto, esto varía de acuerdo a la región, el tipo de edades, y el sexo. En el trabajo se propone extraer las dimensiones directamente de una mujer de 61 años, mexicana promedio, que cuenta con las características ideales para ser un cliente potencial. Estas medidas serán utilizadas en las dimensiones específicas de la silla de ruedas como se muestra en el siguiente cuadro (Tabla 3.1)

Medida del cuerpo	Medida de la silla	Medición mm
Altura hombro	Altura del respaldo	530
Anchura hombros	Anchura del respaldo	360
Anchura cadera	Anchura de la base del asiento	310
Largura glúteo-poplíteo	Profundidad del asiento	415
Altura poplíteo	Altura entre el asiento y los reposapiés	400
Altura lumbar	Altura reposabrazos	230
Distancia antebrazos	Longitud del reposabrazos	230
Altura codo reposo	Altura acojinamiento lumbar	220

Tabla 3.1 Medidas antropométricas (González, Silvia 2009)

El análisis postural contempla la posición idónea para que una persona se encuentre sentada sin lastimarse físicamente obteniendo comodidad y descanso. Dicha posición se consigue teniendo la cabeza y el cuello en posición vertical, las caderas flexionadas 90°, los muslos en ligera abducción (separación) y los hombros en ligera rotación interna. Para mantener esta postura es necesario que los brazos y los pies se apoyen y que la espalda se incline ligeramente hacia atrás [24].

Muy ligada a la estabilidad aparece la distribución de presiones en la interface usuario-asiento y su importancia para evitar las úlceras por presión. No existen opciones universales para todos los usuarios en cuanto a estabilidad pero sí unas recomendaciones generales respecto a cada una de las estructuras de la silla que intervienen en una correcta posición sedente: el asiento, el respaldo, el reposabrazos, el reposapiés y el cojín.

Una silla de ruedas únicamente resulta útil para el usuario, si esta, le proporciona y una base de asiento estable que le permita:

- ⊕ Sentarse erguido en una posición sentada simétrica.
- ⊕ Conseguir la máxima capacidad funcional con el mínimo gasto de energía.

### ⊕ Reducir la presión que soportan los glúteos y muslos

La mala posición en la silla de ruedas puede aumentar la presión sobre la piel. Por ejemplo, si los reposapiés son demasiado altos y las piernas no están descansando adecuadamente sobre cojín de la silla de ruedas, el peso de las piernas pueden ser transferidos a los glúteos poniendo mayor presión sobre la piel en esa zona.

Si el usuario de silla de ruedas no está estable en la silla, pueden deslizarse hacia los glúteos y los huesos pueden dañar la piel desde el interior. Este daño es conocido como cizalladura. La extrema vibración de la silla de ruedas puede irritar o lesionar la piel.

Un buen colchón de silla de ruedas distribuye el peso del ocupante directamente de las salientes óseas a una zona mucho mayor, incluidos los muslos y las caderas. Esta redistribución de peso disminuye la presión ejercida sobre estos diminutos parches de piel sensible directamente debajo de las salientes óseas del glúteo.

Otro de los aspectos que se deben de controlar en el diseño de un asiento, es el respaldo. La principal función del respaldo es suministrar soporte a la región lumbar, la configuración del asiento deberá seguir el perfil espinal. La altura dependerá del uso que se lo otorgue. En lesiones medulares es recomendable que el respaldo sea alto para dar soporte al tronco.

La posición adecuada del asiento genera un buen apoyo y equilibrio. El respaldo debe estar ligeramente reclinado para que la fuerza de gravedad recaiga sobre el pecho, esto ayudará a la estabilidad de la silla. Pero no debe estar excesivamente reclinado porque el usuario reduce su campo visual. Si el respaldo está recto la fuerza de gravedad recaerá en los hombros y el usuario tendera a inclinarse hacia delante para compensarla [24].

Los apoyabrazos tienen la función de cargar con el peso de los brazos y dar apoyo a los usuarios para sentarse y pararse. La altura estará determinada por la que tenga el codo en reposo sin tener los hombros elevados, tomando la distancia que separa la punta del codo de la superficie de asiento. Los codos deben tener una flexión de 90° [24].

Un exceso en la altura obliga al usuario a desplazar el torax hacia fuera provocando una rotación medial de los hombros generando fatiga e incomodidad. Pero si está demasiado bajo el usuario tenderá a dejarse caer hacia un lado cuando los utilice, deformando la postura correcta de posición sedente provocando una escoliosis y tensión muscular.

La cadera debe tener un ángulo de 90° con respecto a las rodillas y estas deberán estar flexionadas en un ángulo de 90°, procurando que los reposapiés no obstruyan el libre giro de las ruedas. La altura a la que se sitúan las plataformas depende de la longitud de las piernas del usuario, si están más abajo el usuario tenderá a deslizarse y desplazará la cadera hacia delante, generando presión en la zona poplíteas pero si están más altas, las rodillas subirán transfiriendo la presión a la zona de los glúteos [24].

En conclusión para tener una buena postura se tienen que considerar los siguientes puntos dentro del diseño de la silla de ruedas.

- ⊙ Mantener una postura estable: manteniendo cuello y cabeza en posición vertical, las caderas flexionadas de 90° a 100°, muslos en ligera abducción, hombros en ligera rotación interna.

- ⊗ Espalda pies y brazos apoyados correctamente.
- ⊗ Plantear las dimensiones de profundidad, anchura y altura del asiento según las tablas antropométricas.
- ⊗ Que el asiento brinde una correcta postura a la zona lumbar.
- ⊗ Que el acolchonamiento brinde comodidad y un correcto reparto del peso del usuario.

### 3.1.3. Encuestas a usuarios, médicos y familiares.

Para conocer mejor las necesidades de los ancianos se realizaron encuestas dirigidas a familiares o personas que interactúan directamente con ellos y entrevistas a geriatras que nos describieron brevemente su comportamiento y sus características específicas. Esto nos permitió conocer mejor la situación de los ancianos así como sus necesidades y sugerencias.

Los resultados de dichas encuestas nos arrojaron datos muy importantes los cuales se resumen en la siguiente lista:

- Las sillas de rueda de bajo costo poseen poca estabilidad y seguridad para el anciano porque no cuentan con elementos de sujeción (cinturón de seguridad).
- Son incómodas y los materiales del asiento lastiman la piel después de un tiempo por lo que es necesario improvisar el acolchonamiento con almohadas ordinarias.
- Son muy pesadas y deben bajar al anciano para subir o bajar escaleras y evitar tirarlo, también son pesadas para levantarse y meterse a la cajuela de un auto.
- No tienen elementos fijos para que una persona externa levante la silla o la cargue con el usuario sentado.
- Los reposapiés no son de fácil manipulación para el anciano por lo que generalmente no los usa y por consecuencia se los quitan a la silla.
- Que el anciano es muy pequeño para el tamaño de la silla.
- Al rodar la silla por la banqueta transmite vibraciones y el anciano se resbala del asiento.
- Las sillas que cuentan con la ergonomía de diseño son muy caras.
- Las sillas eléctricas y los *scooters* son un blanco fácil para la delincuencia.

De estos datos se propuso la siguiente lista de especificaciones:

- ✱ Mayor estabilidad de la silla.
- ✱ Seguridad.
- ✱ Bajo costo.
- ✱ Mejorar el acolchonamiento.
- ✱ Que la silla sea ligera.
- ✱ Fácil para subir y bajar escalones.
- ✱ Que sean plegables.
- ✱ Mejorar la configuración de los reposapiés.
- ✱ Mejorar el tamaño de la silla según el usuario.
- ✱ Que no vibre en las banquetas.
- ✱ Que sean cómodas
- ✱ Que tengan elementos fijos para cargarla con el usuario sentado.
- ✱ Que sea fácil de manejar

### 3.1.4. Normativas para sillas de ruedas.

Para realizar el diseño de la sillas de ruedas también se reviso brevemente las medidas estándares que se deben de considerar de acuerdo a las normativas especificadas en el “Manual técnico para la Accesibilidad de las personas con discapacidad a inmuebles federales” donde establece las dimensiones máximas y mínimas a considerar en rampas e interiores para que las sillas de rueda se puedan desplazar fácilmente.

Estas dimensiones se muestran en la figura 2.10 en las tablas de espacio máximo de desplazamiento de la silla de ruedas y una persona externa y las características técnicas máximas de la silla de ruedas.

<b>Espacio máximo de desplazamiento de la Silla de ruedas con el usuario y una persona externa.</b>	
Espacio giro medio	160cm
Anchura con los brazos del usuario fuera de la silla	87cm
Altura rodilla del usuario	60cm
Altura pie del usuario	20.5cm
Altura del nivel de ojo del usuario	129cm
Alcance del usuario con el brazo extendido (máximo)	160cm
Alcance del usuario con el brazo extendido (mínimo)	30cm
Espacio de circulación con el usuario y una persona externa (largo)	170cm
Espacio de circulación con el usuario y una persona externa (ancho)	66cm

Tabla 3.2 Dimensiones de espacio (González, Silvia 2009)

<b>Características Técnicas Máximas de la Silla de Ruedas</b>	
Longitud total de la silla	137cm
Anchura total de la silla	66cm
Altura total de la silla	93cm
Altura de la rueda (trasera)	60cm
Altura de la rueda (delantera)	20cm
Altura descansabrazos	76cm
Atura asiento	45cm

Tabla 3.3 Medidas máximas de una silla de ruedas (González, Silvia 2009)

De cada uno de los estudios previos, se desglosaron una serie de características y especificaciones que se consideraron en la etapa de diseño de la silla de ruedas. A continuación se muestra un listado general:

- ◆ Considerar una silla de ruedas manual debido a que es más económica y por lo tanto más accesible.
- ◆ Considerar como preferente la configuración de una silla de ruedas de traslado debido a que los ancianos generalmente son cuidados por terceros.
- ◆ De materiales ligeros para que sea fácil de cargar por los familiares o quien los cuide.
- ◆ Cumplir con la tabla de características técnicas máximas (Tabla 3.2).
- ◆ Cumplir con las dimensiones de los espacios máximos de la silla de ruedas (Tabla 3.3).
- ◆ Considerar las irregularidades del suelo y evitar la transmisión de vibraciones.
- ◆ Es necesario subir y bajar banquetas de diversos tamaños.
- ◆ Implementar un sistema de seguridad confortable y confiable.
- ◆ Es necesario que esta se pueda guardar dentro de una cajuela de auto.
- ◆ Implementar frenos accesibles en caso de emergencias.
- ◆ Cumplir con las medidas sugeridas en el estudio antropométrico (Tabla 3.3)
- ◆ No contener botones y/o letreros pequeños de indicaciones de uso debido a que presentan pérdida de visión.
- ◆ No utilizar fuerza en actividades como desplegado de reposapiés, frenos, cinturones de seguridad, etc.
- ◆ El asiento debe contar con una textura suave para evitar la generación de úlceras.
- ◆ Debe contar con una tapicería fácil de limpiar.
- ◆ Comodidad para dormirse en la silla debido a que pasan muchas horas en ella.

Con base en la información recogida, y las investigaciones realizadas se definen las necesidades del usuario como se muestre en la figura (3.4).

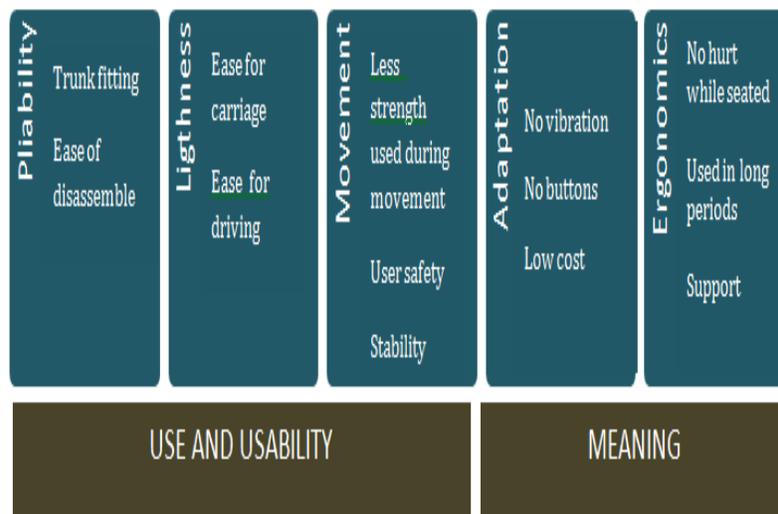


Figura 3.4 Cuadro de necesidades (Desarrollo CDMIT [2011])

### 3.2. Marco de referencia (Framework)

Como se describió anteriormente, esta etapa del método propuesto se aprovecha de algunas técnicas de resumen. A continuación se describe la aplicación de cada una de ellas.

#### 3.2.1. Personas

En base a las necesidades del usuario de segmentación, patrones particulares y características de los usuarios fueron seleccionados. Que se utilizaron para definir cinco personajes mostrados en las figuras 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9 que se muestran a continuación:

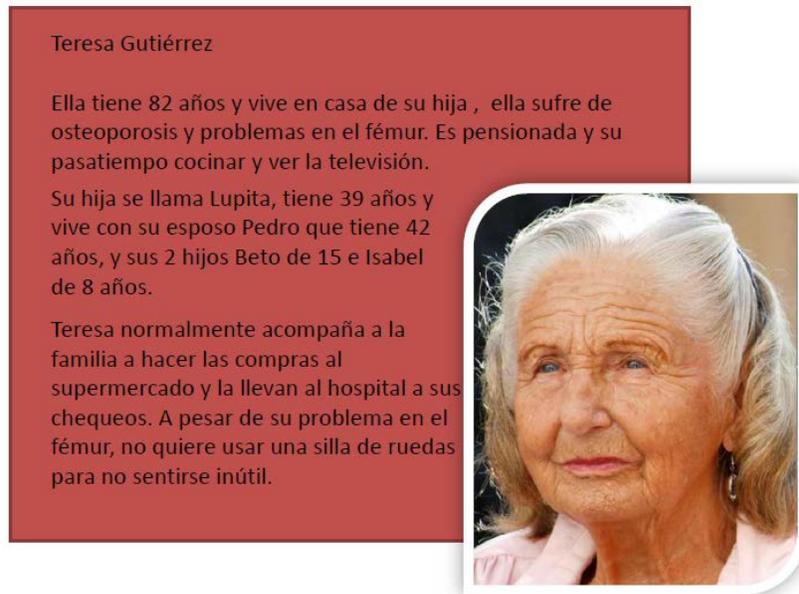


Figura 3.5 Personaje 1 (Desarrollo CDMIT [2011])

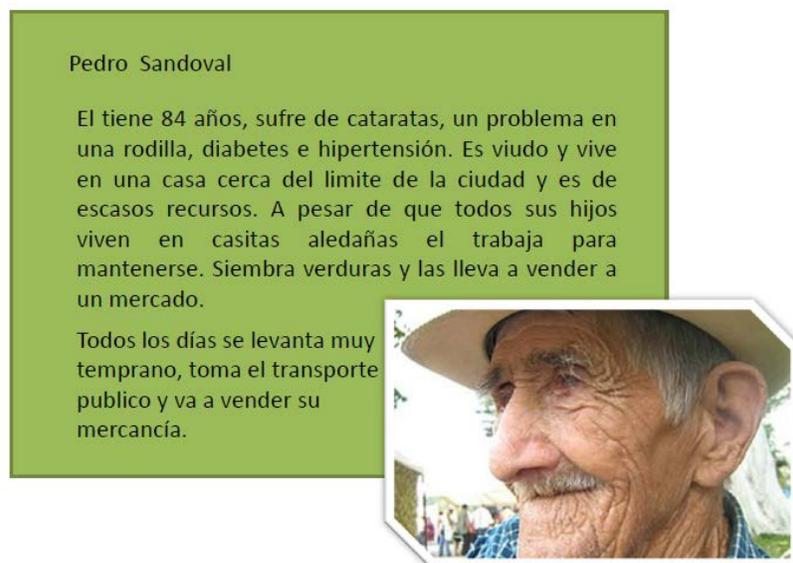


Figura 3.6 Personaje 2 (Desarrollo CDMIT [2011])

Carlota Ramirez

Ella tiene 87 años y vive en un asilo para ancianos, es de escasos recursos y sufre de cataratas y osteoporosis. No cuenta con familiares que la cuiden y vive de la pensión que otorga al gobierno federal y de la venta de bordados.

A ella le gusta ir a misa y realiza largas caminatas para acudir a la iglesia y al hospital del sector salud.



Figura 3.7 Personaje 3 (Desarrollo CDMIT [2011])

María José San Román

Ella tiene 90 años y padece Alzheimer, Incontinencia urinaria y osteoporosis. Ella es de clase alta, posee casa propia, auto con chofer y vive sola pero cuenta con personal de planta y una enfermera de 24 horas.

A ella la llevan 3 veces por semana a la iglesia y al parque. Ella cuenta con una silla de ruedas pero piensa que es muy incómoda. Tiene una nieta llamada Lucía que la visita casi toda la semana y está pendiente de su salud.



Figura 3.8 Personaje 4 (Desarrollo CDMIT [2011])

María Cristina y Alfonso

María Cristina tiene 75 años, es ama de casa y tiene diabetes y osteoporosis, por lo q le duele la cadera al hacer caminatas largas.

Alfonso tiene 79, es jubilado y es hipertenso y también es diabético. Ellos son un matrimonio q viven solos, cuentan con casa propia en una colonia tranquila y se cuidan mutuamente, son de clase media y no cuentan con automóvil propio. Ellos suelen ir a la iglesia por la mañana y al mercado a hacer sus compras muy cerca se su casa. Tienen 4 hijos que los visitan frecuentemente.

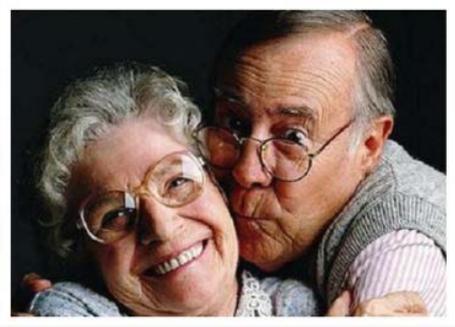


Figura 3.9 Personaje 5 (Desarrollo CDMIT [2011])

### 3.2.2. Escenarios

Al observar la tasa de crecimiento de la poblacional y las características de la población Mexicana podemos imaginar escenarios futuros a los cuales se enfrentara el país llevándolo a nuevos retos y previendo requerimientos expectantes para la población.

De acuerdo con estas previsiones, las esperanzas de vida que publicó en el 2005 la CONAPO aumentarían a 78.8 años (76.6 mujeres y 81.0 hombres) en 2030 y, solamente, a 81.9 años (79.9 para hombres y 83.9 para mujeres) en 2050, es decir, que la vida media de los mexicanos al final del horizonte de la proyección será similar a la observada en Japón en fechas recientes (78.5 para hombres y 85.5 para mujeres en 2005), país que registra en la actualidad el nivel de mortalidad más bajo del mundo.

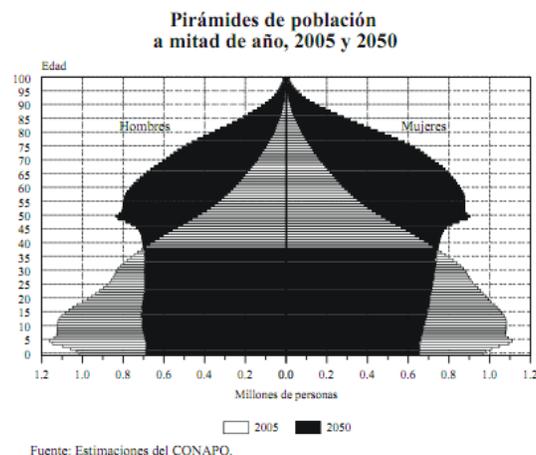


Figura 3.10 Tasa de crecimiento poblacional de México del 2005 al 2050 (Fuente CONAPO)

Se prevé que para el 2050 existan alrededor de 98,612,613 adultos mayores (Figura 3.10), lo cual representa un mercado potencial muy grande para el desarrollo de productos geriátricos.

En este caso en específico consideramos que nuestro sistema de movilidad debe adaptarse a la Ciudad de México por lo que se tomarán en cuenta las características del pavimento, las barreras arquitectónicas y sobre todo el poder adquisitivo que poseen nuestros clientes principales.

Los habitantes de los países en desarrollo se enfrentan a la falta de caminos adecuados para la movilidad de las personas con discapacidad, describiendo esto como un nuevo desafío debido a que la mayoría de las veces, no es posible encontrar accesos adecuados y rampas para circular (figura 3.11), ya que los existentes no cumplen con los estándares internacionales de construcción. Otro factor importante de la problemática de movilidad son las condiciones en que se encuentra el del pavimento, en algunos lugares está muy deteriorado presentando grietas y fisuras que se traducen en un peligro potencial para las personas con y sin discapacidad. En este escenario se limita el desarrollo económico y social que contribuye a la pobreza.

Otro de los problemas observados es la transportación, debido a que el servicio público no está diseñado para transportar sillas de ruedas, por lo que es necesario considerar que el producto pueda guardarse dentro de una cajuela de auto.



Figura 3.11 Barreras arquitectónicas (González, Silvia 2009)

### 3.2.3. La ventana de recursos

Los recursos juegan un papel importante en todo el proceso de innovación. Esta herramienta es un excelente marco para explorar nuestro problema. Durante este ejercicio se revisa, el pasado, el presente y el futuro del sistema y su entorno. Esto se puede representar por medio de una tabla con nueve divisiones o comúnmente llamadas nueve ventanas (Tabla 3.3).

	PASADO	PRESENTE	FUTURO
SUPERSISTEMA	Buena salud de las personas. Practicar ejercicio. Adelantos médicos.	Antropometría de los ancianos. Peso de los ancianos. Accesos para sillas de rueda. Existencia del INAPAM.	Mejoramiento de los servicios públicos. Nuevas curas para algunas enfermedades. Modernización de las ciudades.
SISTEMA	Utilización de bastones y/o andaderas.	Silla de traslado Adaptación de la silla a los usuarios.	Reutilización de la silla Adaptación para otra persona
SUBSISTEMA	Seleccionar materiales de los componentes. Manufactura de las piezas. Compra de algunos elementos. Diseño de algunos elementos.	Optimización de los sistemas Bajo grado de complejidad	Sustitución de piezas y/o elementos. Cambio de llantas

Tabla 3.4 Recursos (González, Silvia 2009)

1. Características de los usuarios. Se encontró que el usuario va a tener un tamaño pequeño y menos peso después de los 60 años.
2. Bajo mantenimiento. En el diseño se deben de considerar componentes de bajo mantenimiento.
3. Ciudades de modernización. A lo largo de este parámetro una gran infraestructura (rampas, ascensores y acceso) puede ser considerado en los escenarios de futuro, así como una mayor conciencia en el cuidado del adulto mayor.
4. La falta de una cultura del deporte y una alimentación deficiente generan un tamaño amplio de mercado potencial
5. El aumento de la esperanza de vida. A través de este aspecto, el tamaño del mercado potencial se aumentó, así como la etapa de uso en el ciclo de vida del producto.

### 3.2.4. La ventana de restricciones

De igual manera pueden representarse las ventanas de las restricciones (Figura 3.5). Las restricciones son las estrategias para la identificación de los cuellos de botella. Otra forma en que las limitaciones se pueden dejar de ver como obstáculos para considerarse como oportunidades de desarrollo en el diseño. Los siguientes son los principales obstáculos se encuentran en los países en desarrollo para el caso estudio:

	PASADO	PRESENTE	FUTURO
<b>SUPER SISTEMA</b>	<p>No hay una buena cultura del deporte en México.</p> <p>No recibir la atención médica adecuada.</p> <p>Mala alimentación.</p> <p>No existe la cultura de prevención de enfermedades.</p>	<p>Irregularidades en el pavimento.</p> <p>Pocos accesos para sillas de ruedas.</p> <p>Salarios bajos.</p> <p>Poca conciencia de las personas.</p> <p>Transporte publico inadecuado.</p>	<p>Aparición nuevas enfermedades</p> <p>Crisis mundial.</p>
<b>SISTEMA</b>	<p>Rechazo a la utilización de la silla de ruedas.</p>	<p>No incrementar costo</p> <p>No incrementar peso</p>	<p>Desgaste de la silla.</p>
<b>SUBSISTEMA</b>	<p>No tener acceso a máquinas de manufactura avanzadas.</p> <p>Alto costo de las piezas.</p>	<p>No existen muchas piezas en el mercado.</p> <p>No utilizar piezas pesadas.</p> <p>No incrementar la cantidad de los sistemas.</p>	<p>Mantenimiento de las piezas.</p> <p>Corrosión.</p>

Tabla 3.5 Restricciones (González, Silvia 2009)

1. Rugosidad del pavimento y la falta o rampas: Esta es una característica principal de un país en desarrollo.
2. Un transporte público inadecuado.
3. Los bajos salarios que significa la necesidad de un dispositivo de bajo costo.
4. Rechazo psicológico de una silla de ruedas.
5. La corrosión y el desgaste de material.

### 3.2.5. Mapa mental

La gran cantidad de información que se ha obtenido se llega a esta etapa, organizándola para visualizar las oportunidades de innovación por el uso de una herramienta innovadora y flexible llamado mapa mental (figura 3.12).

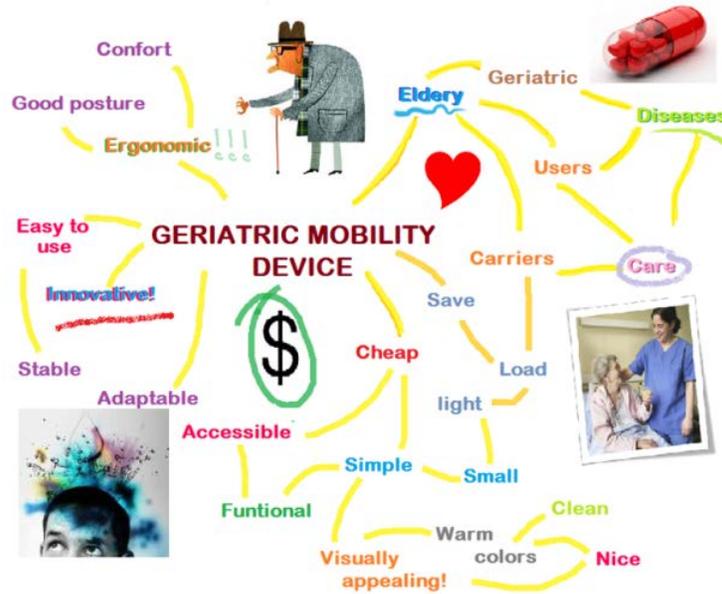


Figura 3.12 Mapa mental (Desarrollo CDMIT 2011)

### 3.2.6. Triángulo de redefinición

Esta es una herramienta de TRIZ, se basa en la elaboración de un triángulo siguiendo una serie de cuestionamientos que se utilizan para comprender la naturaleza del problema. Se puede generalizar el problema o se puede puntualizar tanto como nosotros queramos (Figura 3.13).

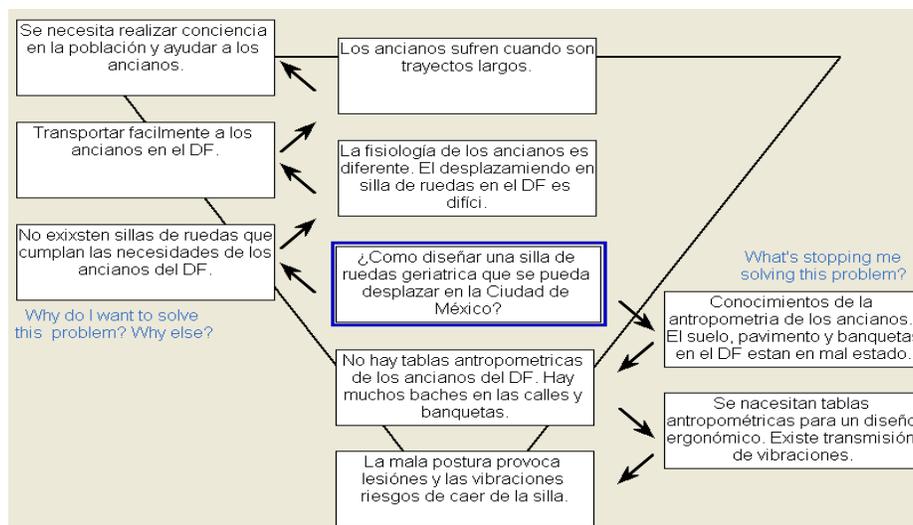


Figura 3.13 Triángulo de redefinición (González, Silvia 2009)

Mediante la aplicación de esta herramienta se establecieron las siguientes opiniones:

1. Generalizando el problema: La falta de cuidados para personas mayores y la exclusión de la sociedad de esta parte de la población genera la necesidad de crear productos específicos para ellos.
2. Puntualizando: aspectos ergonómicos son el foco principal en este tipo de dispositivos.

### 3.2.7. Diagrama de función externo

En este caso se plantea el diagrama de función exterior del sistema el cual define el producto dentro de un entorno y su interacción con el ambiente y el usuario. El producto está relacionado con la identificación de contradicciones. En el estudio de caso, los elementos relacionados son: usuario, cuidador, pavimentos, escaleras, rampa y cajuela. En este caso llamaremos al sistema de movilidad producto de movilidad.

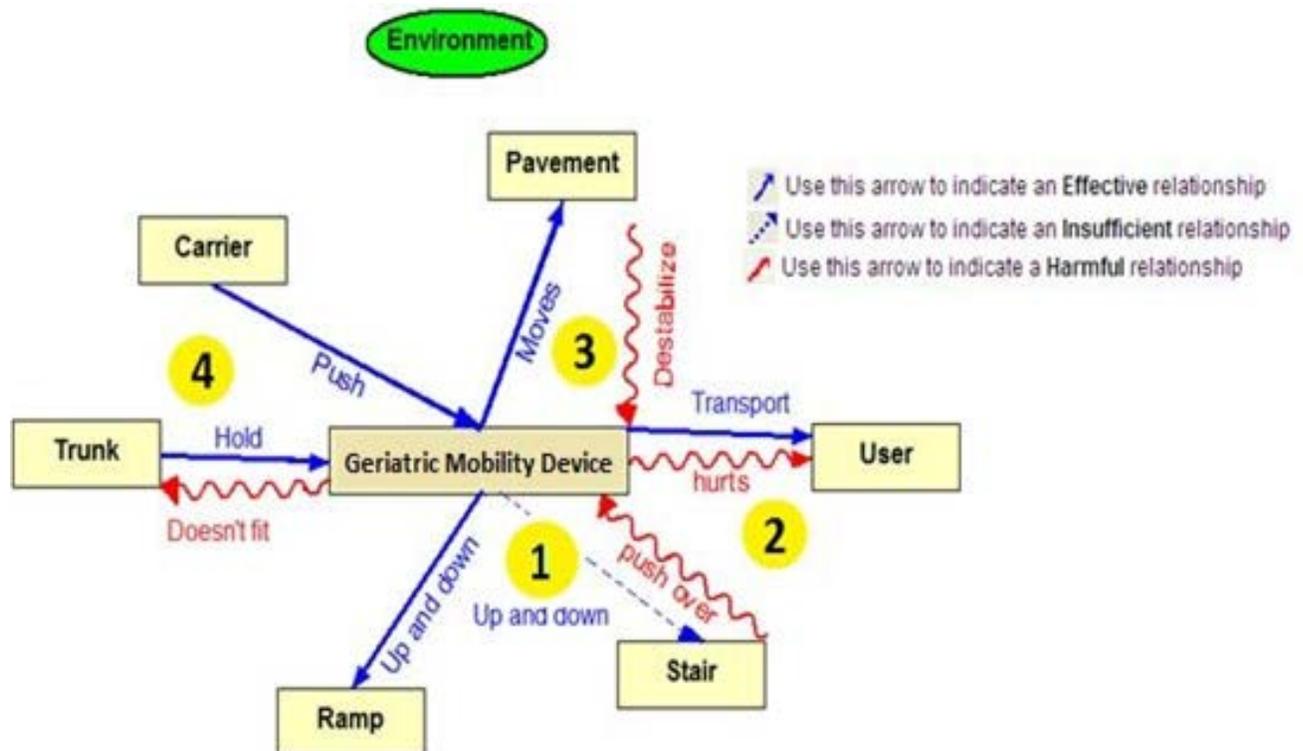


Figura 3.14 Diagrama de función externo (González, Silvia 2009)

De acuerdo con los resultados mostraron en la figura 3.14, encontraron las siguientes contradicciones:

1. Producto de movilidad - escalera
2. Producto de movilidad - usuario
3. Producto de movilidad - pavimento
4. Producto de movilidad - cajuela

Para resolver las contradicciones obtenidas utilizaremos la matriz de las contradicciones que se encuentra contenida en el desarrollo de la siguiente etapa.

### 3.3. Imperativos

El análisis de las necesidades del usuario y obtener los conocimientos de investigación en las etapas anteriores conducen a los siguientes imperativos:

- ⊕ Estabilidad
- ⊕ Seguridad
- ⊕ Bajo costo
- ⊕ Comodidad
- ⊕ Ligereza
- ⊕ Facilidad de uso
- ⊕ Flexibilidad
- ⊕ Facilidad de limpieza

#### 3.3.1. Matriz de las contradicciones

La matriz de las contradicciones que plantea el método TRIZ nos ayuda relacionar los imperativos encontrados con los principios de diseño que podemos aplicar para obtener una solución. El primer paso es traducir los imperativos a los 39 parámetros propuestos por Altshuller. Estos parámetros se analizan en la matriz de contradicción (Figura 3.15). El objetivo principal consiste en encontrar un equilibrio entre dos características técnicas, esto es: "mantener una función y no empeorar otras".

		Characteristic that is getting worse													
Characteristic to be improved		1. Weight of a mobile object.	2. Weight of a stationary object.	8. Volumen of a stationary object.	10. Force.	11. Tension/Pressur.	12. Shape.	13. Stability.	14. Strength.	26. Amount of substance.	27. Reliability.	32. Manufacturability.	33. Convenience of use.	35. Adaptability.	36. Complexity of device.
	1. Weight of a mobile object.							1,35 19,39	18,27 28,40		1,11 3,27			5,15 8,28	
	2. Weight of a stationary object.														
	8. Volumen of a stationary object.						2,7 3,5		9,14 15,17	3,5	2,16 3,5	4,18 30,35			
	10. Force.														
	11. Tension/Pressur.														
	12. Shape.														
	13. Stability.	2,21 35,39			10,35 21,16	9,15 17			16,15 17						
	14. Strength.														
	26. Amount of substance.														
	27. Reliability.		3,10 8,28	2,24 3,5									27,14 40		35,1 13
	32. Manufacturability.														
	33. Convenience of use.						12,17 26,32								12,17 26,32
	35. Adaptability.														
36. Complexity of device.															

Figura 3.15 Matriz de las contradicciones (González, Silvia 2009)

## 3.4. SOLUCIONES

Esta fase incluye tres etapas: diseño conceptual, generación de conceptos, selección y evaluación de los conceptos. Estas fases nos darán como resultado la creación de nuestro primer diseño conceptual, el cual debe de satisfacer las necesidades de los usuarios.

### 3.4.1. *Generación del concepto*

Para esta fase se generó un Benchmarking, la cual nos ayuda a conocer los productos existentes en el mercado, así como sus virtudes y defectos. Posteriormente se realizará la Aplicación de los principios de diseño que se obtuvieron como resultado en la matriz de las contradicciones.

#### 3.4.1.1. *Benchmarking*

Al analizar las características del problema se encuentra la necesidad de desarrollar un producto de movilidad para los ancianos. Esta necesidad es cubierta por las sillas de ruedas actuales pero estas no cuentan con las características específicas que satisfagan las necesidades de los usuarios. Para poder realizar este diseño necesitamos primero conocer el estado del arte, las ventajas y desventajas de las sillas de ruedas comerciales, las tecnologías que utilizan, las normativas que envuelven acerca de dimensiones y espacios interiores, las características antropométricas y fisiológicas de nuestros usuarios, etc. Gran parte de esta información se ha extraído de la tesis *“Aplicación del método TRIZ para el desarrollo de una silla de ruedas geriátrica”* [González, Silvia 2009] de lo cual solo se destacaran los aspectos más relevantes.

Desde mediados del siglo VI surgió la idea de una silla de ruedas [1] para el desplazamiento de las personas. Con el paso de los siglos esta idea fue mejorada y complementada con los avances tecnológicos. Existen distintos tipos de sillas de ruedas: manuales, de traslado, eléctricas, scooters, etc. (figura 3.16). Cada una se encuentra diseñada para distintas necesidades, tipos de usuario y las características del lugar donde se utilizara.

Se realiza y categoriza un estudio de las sillas de ruedas existentes en el mercado donde se encuentran ubicadas según su complejidad y su precio.



Figura 3.16 Benchmarking. Grafica de evaluación de las sillas de ruedas existentes en el mercado. (Desarrollo CDMIT 2011)

Mediante el análisis de las sillas de ruedas mecánicas establecidas en el mercado se encontró que no había una silla de ruedas específicas para la población de edad avanzada y las que existían no cumplían con las necesidades del usuario. Esto llevó a descubrir una nueva oportunidad de mercado.

#### 3.4.1.2. Aplicación de los principios de diseño

Para la generación de conceptos TRIZ nos brinda la herramienta de la matriz de contradicciones (Figura 2.14). En esta matriz contraponemos todas aquellas contradicciones surgidas en el análisis del diagrama de función. Estas contradicciones son identificadas en la figura (Figura 3.14) y resueltas a través de los principios de diseño sugeridos directamente por la matriz (figura 3.15). Aquí se muestra la aplicación de dichos principios en las contradicciones identificadas.

**Producto de movilidad-Escalones:** Para mejorar el peso sin afectar la estabilidad el método TRIZ nos propone aumentar el grado de segmentación y dividir la estructura de la silla. Proponemos que sea en tres secciones: base inferior, respaldo y soporte para llantas traseras. Así, analizaremos cada sección por separado, reforzando más la base inferior de nuestro producto de movilidad podrá poseer la virtud de tener un buen tamaño que no sacrifica la ergonomía del cliente sin ser más estorbosa.

Para mejorar el peso del producto de movilidad sin alterar la resistencia se propone aplicar el principio de vibraciones mecánicas. Necesitamos implementar un amortiguador que absorba las vibraciones producidas por el suelo y así darle más grados de libertad a la silla para que el producto no se dañe con el uso frecuente y al subir y bajar escalones. En este mismo punto se sugiere el uso de materiales compuestos en la fabricación de algunas piezas como son los reposapiés, reposabrazos, etc.

Para no alterar la confiabilidad se sugiere implementar el principio de acolchonamiento anticipado escogiendo con mucho cuidado el tipo de material del asiento para que este no cause molestias al usuario.

En cuanto a la adaptabilidad del producto de movilidad a todas las funciones que queremos que realice se utiliza el principio de consolidación o combinación quien propone que un elemento realice diversas funciones simultaneas. En este caso nuestro producto busca el desplazamiento a través de ruedas. Se desea que el producto también pueda subir un escalón, así que podríamos implementar ambas tareas en un mismo elemento. Para esto nos ayudaremos también con el principio de incremento dinámico, el cual sugiere dividir un objeto en varios elementos de tal forma que se combinen de posición unos con otros. Las ruedas delanteras son las que sostienen la menor de las cargas y las primeras en enfrentarse a los escalones. Aquí se sugiere dividir las llantas delanteras en tres, implementando una configuración triangular que nos dará un nuevo rin. Así las llantas tendrán dos movimientos: uno de rotación en su propio eje y otro de traslación con un eje en común. Al llegar a un escalón la llanta superior tomara el lugar de la inferior y todas rotarán facilitando el ascenso y descenso en los escalones.

**Producto de movilidad-Anciano:** Para mejorar la confiabilidad del producto sin empeorar el peso (cuando se encuentra estático) se propone utilizar el principio de calidad local, haciendo un cambio de estructura homogénea a una heterogénea el cual puede ser aplicable en la estructura base y en el asiento. En la estructura base se monta un elemento rígido para soportar el asiento, este puede ser de algún polímero que sea suficientemente resistente e implementar otro elemento de un material más suave que será el asiento el cual tendrá la conexión directa con el usuario.

Para garantizar la seguridad del usuario se utilizará el principio de acción anticipada. Este nos hace referencia arreglar objetos con antelación de tal manera que entren en acción inmediatamente que sea necesario en el lugar adecuado. Para esto se propone un chaleco de seguridad que tendrá la función de un cinturón de seguridad, intentando no ser tan incómodo y evitar lastimar al usuario. Este elemento de seguridad garantizará que el usuario no caiga de la silla al realizar algún tipo de movimiento brusco. Se propone que sea de tela para no incrementar significativamente el peso.

Para mejorar la confiabilidad sin alterar el volumen del producto se propone el principio de extracción que sugiere separar o quitar la parte que nos genera problema. En este caso es el asiento. Para contar con una buena ergonomía el asiento debe ser suficientemente grande y acolchonado de acuerdo con las medidas antropométricas del usuario. Un asiento de estas características genera un mayor volumen en la silla y por consiguiente suele ser más pesada. Si nosotros separamos el acolchonamiento de la silla de la base del asiento, podremos quitar el asiento una vez que la persona no lo ocupe y el volumen de esta disminuirá significativamente. Para realizar esta tarea podemos utilizar el principio del mediador, el cual nos facilitará el montaje y desmontaje del acolchonamiento de nuestro asiento.

Para no incrementar la dificultad de operación se puede hacer uso del principio de materiales compuestos. En el caso del mediador se puede utilizar velcro entre nuestra base y el acolchonamiento, esto facilitará el montaje y desmontaje y evitará que el asiento deslice.

Para mejorar la confiabilidad sin incrementar la complejidad del objeto se recomienda utilizar el principio de inmersión. Este nos propone hacer móvil la parte del objeto que se encuentra fija y viceversa. Por lo que cambiaremos la forma de plegar la silla. Normalmente las sillas son simétricas y se pliegan transversalmente manteniendo la estructura rígida a lo alto y doblando el asiento de la parte ancha de este. Nosotros doblaremos la silla de una forma diferente. El respaldo del asiento se doblará hacia el frente evitando cambiar la anchura del asiento, por lo que la silla será rígida en la sección transversal y se doblará haciendo el respaldo hacia el frente.

**Producto de movilidad-Pavimento:** En este caso se busca mejorar la estabilidad del producto sin aumentar su peso de la misma por lo que se utilizará el principio de extracción el cual nos sugiere separar la parte que nos genera el conflicto. Las ruedas tienen contacto directo con el pavimento transmitiéndoles vibración generada por las irregularidades del pavimento. Esta vibración se propaga a toda la silla que funciona como un cuerpo rígido. Al separar las ruedas traseras y los soportes de las mismas de la estructura y unirlos con un amortiguador se pretende absorber una gran parte de esta energía para dar mayor estabilidad al producto y al usuario mismo.

Para facilitar la acción de subir y bajar un escalones se propone utilizar el principio de transición a una nueva dirección, el cual nos lleva a la misma solución resuelta en las contradicciones pasadas, dar mayor grado de libertad a las llantas delanteras generando además de su movimiento convencional rotatorio, generar otro de traslación y así de igual forma utilizar el concepto de principio del incremento dinámico. Para este último principio se sugiere revisar los movimientos que tendrán las llantas delanteras, porque además de su nueva función deben seguir cumpliendo con las ordinarias, que es, darle dirección y sentido a la silla. Se propone conectar el nuevo rin que contiene las tres llantas a un buge que rota en sí eje dándole movimiento de izquierda a derecha, teniendo como topes físicos la propia silla.

**Producto de movilidad-Cajuela:** El volumen de nuestro producto es un factor que se debe reducir para poder transportarse si empeorar otras características como la forma. Para ello se propone utilizar el principio extracción que nos sugiere quitar la parte que nos genera problema. En este caso el asiento, como se había planteado anteriormente, será desmontable. Podemos desmontar también las llantas traseras para que esta sea más portátil. Este mecanismo de desmonte es muy común en las sillas de rueda. De igual forma podemos aplicar el principio de anidación que nos sugiere que un objeto pase a través de la cavidad de otro, y así guardar dentro de la estructura las llantas delanteras y algunos otros miembros como los reposabrazos.

Para no disminuir la confiabilidad del producto se propone el principio de la extracción de algunas partes de la silla. Esta idea fue desarrollada con anterioridad en la extracción del asiento para que no sea necesario afectar las medidas del asiento y en consecuencia la comodidad del usuario. También se propone el principio de acción excesiva o parcial aplicado de igual forma al asiento. Este nos habla de obtener el 100% del efecto deseado, en este caso será la comodidad del usuario. Esto se lograría con pruebas ergonómicas individuales para los usuarios así como el uso de los materiales adecuados para el asiento.

Por último deseamos eliminar los daños generados por el propio objeto. Esto se logra utilizando el principio de vibración mecánica el cual fue aplicado en los puntos anteriores con el desarrollo del amortiguador. Este sistema reduce daños al usuario, así como a la propia silla.

Con esta información generada podemos comenzar a nombrar a nuestro producto de movilidad como silla de ruedas geriátrica.

### **3.4.2. *Diseño de sistemas y evaluación de conceptos***

Para desarrollar el diseño de nuestra silla de ruedas realizaremos una separación de sistemas internos o subsistemas la cual nos ayudara a desarrollar las características específicas del producto. Un sistema es

generalmente considerado una conglomeración de objetos que realiza una función específica [20]. Los subsistemas son elementos subordinados que interactúan entre sí para obtener los efectos deseados.

Para la creación de estos subsistemas se tomara en cuenta los resultados obtenidos en la sección 2.2.4.1. en donde se realiza la aplicación de los principios de diseño arrojados previamente por la matriz de contradicciones.

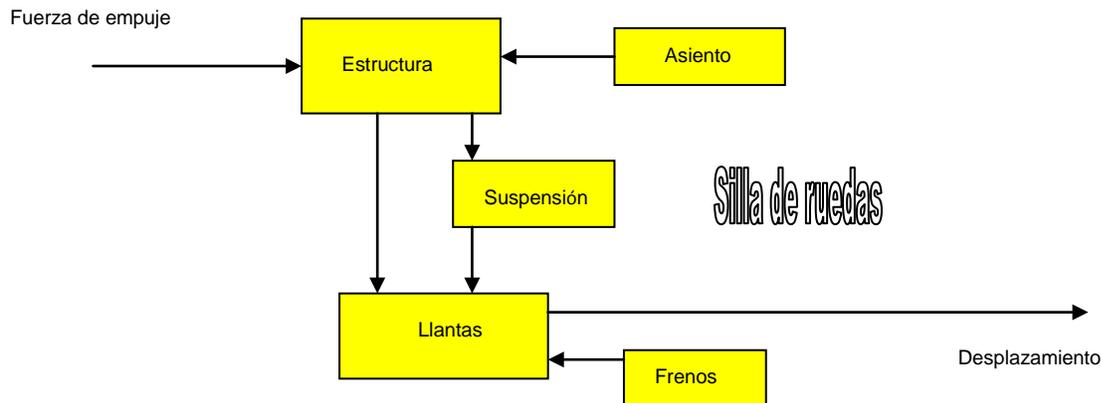


Figura 3.17 Representación de los sistemas internos o subsistemas (González Silvia, 2009)

Una vez definidos los subsistemas (Figura 3.17) se comenzó a generar ideas para cada uno de ellos. Estas ideas surgen de las sugerencias que nos brindó el uso de los principios de diseño. Las ideas se plasman en varios bosquejos los cuales son evaluados y seleccionados en matrices de selección. Después las ideas seleccionadas como las más óptimas son conjuntadas en el modelo inicial.

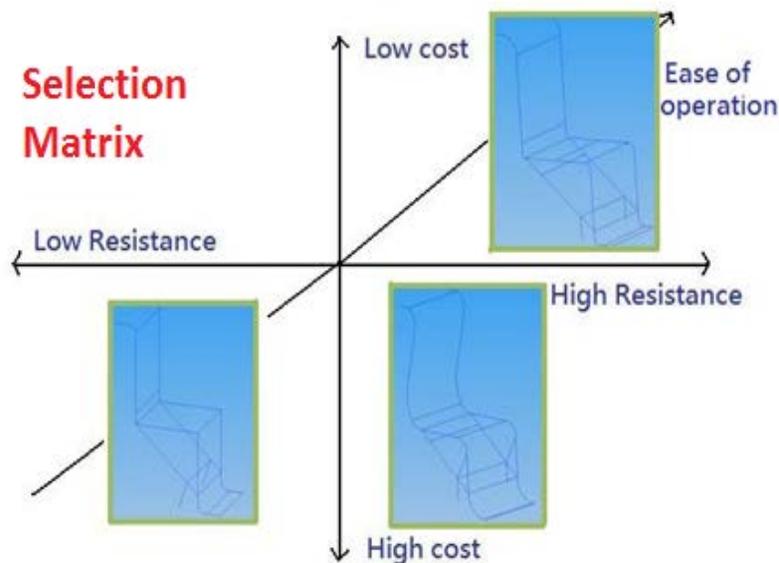


Figura 2.17 Selección de conceptos (Desarrollo CDMIT 2011)

### 3.5. El modelo inicial y sus características

El modelo inicial está constituido por 5 sistemas internos o subsistemas los cuales fueron definidos en la sección 2.2.4.1. El diseño conceptual entonces está constituido por:

1. Estructura
2. Asiento
3. Sistema de amortiguación
4. Llanta
5. Frenos

Las características de los subsistemas se describen a continuación:

#### 3.5.1. La estructura

La estructura tubular está dividida en dos secciones respaldo y base inferior. El respaldo cuenta con dos miembros transversales los cuales cumplen con dos funciones: son la base para unir el asiento y son un refuerzo que brinda mayor rigidez y seguridad a esta sección de la estructura. La base inferior de la estructura es un elemento rígido, el cual, en la vista superior posee una estructura cuadrada y un elemento de refuerzo en el centro. La base inferior y el respaldo están conectados por una pequeña articulación que le permite doblar el respaldo hacia el frente. Los reposabrazos tendrán una base tubular así como un refuerzo vertical y a los lados estarán cubiertos con una protección lateral. Estos elementos no van soldados a la silla, por lo que se pretende unirlos por un conector que les permita montarse y desmontarse a la estructura. Los reposapiés serán de un solo miembro el cual es fabricado de la misma estructura tubular para darle mayor rigidez.

#### 3.5.2. Asiento

El asiento está dividido en dos partes, base y acolchonamiento, la base estará pegada a la estructura y el acolchonamiento será extraíble y ergonómico. La base del asiento y el acolchonamiento se unirán con velcro y se contará con un chaleco de seguridad para evitar que el usuario caiga de la silla.

#### 3.5.3. Sistema de amortiguación

Para el amortiguador se diseñó una estructura que soporta la carga total del usuario y el peso de la silla misma. A su vez esta tiene dos brazos que soportan las llantas traseras. Dicha estructura está unida al asiento con un amortiguador de bicicleta que se monta sobre la tubular.

#### 3.5.4. Llantas

Cuenta con dos llantas neumáticas traseras comerciales que son desmontables. Para las ruedas delanteras se plantea una configuración triangular de tres ruedas pequeñas que se encuentran montadas en un rin, el cual permitirá un rodamiento libre y a su vez la traslación sobre un mismo eje para dar dirección a la silla.

### 3.5.5. Frenos

Los frenos son comerciales, mecánicos. Se plantea que se encuentren ubicados en la parte superior del respaldo para que la persona que empuja la silla pueda activarlos fácilmente. Y también se propone un freno de mano o de seguridad. En caso de permanecer por largo tiempo en una pendiente el usuario puede hacer uso de este tipo de freno.

### 3.5.6. Diseño conceptual del modelo inicial

Este modelo inicial es el resultado de la primera iteración del proceso de diseño planteado. Este es solo un diseño conceptual el cual tuvo como objetivo representar los resultados obtenidos de forma gráfica.



Figura 2.17 Modelo inicial (González, Silvia 2009)

Este concepto posee una propuesta de patente gracias a algunos elementos que son innovadores.

Para la segunda parte de este desarrollo se espera evaluar el nivel de desarrollo que posee la invención y analizar a detalle la interacción de los sistemas internos de la silla de ruedas.

## CAPITULO 4. RADAR DE EVOLUCIÓN

*En este capítulo se genera el radar de evolución del modelo inicial desarrollado en el capítulo 3 (sección 3.4). Este radar surge de las leyes de evolución de los sistemas tecnológicos (sección 2.2.1) y es una herramienta muy útil para conocer el desarrollo evolutivo que posee nuestro producto.*

*Para realizar el radar de evolución se hace uso del software CREAX Innovation Suite .Dicho radar es analizado al final del capítulo.*

### 4.1 Desarrollo del radar de evolución

Basado en las tendencias de evolución de los sistemas tecnológicos que TRIZ plantea, *CREAX Institute* desarrollo el software *CREAX Innovation Suite*, el cual incluye una herramienta para la identificación y desarrollo de las nuevas generaciones tecnológicas llamada *Evolutionary Potential*, el cual nos permite generar gráficamente un diagrama de evolución de nuestro producto o servicio.

Para el diseño de este radar CREAX muestra las tendencias evolutivas divididas en 3 grupos según sus características de aplicación las cuales son espacio, tiempo e interface mostradas en el siguiente listado:

#### ESPACIO

- ◆ Materiales inteligentes
- ◆ Segmentación del espacio
- ◆ Segmentación de la superficie
- ◆ Segmentación del objeto
- ◆ Cambio de macro a nano escala
- ◆ Redes y fibras
- ◆ Disminución de la densidad
- ◆ Incrementación de la asimetría
- ◆ Limite de ruptura
- ◆ Evolución geométrica de la construcción lineal
- ◆ Evolución geométrica de la construcción volumétrica
- ◆ Dinamización

#### TIEMPO

- ◆ Coordinación de la acción
- ◆ Coordinación del ritmo
- ◆ La no linealidad
- ◆ Cambio de monosistema a polisistema de objetos similares

- ◆ Cambio de monosistema a polisistema de varios objetos
- ◆ Cambio de nano a macro escala

#### INTERFASE

- ◆ Cambio de monosistema a polisistema de objetos similares
- ◆ Cambio de monosistema a polisistema de varios objetos
- ◆ Incrementación de monosistema a polisistemas diferentes
- ◆ Reducción de amortiguamiento
- ◆ Incrementación del uso de los sentidos
- ◆ Incrementación del uso del color
- ◆ Incrementación del uso de transparencia
- ◆ Enfoque de compra del cliente
- ◆ La evolución del mercado
- ◆ Diseño puntual
- ◆ Grados de libertad
- ◆ Limite de ruptura
- ◆ Reducción de complejidad del sistema
- ◆ Controlabilidad
- ◆ Decremento de la interacción humana
- ◆ Uso de metodologías de diseño
- ◆ Reducción de energía de n a cero.

Cada característica es definida según su aplicación en el sistema tecnológico y calificada según el avance evolutivo que esta mismo tenga. Así, es posible formar el radar evolutivo específico deseado y observar las posibles tendencias evolutivas que se puedan aplicar al desarrollo del producto o servicio.

#### **CASO DE APLICACIÓN: RADAR DE EVOLUCION DE UNA SILLA DE RUEDAS GERIATRICA**

En este caso analizaremos la evolución de nuestro primer modelo de silla de rueda geriátrica donde observaremos el nivel de desarrollo con el que cuenta y observaremos el nivel de evolución según las distintas tendencias de evolución seleccionadas. No todas las tendencias de evolución se aplican en todos los casos, así que solo analizaremos las que más se ajusten a nuestro producto.

##### **4.1.1. Materiales inteligentes**

Esta línea de evolución describe las características de adaptabilidad de los diversos materiales y formas del sistema tecnológico (figura 4.1). En nuestro caso existe un grado de adaptabilidad debido a que la invención se encuentra diseñada para brindar confort y comodidad al usuario a través del asiento.

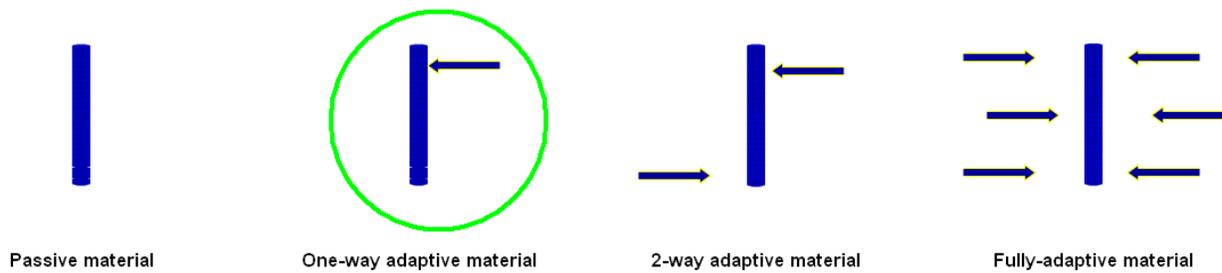


Figura 4.1 Materiales inteligentes (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*)

#### 4.1.2. Segmentación del espacio

Al considerar la segmentación (Figura 4.2) de nuestra invención podemos ubicarla en la segunda etapa debido a que la silla se encuentra segmentada en algunos sistemas y puede anidar algunas de sus partes en ella misma, así como doblar los reposabrazos y el respaldo.

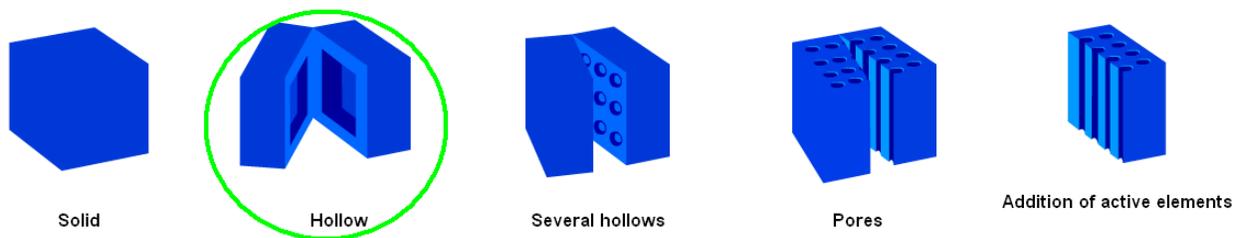


Figura 4.2 Segmentación del espacio (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*)

#### 4.1.3. Segmentación de superficie

En esta tendencia de evolución se observa la superficie del sistema tecnológico, por lo que se considera calificarlo en un desarrollo con protuberancias en un plano 2D (Figura 4.3). Esto debido a que las llantas traseras son propuestas semineumáticas con huella para tener una mejor adherencia al piso.

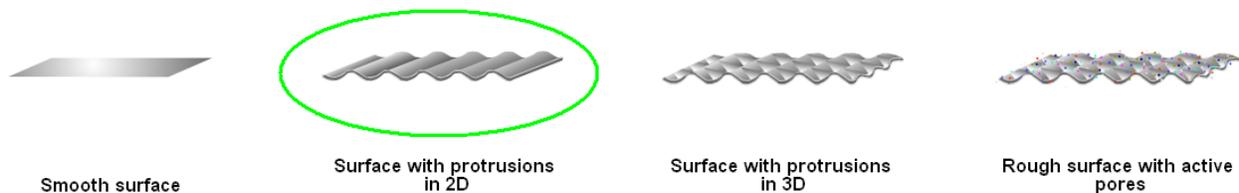


Figura 4.3 Segmentación de superficie (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*)

#### 4.1.4. Segmentación del objeto

En esta tendencia de evolución se considero que el sistema tecnológico se encuentra separado en distintos sistemas por lo que lo se ubico en el nivel de alto segmentación de sólidos (Figura 4.4).

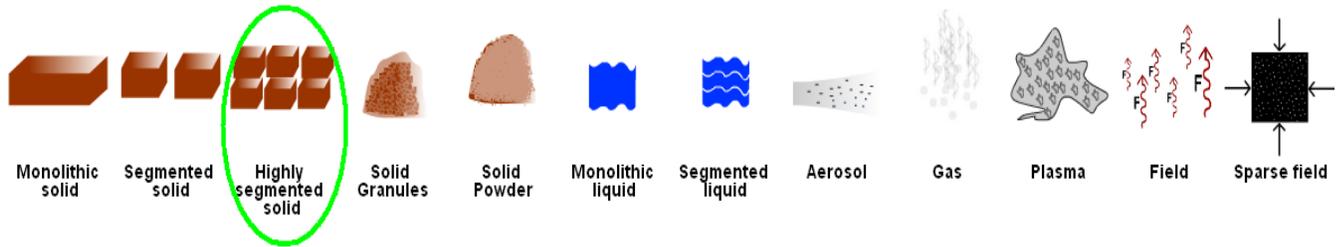


Figura 4.4 Segmentación del objeto (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*)

#### 4.1.5. Redes y fibras

El sistema tecnológico cuenta con una capa homogénea de materiales de acuerdo a los distintos sistemas por lo que se encuentra ubicado al inicio de esta tendencia evolutiva (Figura 4.5).

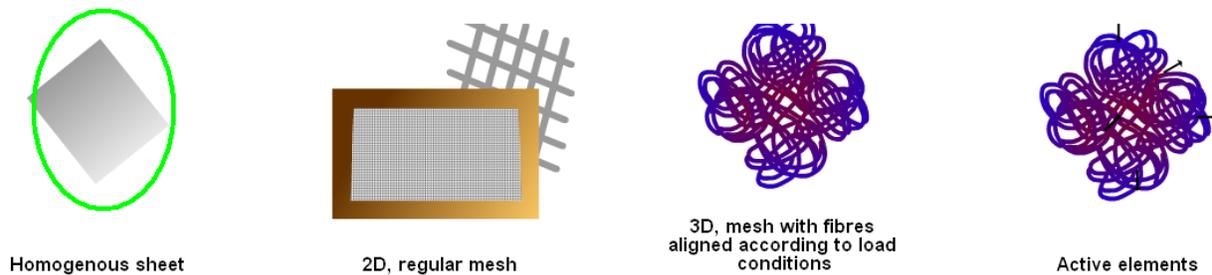


Figura 4.5 Redes y Fibras (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*)

#### 4.1.6. Evolución geométrica de la construcción volumétrica

Esta tendencia evolutiva define las características físicas del sistema evolutivo de acuerdo con la forma y el volumen que esta posee (Figura 4.6). Al observar la forma de la silla de ruedas podemos ver claramente que posee curvas dentro de un plano de 3D por lo que podemos ubicarla en el penúltimo peldaño de la evolución de dicha característica.

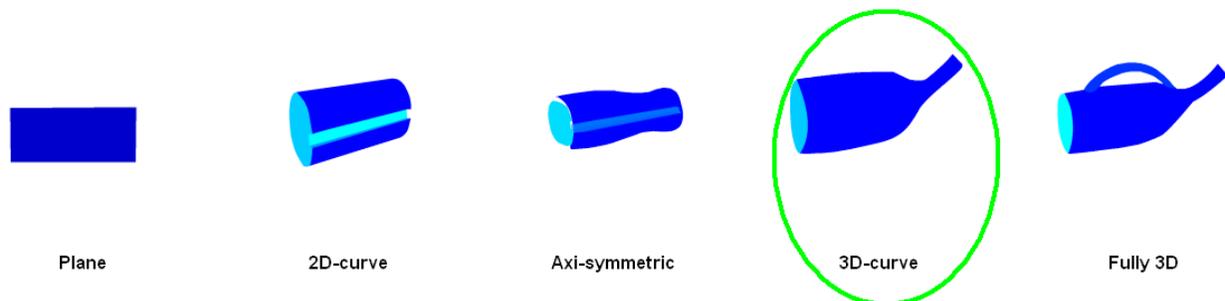


Figura 4.6 Evolución geométrica de la construcción volumétrica (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*)

#### 4.1.7. Dinamización

La dinamización es una línea de evolución muy observada en los sistemas tecnológicos. Esta se refiere a la flexibilidad de los componentes de acuerdo a las articulaciones que posean (Figura 4.7). Nuestro sistema tecnológico refiere una etapa de múltiples articulaciones debido a que se puede doblar en algunos puntos específicos con la finalidad de que se pueda guardar fácilmente en lugares reducidos.

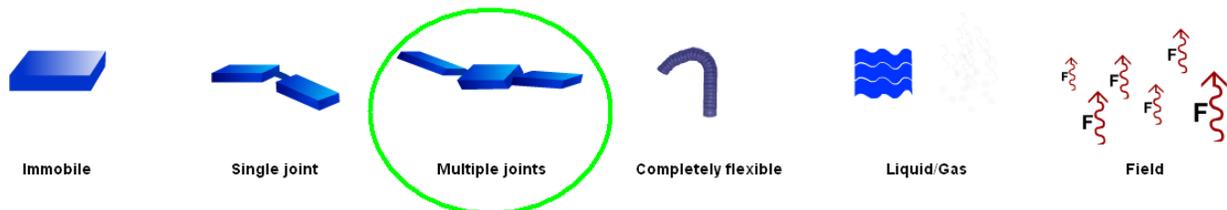


Figura 4.7 Dinamización (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*)

#### 4.1.8. No-linealidad

La no-linealidad está referida al desarrollo lineal del sistema tecnológico con respecto del tiempo (Figura 4.8). En el caso de nuestra silla se encuentra colocado en la segunda etapa de aceptación del sistema debido que las sillas de ruedas predecesoras son fabricadas para todo tipo de usuarios sin importar su edad o padecimiento físico. La silla de ruedas geriátrica, como su nombre lo indica, esta diseñadas para un grupo específico de usuarios adaptándose a sus características y necesidades. Con esto observamos que la tendencia lineal comienza a acercarse más a los desarrollos personalizados.

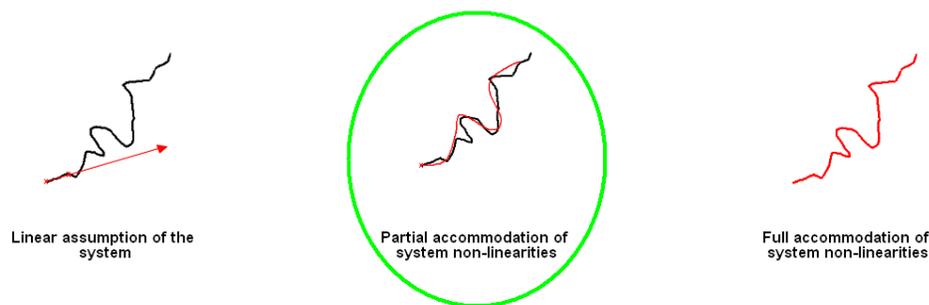


Figura 4.8 No-linealidad (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*)

#### 4.1.9. Mono-sistema a poli-sistema

En esta línea de evolución del sistema de evolución relacionada con la interface se encuentra altamente desarrollado de acuerdo a que presenta poli-objetos similares en las llantas delanteras (Figura 4.9). Gracias a la configuración de rin triangular se tiene 6 llantas idénticas ubicadas en la parte delantera que tienen como objetivo el ascenso de escalones.



Figura 4.9 Mono-sistema a poli-sistema (Extraída del software CREAX Innovation Suite).

#### 4.1.10. Incrementación del uso del color

Nuestro sistema tecnológico se encuentra ubicado en un desarrollo medio del uso de color debido a que fue implementado para mejorar la estética del producto (Figura 4.10).

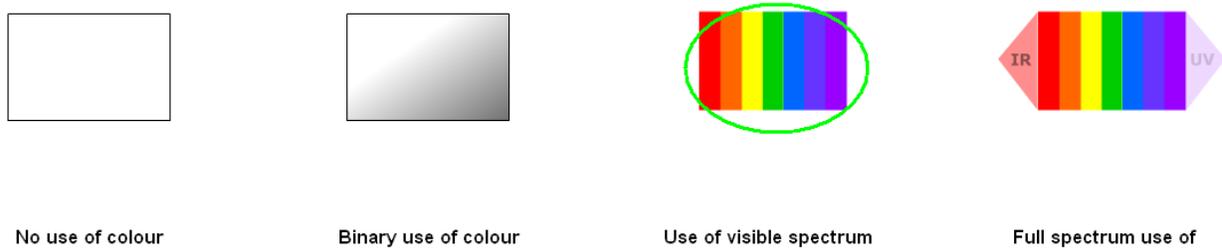


Figura 4.10 Incrementación del uso del color (Extraída del software CREAX Innovation Suite).

#### 4.1.11. Enfoque de compra del cliente

En la línea de evolución referida al enfoque de compra del cliente podemos ubicar nuestro producto en conveniente. Este producto fue diseñado y dirigido específicamente a un grupo de usuarios, lo cual brinda un mayor valor y se convierte en un producto conveniente sobre los demás existentes en el mercado (Figura 4.11).

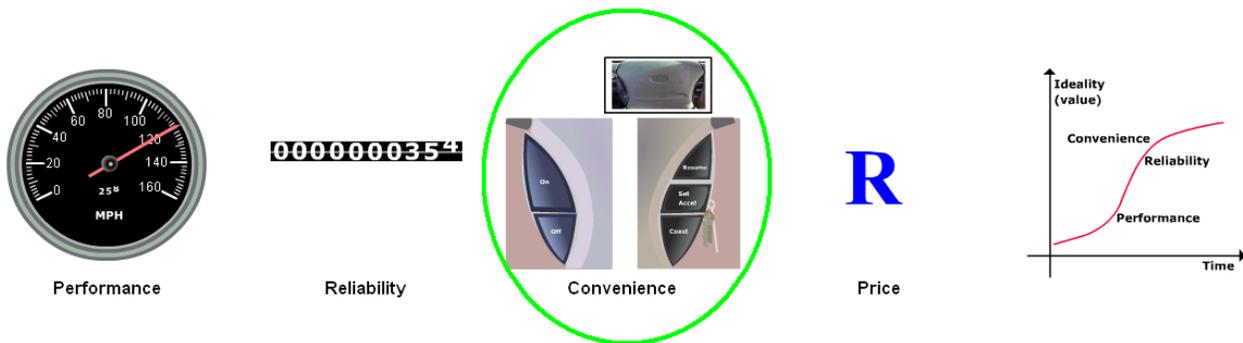


Figura 4.11 Enfoque de compra del cliente (Extraída del software CREAX Innovation Suite).

### 4.1.12. Grados de libertad

En esta línea de evolución, podemos ubicar a nuestro sistema tecnológico en la etapa de 3 grados de libertad debido a la configuración de las llantas delanteras (Figura 4.12). Dicha configuración da tres grados de libertad al permitir que las llantas delanteras se desplacen sobre un eje, roten sobre su propio eje y giren en un eje en común.

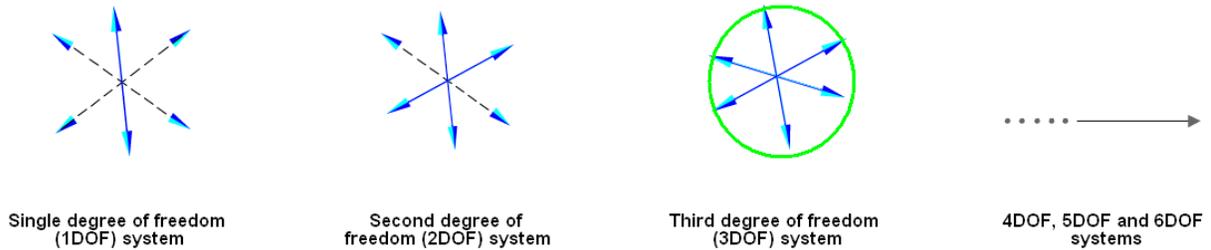


Figura 4.12 Grados de libertad (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*).

### 4.1.13. Reducción de complejidad del sistema

En la línea de evolución de reducción de complejidad (Figura 4.13) del sistema nos encontramos al inicio debido al número de componentes con el que cuenta nuestro sistema tecnológico.

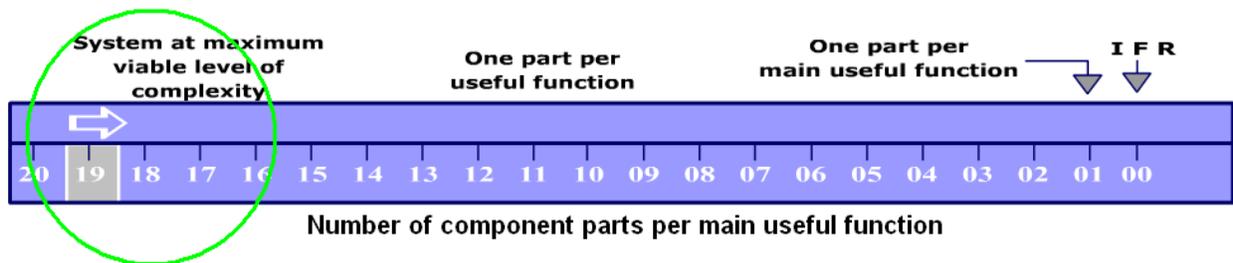


Figura 4.13 Reducción de complejidad del sistema (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*).

### 4.1.14. Controlabilidad

La controlabilidad (Figura 4.14) de nuestro sistema tecnológico se encuentra en la etapa inicial debido a que el control es directo, no existen sistemas intermedios para el control de la silla de ruedas.

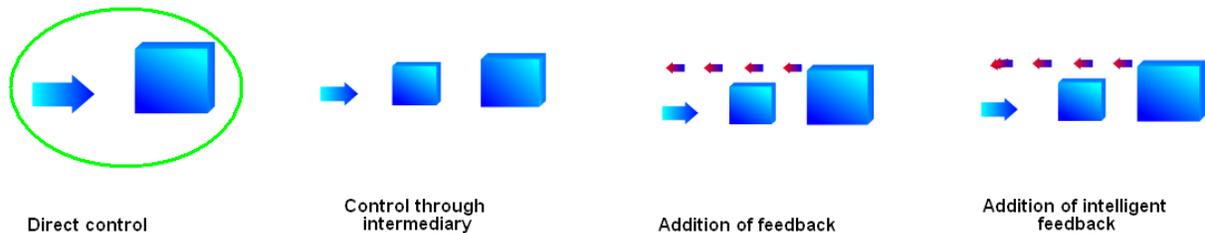


Figura 4.14 Controlabilidad (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*).

#### 4.1.15. Decremento de la intervención humana

La línea de evolución que se refiere al decremento de la intervención humana evalúa la interacción del hombre y la energía que se aplica para hacer funcionar el sistema tecnológico (Figura 4.15). La silla de ruedas se tiene solo una interacción entre hombre y herramienta.

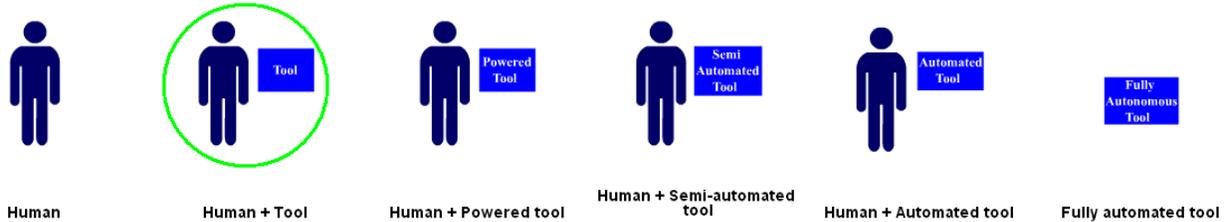


Figura 4.15 Decremento de la intervención humana (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*).

#### 4.1.16. Metodología de diseño

En esta línea de evolución se califica la forma de desarrollo del diseño de acuerdo con sus avances y forma de desarrollo (Figura 4.16). En nuestro sistema tecnológico se implementó recursos de diseño, y se han realizado desarrollos independientes por mecanismos y sistemas, por ello se encuentra en la etapa de muestra de degradación de efectos.



Figura 4.16 Metodología de diseño (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*).

#### 4.1.17. Reducir la energía de conversión de n a 0

Al ser una silla de ruedas totalmente mecánica ubicamos a nuestro sistema tecnológico en la etapa de mayor desarrollo dentro de esta línea de evolución (Figura 4.17).

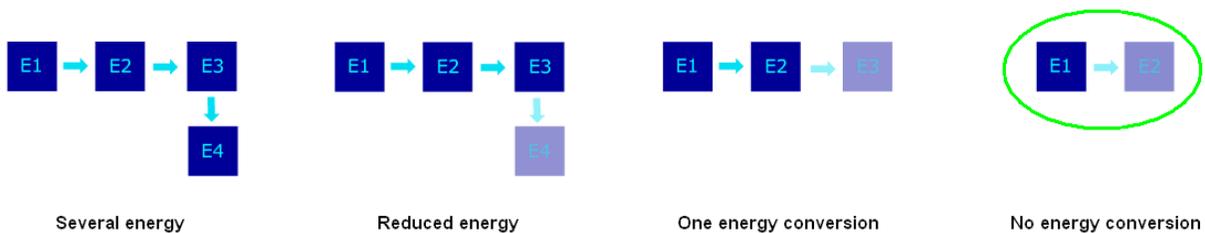
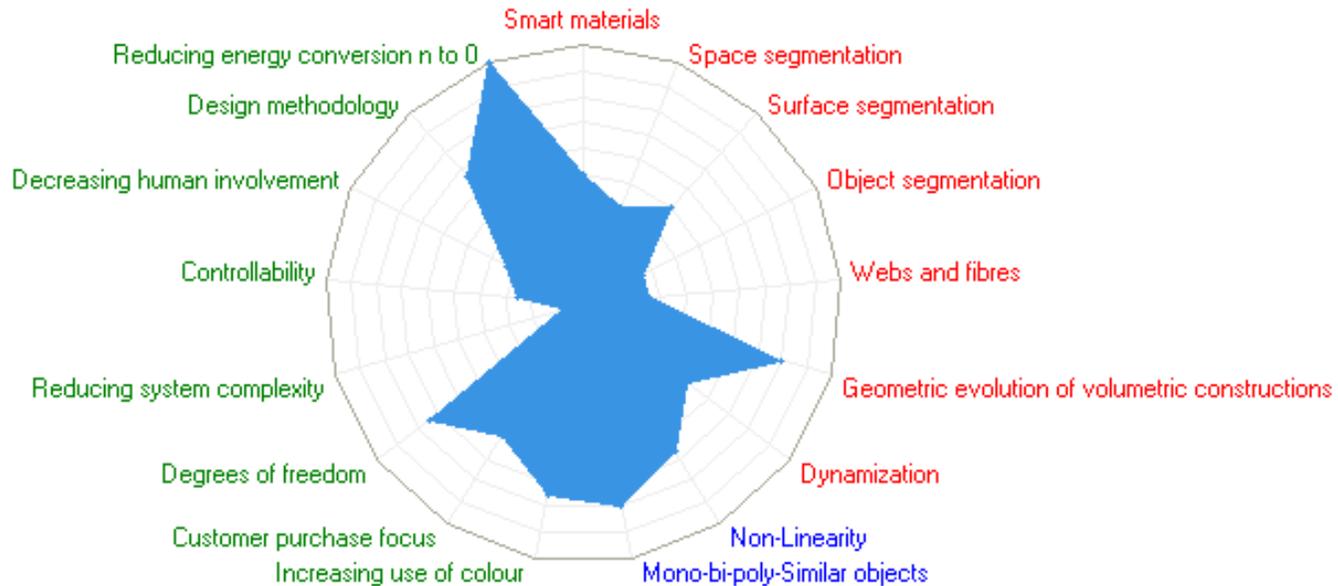


Figura 4.17 Reducir la energía de conversión de n a 0 (Extraída del *software CREAX Innovation Suite*).

## 4.2. Grafica del radar

Finalmente obtenemos el siguiente radar de evolución:



En el radar podemos observar que nuestro sistema tecnológico se encuentra muy desarrollado en el uso eficiente de la energía, cuenta con una buena geometría volumétrica y amplios grados de libertad, pero aún es débil en el uso de fibras, y la complejidad del sistema en general.

## 4.3. ANALISIS DE LAS TENDENCIAS DE EVOLUCION

Al observar el nivel de desarrollo que posee la silla de ruedas en cada una de las líneas de evolución seleccionadas, obtenemos un análisis de las tendencias evolutivas que podemos seguir para realizar el tan esperado “salto tecnológico” y llevar a nuestro sistema tecnológico a la siguiente evolución. Este análisis es presentado en la siguiente tabla.

Tabla 4.1 Análisis de tendencias de evolución

Tendencia de evolución	Nivel de desarrollo	Propuesta de mejora
Materiales inteligentes	Con el confort del asiento se tiene un grado de adaptabilidad.	Se puede buscar mayor adaptabilidad para el usuario en materiales o formas.
Segmentación del espacio	Se tiene un nivel de huecos para la anidación de las llantas delanteras.	Se puede llegar a una forma mayor de acoples para ensamblar piezas.
Segmentación de la superficie	Las llantas traseras son rugosas y poseen protuberancias en 2D.	Se pueden incrementar las protuberancias a un plano 3D tanto en llantas como en el asiento.
Segmentación del objeto	La silla de ruedas se encuentra segmentada en sistemas conformados de distintas piezas.	Se propone que alguno de los sistemas cambie de materia. Como ejemplo podríamos modificar el sistema de amortiguación mecánico por un hidráulico.
Redes y fibras	En el desarrollo que se tiene solo se utilizan materiales homogéneos.	Se propone comenzar a utilizar mezcla de materiales como fibra de vidrio para algunas secciones de la estructura.
	La estructura cuenta con un diseño tubular con curvas en 3D.	Se propone aumentar la complejidad de la dirección de las curvas para mejorar la apariencia y reducir elementos.
Dinamización	La estructura posee articulaciones para doblar la silla y poderla guardar.	Se podrían tener algunos elementos que fueran completamente flexibles como reposabrazos (elementos que no perjudiquen la estabilidad de la silla).
La no linealidad	La silla de ruedas se encuentra personalizada para un grupo específico de usuario.	La tendencia de evolución será seguir la personalización y el ajuste de los distintos elementos adaptándose totalmente al usuario.
Mono-sistema a poli-sistema	En nuestro sistema contamos con varias llantas similares que se encuentran en el rin delantero.	El siguiente paso de evolución sugiere optimizar la eficiencia de los poli sistemas. Esto lo podemos lograr mejorando el funcionamiento de la configuración del rin triangular minimizando la demanda de funciones que posee.
Incrementación del uso del color	En nuestro sistema tecnológico se implemento la utilización de diversos colores para una mejora estética.	Se propone optimizar el uso de estos colores dando un diseño emocional para el usuario creando una mejor estética y aceptación.
Enfoque de compra del cliente	La silla de ruedas al ser un producto personalizado para un grupo específico de usuarios es conveniente en comparación con sus similares.	El siguiente paso en la cadena evolutiva es mejorar notablemente el precio. Podríamos enfocarnos en mejorar la manufactura de las piezas.
Grados de libertad	La silla de rueda cuenta con 3 grados de libertad ya que se desplaza en dirección recta, gira y sube un escalón.	Incrementar un sistema de dirección que le brinde un mejor desplazamiento y aumentar las direcciones del desplazamiento de la silla de ruedas.

Tendencia de evolución	Nivel de desarrollo	Propuesta de mejora
Reducción de complejidad del sistema	El sistema cuenta con alto grado de complejidad debido a que posee un gran número de piezas.	La tendencia de evolución es reducir la complejidad y el número de piezas. Esto lo podemos aplicar conjuntando algunos de los sistemas.
Controlabilidad	La silla de rueda posee un control manual de dirección.	Podemos implementar un intermedio para eficientar la controlabilidad de la silla así como disminuir el esfuerzo aplicado para moverla.
Decremento de la interacción humana	De igual manera que la línea de evolución anterior, el sistema es completamente manual y la fuerza aplicada viene directamente del usuario externo que mueve la silla .	Implementar un motor de reducción para que la fuerza aplicada del usuario sea mínima.
Uso de metodologías de diseño	En el desarrollo del modelo inicial se utilizaron dos metodologías de diseño y fue separado en sistemas y a su vez en mecanismos no independientes.	Se buscará separar más los mecanismos para eficientar su funcionalidad así como introducir una nueva metodología de diseño que nos ayudará a definir materiales de fabricación.
Reducir la energía de conversión de n a 0	En esta tendencia evolutiva el sistema tecnológico se encuentra totalmente desarrollado debido a que solo se cuenta con energía mecánica.	

El radar de evolución es una herramienta muy útil para visualizar las características actuales del producto así como la predicción de la evolución que podría tener el producto en su siguiente generación. Algunas soluciones podrían no aplicarse por falta de tecnología existente y mantenerse en el mismo nivel. Algunas podrían verse afectadas al mejorar otra, debido a la conexión interna de los subsistemas. Lo importante en este capítulo es resaltar la capacidad que nos brinda TRIZ para conocer mejor nuestro producto y así poder realizar una comparación directa con productos existentes. También darnos la pauta para conocer las tendencias de evolución a seguir para realizar una innovación.

Los resultados obtenidos se retomarán en el capítulo 6 durante el desarrollo del diseño conceptual.

## CAPITULO 5. GENERACION DE DIAGRAMA DE FUNCION

*En este capítulo veremos a TRIZ como una metodología para el desarrollo efectivo de nuevos sistemas tecnológicos. Esto nos ayudara a resolver problemas puntuales de configuración con el propósito de alcanzar una mejora en el diseño de un sistema tecnológico. Utilizaremos solo algunas herramientas de TRIZ para generar mejoras en el caso de aplicación “Silla de ruedas geriátrica” y obtener un sistema tecnológico con un mayor grado de innovación.*

*Se desarrollan las herramientas sustancia-campo y resolución de contradicciones físicas aplicadas al caso de estudio.*

### 5.1. Análisis del caso de estudio.

Para el caso de aplicación es necesario definir las funciones internas y la interacción que tienen entre sí, para así poder evaluar con mayor detalle los conflictos que las sustancias de nuestro sistema tecnológico genera internamente (véase la sección 2.2.3 y 2.2.4 ).

Como se menciona en el capítulo 3 (sección 3.4.2.), el sistema tecnológico (la silla de ruedas) se encuentra dividida en 5 subsistemas, que a su vez poseen elementos subordinados que interactúan entre sí para obtener los efectos deseados.

#### 5.1.1. Modelo de Relación

El modelo de relación es un elemento auxiliar que nos ayuda a ilustrar la conexión que existe entre los diversos subsistemas (figura 5.1). Este modelo nos servirá para identificar las funciones y las relaciones que existen entre cada elemento.

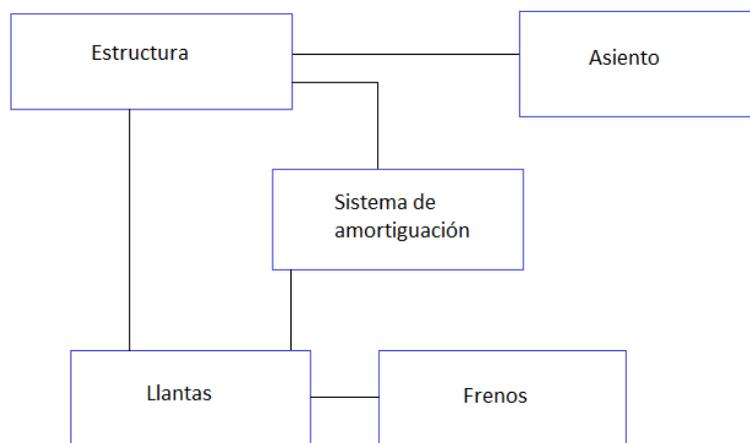


Figura 5.1 Modelo de relación de los subsistemas

### 5.1.2. Tabla de análisis de los subsistemas

Cada uno de estos subsistemas contiene sustancias que generan funciones específicas, pero algunas no son las deseadas. En la tabla se muestra el análisis de los subsistemas así como sus funciones y la evaluación de desempeño.

Elementos	Acción	Objeto	Tipo de función	Evaluación del desempeño de la función.
Llantas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desplazamiento</li> <li>• Subir y bajar</li> <li>• Direccionar</li> </ul>	Llantas Rin triangular	Principal Secundaria Principal	Satisfactoria Insuficiente Mala
Sistema de amortiguamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disipar energía</li> <li>• Soportar</li> </ul>	Amortiguador Estructura	Secundaria Primaria	Excesiva Satisfactoria
Estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soportar</li> <li>• Plegar</li> <li>• Extraer</li> </ul>	Tubular inferior Respaldo Reposabrazos	Primaria Secundaria Secundaria	Satisfactoria Satisfactoria Satisfactoria
Asiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soportar</li> <li>• Soportar</li> <li>• Extraer</li> </ul>	Parte rígida Parte suave Interface	Primaria Primaria Auxiliar	Satisfactoria Satisfactoria Satisfactoria
Frenos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frenar</li> </ul>	Frenos	Principal	Satisfactoria

Tabla 5.1 Definición de Funciones

Como podemos observar en la tabla, existen dos subsistemas que poseen conflictos dentro de sí mismos.

El primero es el subsistema de llantas. El rin triangular posee dos funciones, una principal y una secundaria. La principal es el generar la dirección a la silla, la cual es evaluada como mala al no cumplir con su objetivo. La segunda es una función secundaria que plantea dar la capacidad de subir y bajar escalones al resto de la silla, pero es calificada como insuficiente debido a la inestabilidad que genera el rin al poseer dos grados de libertad.

El segundo conflicto lo encontramos en el subsistema de amortiguamiento. El sistema de amortiguamiento consta de dos elementos: Un amortiguador y una estructura tubular flexible que soporta este amortiguados y conecta este sistema con las llantas traseras. El amortiguador disipa la energía que se genera al circular por terrenos inadecuados, pero esta vibración puede ser excesiva y generar inestabilidad al resto del sistema, es especial a la estructura inferior del sistema que es la base de la silla de ruedas y que soporta el resto de los subsistemas.

### 5.1.3. Diagrama de función (Interno)

Estos conflictos pueden ser observados gráficamente a través del diagrama de funciones internas de la silla de ruedas (Figura 5.2) Aquí se observan los subsistemas en interacción y las evaluación grafica de las funciones, con su respectiva acción.

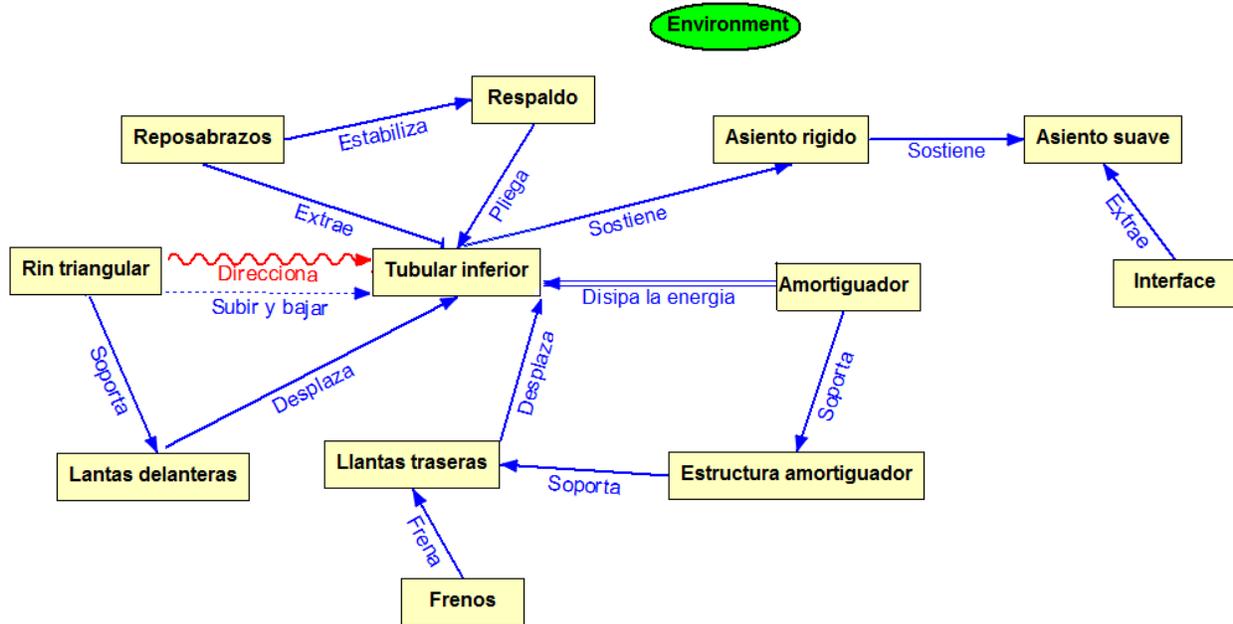


Figura 5.2 Diagrama de función interno (realizado en *CREAX Innovation Suite*)

Para analizar estas contradicciones encontradas podemos descomponerlas en pequeños diagramas de sustancia-campo donde analizaremos sus efectos físicos tomando en cuenta solo las sustancias que están generando el conflicto.

### 5.1.4. Diagrama sustancia-campo (Llantas)

En el diagrama sustancia-campo se modela el conflicto generado por el rin triangular y la estructura tubular inferior. Existen dos funciones, P1 es la mala dirección que brinda el rin a la estructura tubular y P2 la insuficiente acción que realiza el rin al subir y bajar un escalón. P2 es consecuencia de P1. El rin triangular contiene 3 grados de libertad para poder generar la función de dirección, esto como consecuencia genera una pérdida de estabilidad debilitando la acción de subir y bajar. En la figura 4.7 se muestra el diagrama sustancia-campo del rin delantero. Consideramos un campo mecánico.

Fm: Campo mecánico

S1: Estructura tubular inferior

S2: Rin triangular

P1: Función dirección

P2: Función de subir y bajar

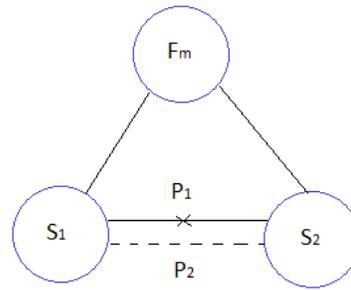


Figura 4.7 Diagrama sustancia campo (llantas)

La sustancia S2 está generando una mala acción sobre S2 y ambas están generadas dentro de un campo mecánico.

Las soluciones estándar de los diagramas sustancia-campo sugiere introducir un nuevo par (un nuevo campo y una nueva sustancia) generando una cadena de sistemas la cual mejora el desempeño de S2.

Se propone añadir una sustancia S3 que será un sistema de dirección y un campo eléctrico Fe que será el encargado de generar P1 sobre S3. A su vez S3 estará conectado directamente con S1 proporcionando la dirección a la tubular disminuyendo la complejidad del sistema S2, el cual puede enfocarse a mejorar solo la función complementaria y como consecuencia directa se mejora la función P2.

Diagrama sustancia-campo

Fm: Campo mecánico

Fe: Campo eléctrico

S1: Estructura tubular

S2: Rin triangular

S3: Nuevo sistema de dirección

P1: Función dirección

P2: Función de subir y bajar

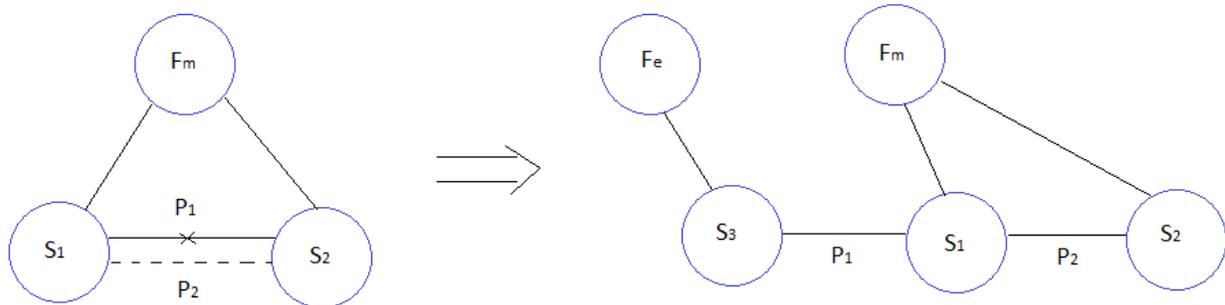


Figura 4.8 Diagrama solución sustancia-campo (llantas)

Podemos resumir que la solución encontrada para nuestro conflicto es la introducción de un sistema de dirección eléctrico que se conectare directamente a la estructura tubular, así optimizando de una manera indirecta la eficiencia del rin triangular que solo realizara la función de subir y bajar un escalón.

### 5.1.5. Diagrama sustancia-campo (Sistema de amortiguamiento)

Nuestro segundo diagrama sustancia-campo es presentado la acción insuficiente que genera el sistema de amortiguamiento. En este caso se presenta un caso simple de diagrama sustancia-campo con una función que es efectuada excesivamente.

Donde:

F<sub>m</sub>: Campo mecánico

S<sub>1</sub>: Estructura tubular inferior

S<sub>2</sub>: Amortiguador

P<sub>1</sub>: Disipación de energía

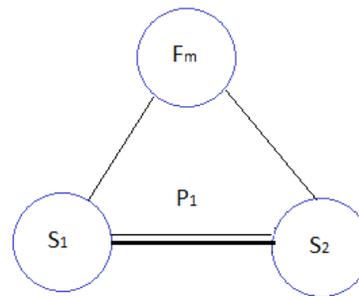


Figura 4.9 Diagrama sustancia-campo (Sistema de amortiguamiento)

En este diagrama sustancia-campo podemos observar una contradicción técnica la cual será cambiada a contradicción física para facilitar su resolución. Esta contradicción es identificada en el amortiguador, el cual genera una inestabilidad a la estructura tubular inferior. Esta tubular es el soporte de la silla y tiene contacto directo con el asiento. Al encontrarse conectada directamente con el amortiguador le transmite un exceso de disipación de energía lo cual da como resultado la inestabilidad de la silla. Abordando esta contradicción física planteando el marco de contradicciones. Primero se definen las acciones A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> así como las propiedades contradictorias P y -P.

A<sub>1</sub>= Disipar energía

A<sub>2</sub>= Inestabilidad

P= Rigidez

-P=Flexibilidad

S<sub>1</sub>: Estructura tubular inferior

S<sub>2</sub>: Amortiguador

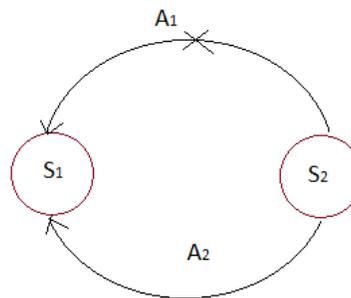


Figura 4.10 Diagrama contradicciones físicas (sistema de amortiguamiento)

En este caso se propone un cambio de componente en conflicto. Se busca proporcionar la acción útil, sin generar los conflictos negativos. Para eliminar la contradicción física se utilizara el principio de separación entre las partes del todo. Esto refiere en un sistema tecnológico mientras un componente posee propiedades P otro componente tiene propiedades  $-P$ .

El amortiguador se encuentra conectado a la estructura tubular como un elemento intermediario. Este tiene la tarea de disipar la energía de vibración que genera el suelo irregular. El primer elemento que interactúa directamente con la energía de vibración son las llantas traseras, luego estas son soportadas por la estructura tubular flexible del sistema de amortiguamiento y por último es transmitida al amortiguador, el cual genera una inestabilidad a todo el sistema. Se plantea separar las funciones trasladando la acción de disipar la energía a las llantas traseras evitando la inestabilidad que generaba directamente el amortiguador sobre la estructura tubular inferior. Con esto se logra rigidez en la estructura tubular inferior añadiendo la flexibilidad directamente en las llantas traseras con amortiguadores independientes que a su vez sean flexibles.

Se puede apreciar que la combinación de la aplicación de los diagramas sustancia-campo y las contradicciones físicas simplifica el análisis abriendo la propiedad de encontrar una pronta solución a un problema complejo.

Estas herramientas de TRIZ se pueden utilizar en etapas avanzadas de diseño previas al diseño a detalle, donde pueden comenzar a surgir problemas técnicos entre los subsistemas que anteriormente no se habían detectado.

Cabe destacar, que de la misma forma que las otras herramientas de TRIZ, las soluciones encontradas a través de los diagramas de sustancia-campo y las contradicciones físicas solo serán una guía general para la elaboración de un diseño conceptual que cumpla con estas características garantizando la eliminación de los conflictos técnicos.

Los resultados obtenidos en este capítulo serán desarrollados más profundamente en el siguiente capítulo en la etapa de diseño de conceptos.

## CAPITULO 6. SEGUNDA ITERACION DE DISEÑO

*En este capítulo se mostrara el desarrollo del nuevo diseño conceptual abordando las etapas del diseño considerando las etapas de: planteamiento del problema, generación de conceptos, modelos realizados y prototipo final. En este capítulo se desarrollan diversos prototipos, los cuales se encuentran definidos y categorizados por Ulrich [41] (sección 2.2.7).*

*Se muestra la conjunción obtenida en los capítulos anteriores para la creación del nuevo modelo así como definir características de este. El resultado final de este trabajo es un diseño conceptual virtual mostrado al final de este capítulo.*

### 6.1. Diseño inicial

El concepto de un producto es una descripción aproximada de la tecnología, principios de trabajo y forma del producto. Este es una adscripción precisa de la forma en que el producto va a satisfacer las necesidades del cliente (sección 2.1). Un concepto puede presentarse como un bosquejo, o como un modelo tridimensional que en ocasiones es acompañado de una breve descripción conceptual [41].

Como se menciona en el capítulo 1 (sección 1.4), este trabajo parte de un desarrollo previo. Dicho desarrollo ha tenido como alcance un diseño conceptual surgido a través de la aplicación de herramientas de TRIZ en combinación con UCD (sección 3.5). Se propuso una configuración de subsistemas (sección 3.4.2.) que cumple con las necesidades de nuestro usuario identificadas previamente. (sección 3.1)Esto se modeló a través de un diseño conceptual figura 6.1. Este diseño no contaba aún con el análisis profundo de la interacción de sus subsistemas.



Figura 6.1 Modelo inicial (González, Silvia 2009)

En este primer modelo se planteó una separación de subsistemas:

- Llantas
- Asiento
- Estructura tubular
- Sistema de amortiguamiento
- Sistema de frenos

Los subsistemas propuestos fueron modelados con el objetivo de ejemplificar la solución encontrada al utilizar las herramientas de TRIZ, pero sus alcances no fueron mayores a un diseño conceptual.

El análisis que se realiza en este trabajo tiene como finalidad conocer la interacción de estos subsistemas internos, para identificar su funcionamiento y su eficiencia como parte del sistema.

De acuerdo al modelo de relación y el análisis de funciones planteado en el capítulo 5 (sección 5.1.1. y 5.1.2) se han detectado conflictos internos en los subsistemas, por lo que es necesario redefinirlos. Así mismo, se pueden observar algunas posibilidades de mejora dictadas por las líneas de evolución, que dicta el radar de evolución (sección 4.3).

Estas herramientas de TRIZ son efectivas durante el rediseño de un producto en la etapa previa del diseño a detalle. Estas nos ayudan a esclarece la relación que existe entre los sistemas internos y a generar opciones de desarrollo evolutivo para realizar un modelo innovador y eficiente.

El método de desarrollo de productos que plantea Ulrich (2009) [41] considera el diseño como un proceso iterativo. Cada una de las iteraciones realizadas nos acercara más al producto final que satisfaga las necesidades del usuario.

En este trabajo se realizó una segunda iteración para conocer más profundamente a los expertos y analizar los tipos de usuarios que intervienen en el producto. Se generaron nuevos diseños y con la ayuda de las herramientas de TRIZ se generó un nuevo concepto.

## 6.2 Generación de conceptos

En esta etapa se retoma la metodología descrita en el capítulo 2 (sección 2.1) el cual menciona la combinación de las teorías de diseño TRIZ y UCD.

Como se menciona en el capítulo 3 (sección 3.1), las características primordiales de un buen diseño se encuentran basadas en conocer claramente el problema y las necesidades del cliente. Para saber si nuestro diseño va por la vía correcta se realiza una segunda etapa de análisis de necesidades. Esta se encuentra enfocada esta vez a conocer a los expertos en fabricación de sillas de ruedas y las necesidades del que llamaremos como “segundo usuario”. Replanteamos escenarios y definimos nuevas necesidades.

Posteriormente pasamos a la etapa de realizar la generación de nuevos conceptos basándonos primordialmente en los resultados obtenidos con la aplicación de TRIZ en sus distintas herramientas.

### 6.2.1. Replanteamiento del problema

Se realizaron entrevistas con expertos en fabricación de sillas de rueda y se discutió las características y los conflictos que genera la introducción de un amortiguador conectado directamente al asiento. Según los expertos, esto genera inestabilidad en el usuario y produce falta de confianza al utilizar el producto. Una excesiva amortiguación lleva a la inestabilidad de la silla de ruedas y una fatiga a largo plazo de los materiales. También genera inseguridad y desconfianza para los usuarios. Esto nos llevo al planteamiento de una nueva opción para el sistema de amortiguamiento.

Un segundo análisis se genera al plantear nuevos escenarios en los cuales identificamos nuevas necesidades. Analizando la situación en que viven los adultos mayores, hemos observado la importancia del “segundo usuario” que es el encargado de cuidar de ellos, atenderlos y ayudarlos a trasladarse. El segundo usuario tiene una interacción muy directa con la silla de ruedas y es necesario definir nuevas necesidades para facilitar la realización de su labor.

El segundo usuario será el encargado de guardar la silla de ruedas en la cajuela del auto, ensamblarla y desensamblarla, empujarla y brindar seguridad al subir y bajar un escalón. Estas tareas no son nada fáciles si resaltamos que el segundo usuario generalmente es una mujer o una persona de la tercera edad.

Se observó otra característica muy importante, la necesidad de mejorar la estética. La imagen visual transmite sentimientos positivos o negativos a las personas, esto es, el deseo de utilizar el producto o el rechazo del mismo. Para la mayoría de las personas una silla de ruedas es un objeto no deseado (aunque este te brinde un bien) porque puede definir la disminución o carencia de las capacidades humanas. Es necesario que el usuario se sienta atraído visualmente por el producto y que éste le brinde seguridad y confianza.

Las nuevas necesidades pueden ser las mismas, pero es forzoso poner atención en los conceptos de diseño para que estas necesidades sean cubiertas, en su mayoría, para los dos tipos de usuario.

Las necesidades que se deberán cumplir son:

- Que sea personalizada (primer usuario).
- Que se pueda guardar en una cajuela de auto (segundo usuario).
- Que sea ligera (fácil de cargar para el segundo usuario).
- Estable (para el primer usuario).
- Que sea capaz de disipar la energía de vibración ejercida por el suelo (enfocada al primer usuario).
- Ergonómica (Para ambos usuarios).
- Fácil uso (Para el segundo usuario).

- Buena estética (enfocado al primer usuario).
- Que se pueda impulsar fácilmente (que el segundo usuario no ejerza mucha fuerza al empujar la silla en subidas).
- Facilidad para subir y bajar un escalón (para ambos usuarios).

Ya que tenemos claras nuestras necesidades y tenemos elaborados nuestros marcos de referencia, pasaremos a la generación de los nuevos conceptos.

### 6.2.2. Generación de bosquejos

En esta etapa se realizaron gran cantidad de bosquejos y se analizaron las características de cada uno de ellos con la finalidad de cumplir las necesidades de ambos usuarios. Para redefinir los nuevos sistemas se utilizó TRIZ donde retomamos los resultados obtenidos en el tercer y cuarto capítulo. Estas herramientas nos llevan a encontrar una solución innovadora en un corto periodo de tiempo (Figura 6.2).



Figura 6.2 Bosquejos de conceptos

Para la generación de nuevos conceptos se contemplaron los subsistemas planteados en el primer modelo y se buscará conservar los elementos de patente que contiene el mismo.

### 6.2.3. Utilización del radar de evolución

En el capítulo 4 se realizó un radar de evolución en el cual se analizó el nivel de desarrollo que tenía el modelo anterior así como las tendencias evolutivas que se podrían explotar para obtener un producto evolucionado (sección 4.3).

Esta herramienta nos generó una lista de posibles caminos para conseguir la evolución del producto:

- ✓ Se puede buscar mayor adaptabilidad para el usuario en materiales o formas.
- ✓ Se puede llegar a una forma mayor de acoples para ensamblar piezas.
- ✓ Se pueden incrementar las protuberancias a un plano 3D tanto en llantas como en el asiento.
- ✓ Se propone que alguno de los sistemas cambie de materia. Como ejemplo podríamos modificar el sistema de amortiguación mecánico por un hidráulico.
- ✓ Se propone comenzar a utilizar mezcla de materiales como fibra de vidrio para algunas secciones de la estructura.
- ✓ Se propone aumentar la complejidad de la dirección de las curvas para mejorar la apariencia y reducir elementos.
- ✓ Se podrían tener algunos elementos que fueran completamente flexibles como reposabrazos (elementos que no perjudiquen la estabilidad de la silla).
- ✓ La tendencia de evolución será seguir la personalización y el ajuste de los distintos elementos adaptándose totalmente al usuario.
- ✓ El siguiente paso de evolución sugiere optimizar la eficiencia de los poli sistemas. Esto lo podemos lograr mejorando el funcionamiento de la configuración del rin triangular minimizando la demanda de funciones que posee.
- ✓ Se propone optimizar el uso de estos colores dando un diseño emocional para el usuario creando una mejor estética y aceptación.
- ✓ El siguiente paso en la cadena evolutiva es mejorar notablemente el precio. Podríamos enfocarnos en mejorar la manufactura de las piezas.
- ✓ Incrementar un sistema de dirección que le brinde un mejor desplazamiento y aumentar las direcciones del desplazamiento de la silla de ruedas.
- ✓ La tendencia de evolución es reducir la complejidad y el número de piezas. Esto lo podemos aplicar conjuntando algunos de los sistemas.
- ✓ Podemos implementar un intermedio para eficientar la controlabilidad de la silla así como disminuir el esfuerzo aplicado para moverla.
- ✓ Implementar un motor de reducción para que la fuerza aplicada del usuario sea mínima.
- ✓ Se buscará separar más los mecanismos para eficientar su funcionalidad así como introducir una nueva metodología de diseño que nos ayudara a definir materiales de fabricación.

Las opciones de evolución generadas se aplican directamente en la elaboración de los diseños conceptuales intentando introducir las características más importantes.

Las diversas herramientas de TRIZ serán conjuntadas en el diseño final para generar el nuevo diseño conceptual. Otra de las herramientas que nos ayudaran a desarrollar los nuevos conceptos es la utilización de los diagramas sustancia-campo.

#### 6.2.4. Utilización del diagrama sustancia-campo

El diagrama de sustancia-campo fue aplicado en dos casos de contradicciones (sección 5.1.4 y 5.1.5.), encontrados a través de la realización del diagrama interno de sistemas, estos diagramas dan como resultado una forma óptima de solucionar los conflictos internos de los sistemas.

El primer caso fue planteado para resolver el conflicto generado por la interacción del el rin triangular y la estructura tubular inferior. El conflicto presentado era la mala dirección que brinda el rin a la estructura tubular y como consecuencia de los excesivos grados de libertad la insuficiente acción que realiza el rin al subir y bajar un escalón.

Se propuso añadir un sistema de dirección eléctrico que será el encargado de generar la dirección a la silla. Teniendo un elemento nuevo se disminuye la complejidad del rin delantero, el cual puede enfocarse a mejorar solo la función de subir y bajar un escalón.

Para el segundo caso se generó el diagrama sustancia campo que identifica una contradicción técnica que indica una acción excesiva entre el amortiguador y la estructura tubular. El cual genera una inestabilidad a la estructura tubular inferior. Esta estructura tubular es el soporte de la silla y tiene contacto directo con el asiento. Al encontrarse conectada directamente con el amortiguador le transmite un exceso de disipación de energía lo cual da como resultado la inestabilidad de la silla. Esta contradicción técnica es convertida a contradicción física y es resuelta como tal.

#### 6.2.5. Utilización de las contradicciones físicas

Las contradicciones físicas son una de las herramientas más poderosas que contiene TRIZ debido a que la solución de ellas nos puede llevar a un siguiente nivel de innovación. Los niveles de innovación plantean que al resolver una contradicción física se genera una innovación de nivel 3, haciendo que el grado de complejidad de la solución se eleve (sección 2.2.2).

Uno de los problemas que se generaron y se resolvieron fue el sistema de amortiguación (sección 5.1.5). En este se considero una contradicción física al encontrar dos acciones contrarias que eran deseadas al mismo tiempo. Estas eran rigidez y flexibilidad. Esto era necesario para mantener estable el asiento per a su vez disipar la energía de las irregularidades del suelo.

Para resolver el problema del amortiguador mediante contradicciones físicas se planteó la utilización de principio de “Separación de opuestas propiedades entre el todo y sus partes”, separando las funciones. Se traslado la acción de disipar la energía a las llantas traseras evitando la inestabilidad que generaba

directamente el amortiguador sobre la estructura tubular inferior y se consiguió mayor estabilidad para el resto de la silla, sobre todo el asiento.

Se propone que nuestro nuevo diseño conceptual contenga amortiguadores independientes en las llantas traseras, así se busca una mejor estabilidad en la estructura tubular, esperando que la energía se disipe desde las llantas y llegue la mínima al resto de la estructura.

### 6.3. Modelos realizados

Los prototipos serán evaluados y categorizados según lo definido en el capítulo 2 (sección 2.2.7)

#### 6.3.1. Prototipo “Gamma”

El primer prototipo realizado que implementa las nuevas ideas es un prototipo físico (Figura 6.3) que tiene como objetivo principal detectar fenómenos no anticipados y demostrar la funcionalidad del nuevo sistema de dirección llamado gamma. También es útil para mostrar de una forma más tangible la idea original así como las características de cada subsistema.

Este prototipo *gamma* es un modelo realizado en madera escala 2:1 que muestra los distintos sistemas. Se realizó una nueva estructura tubular más flexible para el sistema de amortiguamiento. La estructura tubular genera una base estable pero el amortiguador sigue mostrando la transmisión de inestabilidad directamente al asiento. Por lo que se refiere al asiento la extracción de la parte suave y el doblado de respaldo no generan ningún conflicto.

El rin delantero cumple con la función de subir y bajar un escalón pero la dirección no arroja resultados óptimos. El sistema de dirección es un sistema básico de cuatro barras, montado en la parte delantera de la silla, conectado directamente al rin triangular. Los puntos de apoyo que poseen contacto con el suelo son cuatro, por lo que la fuerza de oposición que se genera para girar es grande, provocando un gran conflicto para girar la silla de ruedas. La plegabilidad resulta óptima.



Figura 5.3 Prototipo Gamma



Figura 6.4 sistema de amortiguamiento



Figura 6.5 forma de plegado

Este primer modelo nos ayudo a visualizar la arquitectura de la silla de ruedas, y a evaluar los distintos subsistemas. También nos genero un aprendizaje, una integración de subsistemas y una comunicación visual del producto.

### 6.3.2. Prototipo “Beta”

El segundo modelo que se generó fue un prototipo analítico y enfocado llamado prototipo *beta*. El objetivo principal fue analizar el sistema de dirección. Este nuevo sistema de dirección fue enviado a la parte trasera de la silla de ruedas. Con esto se buscó utilizar el principio de dirección trasera como el presentado en el caso de los montacargas. La dirección propuesta es de cuatro barras conectada directamente a las llantas traseras (figura 6.6). Esta opción resuelve el problema de separar los sistemas como lo planteado en el diagrama sustancia-campo pero es necesario implementar un volante que haga funcionar al sistema. Este volante entraría en conflicto con la forma de plegado, por lo que se tiene que considerar una nueva configuración de sistemas.



Figura 6.6 prototipo “Beta”

Este prototipo nos genera nuevamente aprendizaje e integración de subsistemas. Con base a los resultados obtenidos nos dan la pauta para generar el siguiente prototipo.

## 6.4. Prototipo final “Icpalli”

En el diseño final llamado Icpalli (que significa silla en Náhuatl). A este diseño se le agregó un sistema nuevo de dirección establecido en el capítulo tres surgido de la solución del diagrama sustancia-campo conteniendo entonces los siguientes sistemas:

- ✚ Lantas
- ✚ Asiento
- ✚ Estructura
- ✚ Dirección
- ✚ Sistema de amortiguación
- ✚ Frenos

Se analizaran los sistemas por separado y se explicara el avance obtenido en cada uno.

### 6.4.1. Estructura

La estructura tubular inferior tuvo cambios en su configuración buscando disminuir la cantidad de material y mejorando la estética. Para comprobar que ésta estructura era geoméricamente resistente se realizó el análisis de elemento finito considerando el peso de una persona de 90kg y proponiendo una carga repartida de 1200N en la zona del asiento y los reposapiés. Se consideró un aluminio 6061 T6 como el propuesto en el modelo inicial.

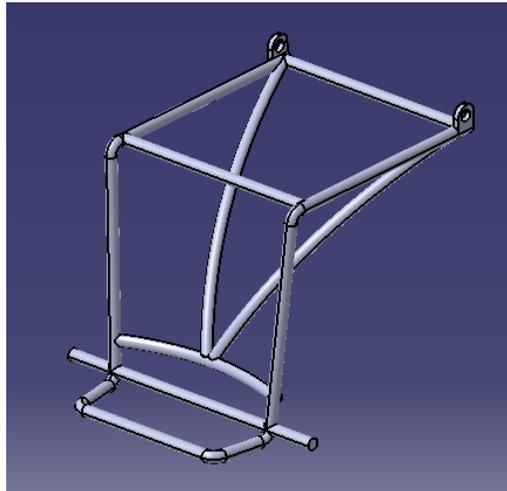


Figura 6.7

Los resultados obtenidos en el análisis estructural como en el de desplazamiento fueron óptimos ya que la grafica de Von Mises nos muestra un esfuerzo máximo de 103.53 MPa y el material propuesto posee un esfuerzo máximo permisible de 240 MPa. En la gráfica de desplazamiento observamos que solo se cuenta con 1.084 mm de desplazamiento máximo, lo que no afecta a la estructura.

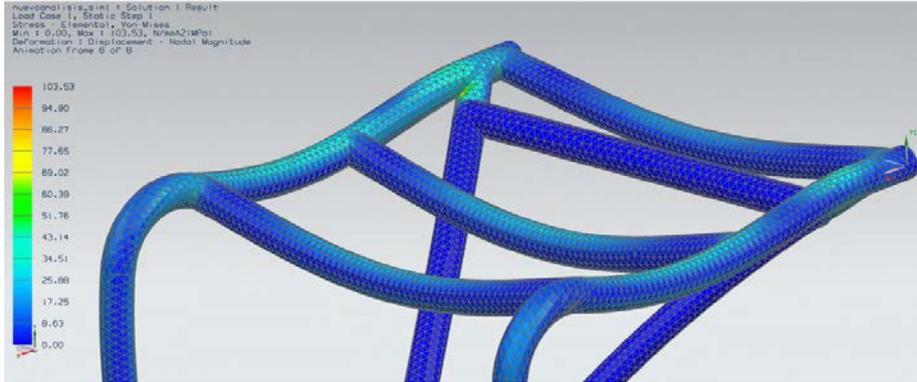


Figura 6.8 Grafica de Von Mises

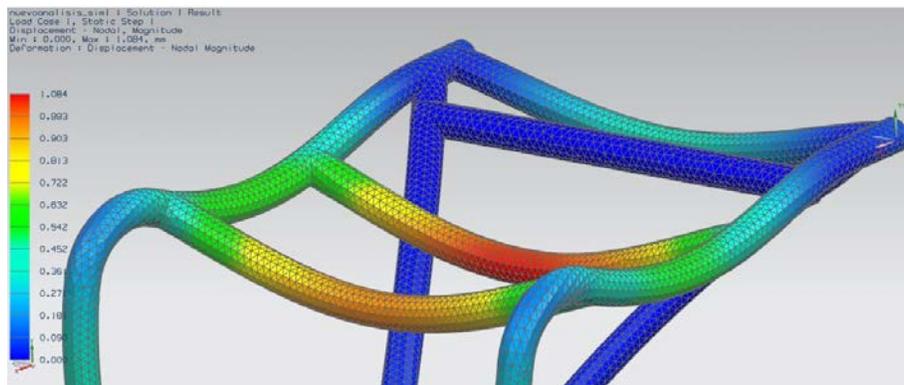


Figura 6.9 Grafica de desplazamiento

ESC 1:10  
ACOT mm.

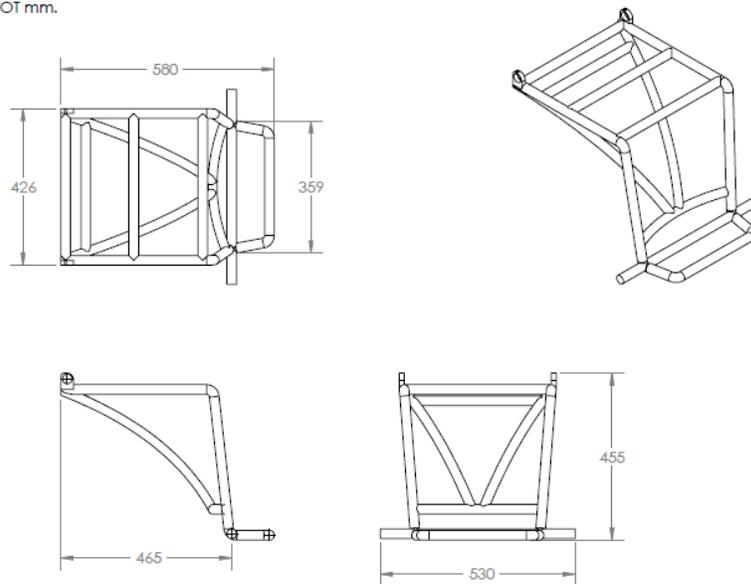


Figura 6.10 Dimensiones estructura tubular inferior

Para el respaldo solo se eliminó un tubo de soporte debido a que no era necesario y se dio una geometría más redondeada. También se incluyeron bisagras que se encuentran en la parte inferior del respaldo y que une este con la estructura tubular inferior. Estas bisagras generan la propiedad de plegado hacia el frente para guardarse. Para conservar los 90° se generaron topes físicos y los reposabrazos ayudarán al apoyo del mismo.



Figura 6.11 Respaldo

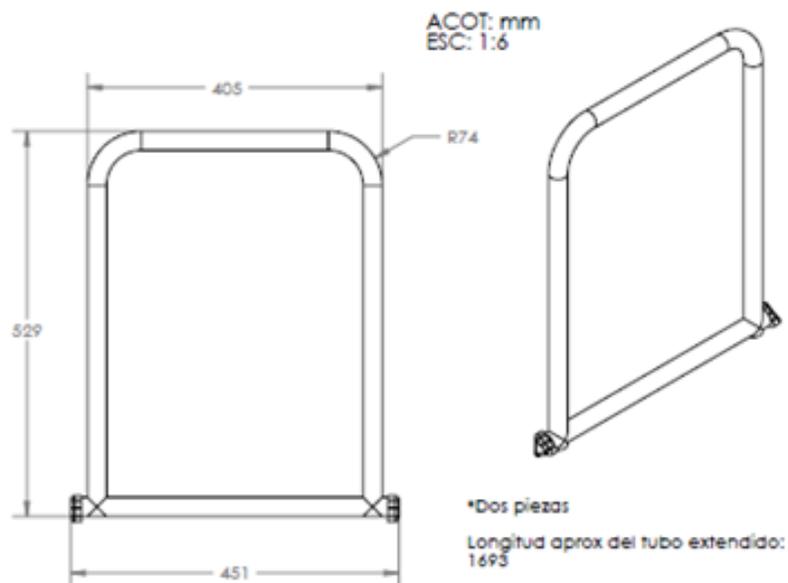


Figura 6. Dimensiones respaldo

#### 6.4.2. Asiento

El asiento continúa con el mismo principio. Se tiene una base dura y un asiento suave (Figura 6.14), ergonómico y personalizado que se desmonta para poder guardar la silla de ruedas. La parte suave del

asiento es la que contiene los rasgos ergonómicos que serán personalizados de acuerdo al usuario y a sus necesidades específicas, esto es, un geriatra puede recomendar algún tipo de material específico de acuerdo a las enfermedades que el usuario presente.

La forma de plagado se mantiene como en el modelo inicial, doblando el asiento hacia el frente como se muestra en la figura 6.13.

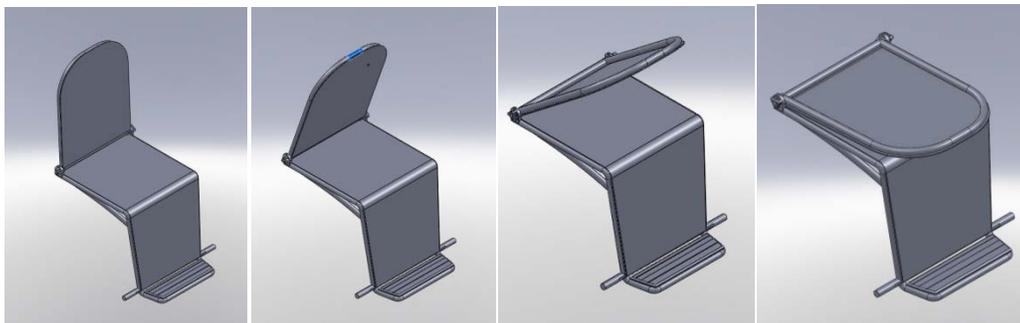


Figura 6.13 Forma de doblar el respaldo

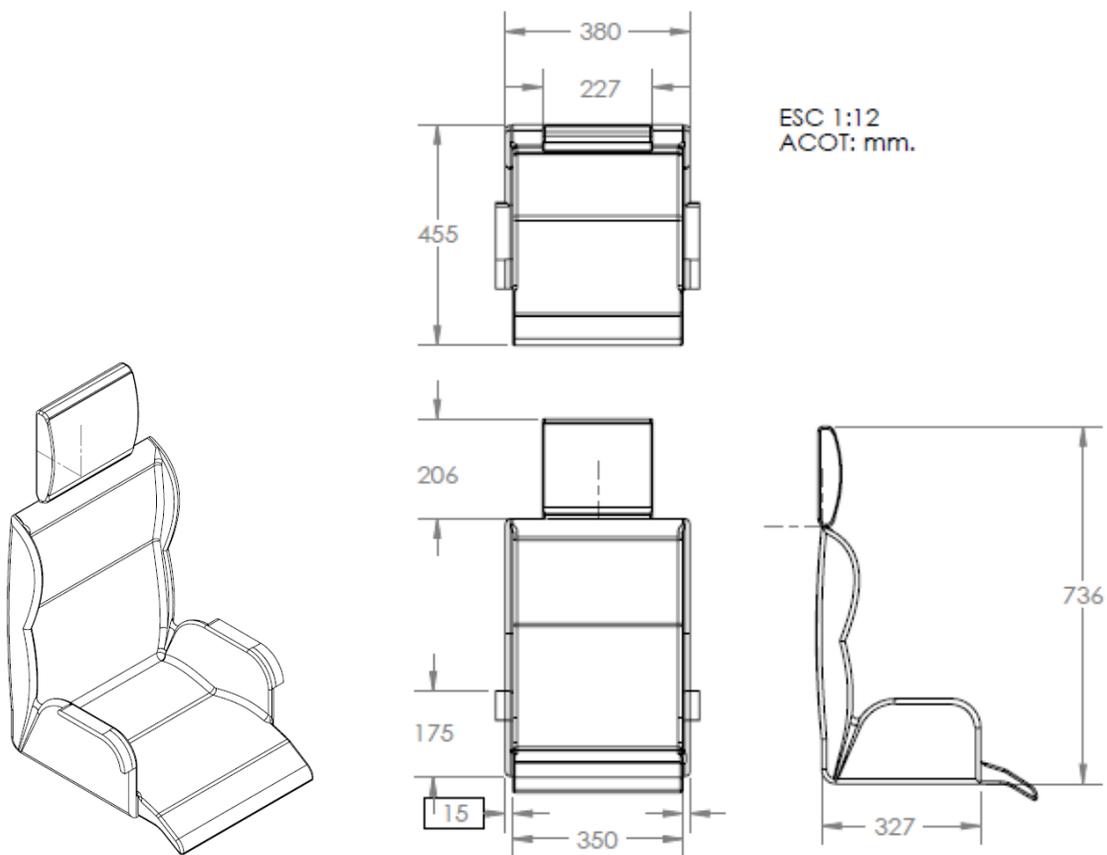


Figura 6.14 Dimensiones del asiento

### 6.4.3. Llantas

Para este subsistema se realizaron cambios que se refieren a llantas delanteras y traseras. Primero abordaremos los cambios realizados a la seccion delantera.

#### 6.4.3.1. Seccion delantera

En este subsistema el modelo inicial plantea un rin triangular el cual tenía la tarea de dar direccion a la silla de ruedas, subir y bajar un escalón y desplazarse. Pero el poseer tantas cualidades generaba conflictos internos de eficiencia y contradicciones tecnicas. Al aplicar la teoria TRIZ se plantea la separacion de las distintas funciones del rin delantero. Se propone la introduccion de una nueva direccion en la parte trasera, dejando solo al rin delantero, la tarea de subir y baja un escalón y el desplazamiento de la misma.

El rin delantero pierde un grado de libertad (de giro) pero gana la suficiente estabilidad para cumplir con las otras tareas, sobre todo la tarea de subir y bajar un escalon. En las imágenes se muestran los planos del rin y el ensamble con el resto de la estructura tubular.

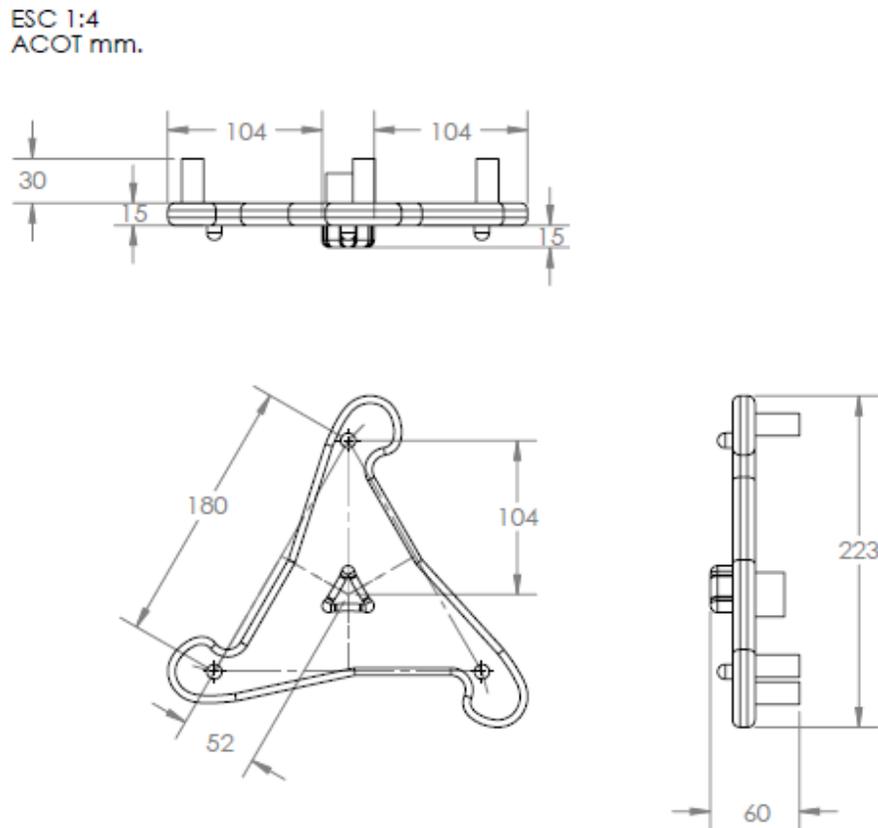


Figura 6.15 Planos del rin triangular delantero

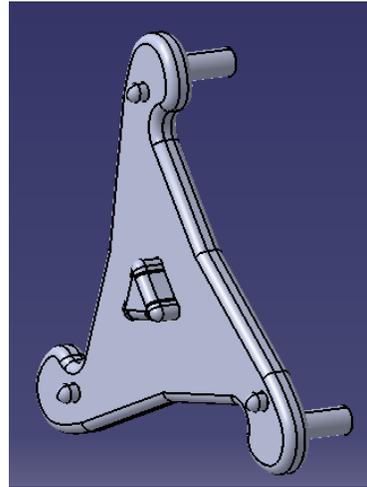
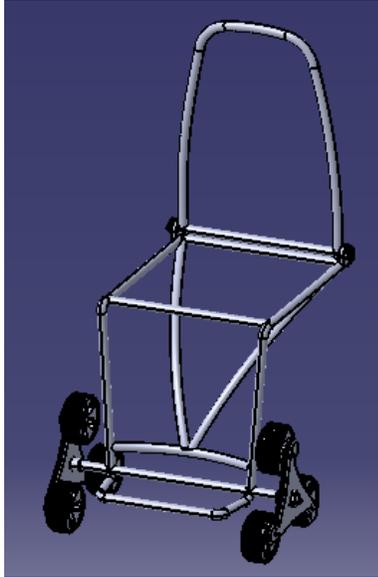


Figura 5.16 Ensamble estructura con rin delantero

Figura 5.17 Rin delantero

#### 6.4.3.2. Sección trasera

La sección trasera es la parte que ha recibido los cambios más importantes en el nuevo diseño. Los resultados obtenidos al utilizar la teoría TRIZ han propuestos los siguientes cambios en dicha sección:

Implementación de un sistema de dirección en la parte trasera de la silla, implementación de un campo eléctrico y amortiguación independiente en las llantas traseras. Todas estas características se pueden conjuntar en un mismo subsistema controlado eléctricamente y que posea todas estas virtudes.

Se propone un subsistema que contenga la dirección, los frenos y los amortiguadores independientes en un mismo elemento. Este elemento será eléctrico y puede utilizarse solo en algunas tareas específicas que ayuden al segundo usuario. Esto buscando no insertar una batería o un motor muy pesado. Dicho motor tendrá como tarea generar un impulso para subir un escalón, o una rampa. Así buscamos disminuir la fuerza aplicada por el segundo usuario en el manejo de la silla.

Este elemento que contendrá los atributos descritos será también un volante que facilitar la controlabilidad de la silla y soportara la estructura tubular. Este no será desarmable y medirá aproximadamente un metro de altura, buscando, que la pieza pueda ser guardada en la cajuela de auto en posición horizontal.

El modelo en CAD de la figura 6.18 se muestra este nuevo elemento y su ensamble con el resto de la silla. Se pretende también conservar la modularidad para conseguir un plegado y guardado óptimo (figura 5.19).

Para mejorar el desempeño del descenso de un escalón se propone utilizar el principio de inversión que es uno de los cuarenta principios técnicos y que establece realizar algo en forma contraria a lo convencional. Para tener mayor seguridad en el descenso para ambos usuarios se propone girar la silla 90° de tal forma que este quede dando espalda a los escalones y realizar así el descenso.



Figura 6.18



Figura 6.19

#### 6.4.4. Detalles finales a considerar

Del radar de evolución se aplicaron las tendencias evolutivas y se implementaron de la siguiente manera:

- ✓ Se puede buscar mayor adaptabilidad para el usuario en materiales o formas.
- ✓ Se puede llegar a una forma mayor de acoples para ensamblar piezas.
- ✓ Se propone que alguno de los sistemas cambie de materia. Como ejemplo podríamos modificar el sistema de amortiguación mecánico por un hidráulico.
- ✓ Se propone comenzar a utilizar mezcla de materiales como fibra de vidrio para algunas secciones de la estructura.
- ✓ Se propone aumentar la complejidad de la dirección de las curvas para mejorar la apariencia y reducir elementos.
- ✓ La tendencia de evolución será seguir la personalización y el ajuste de los distintos elementos adaptándose totalmente al usuario.
- ✓ El siguiente paso de evolución sugiere optimizar la eficiencia de los poli sistemas. Esto lo podemos lograr mejorando el funcionamiento de la configuración del rin triangular minimizando la demanda de funciones que posee.
- ✓ Se propone optimizar el uso de estos colores dando un diseño emocional (ver capítulo 3) para el usuario creando una mejor estética y aceptación.
- ✓ Incrementar un sistema de dirección que le brinde un mejor desplazamiento y aumentar las direcciones del desplazamiento de la silla de ruedas.
- ✓ La tendencia de evolución es reducir la complejidad y el número de piezas. Esto lo podemos aplicar conjuntando algunos de los sistemas.
- ✓ Podemos implementar un intermedio para eficientar la controlabilidad de la silla así como disminuir el esfuerzo aplicado para moverla.
- ✓ Implementar un motor de reducción para que la fuerza aplicada del usuario sea mínima.
- ✓ Se buscará separar más los mecanismos para eficientar su funcionalidad así como introducir una nueva metodología de diseño que nos ayudara a definir materiales de fabricación.

La mayoría de las tendencias evolutivas se han cumplido, no obstante no se ha podido evolucionar en algunas otras como:

- ✓ El siguiente paso en la cadena evolutiva es mejorar notablemente el precio. Podríamos enfocarnos en mejorar la manufactura de las piezas.

El motor eléctrico y la complejidad de los subsistemas implementaran el costo. En este caso el sistema no evolucionara en esta línea. Pero permanecerá en el mismo grado de evolución.

El modelo final es mostrado en la figura 6.20 y la figura 6.21 resalta las características más relevantes que posee este sistema tecnológico.





## 7. CONCLUSIONES

En este trabajo hemos conjuntado dos teorías de diseño para generar un diseño innovador. La teoría UCD está basada primordialmente en el usuario, diseñar para él. Por lo que involucra al usuario en sus primeras etapas preguntándole, observándolo, entendiéndolo y conociéndolo. En esta primera etapa es muy importante involucrarlo debido a que en muchos casos el diseñador solo llega a suponer cuales son las necesidades del usuario y no se da cuenta que solo está diseñando para el mismo.

Por otra parte hemos conjuntado esta teoría con TRIZ con la finalidad buscar soluciones innovadoras. En la primera parte del proyecto TRIZ se integró a USD en distintas etapas, mezclando sus herramientas en paralelo. Obteniendo un modelo inicial como resultado.

Este modelo inicial ha servido para profundizar en algunos campos de TRIZ buscando siempre la mejora mediante la innovación.

En este trabajo esclarecimos la diferencia de la utilización de TRIZ como teoría o como metodología. Se ha establecido gracias a algunos autores, que TRIZ es visto como teoría de evolución tecnológica al aplicar las líneas de evolución de los productos y una metodología para el desarrollo efectivo de nuevos sistemas tecnológicos utilizando sus distintas herramientas.

Con la aplicación de TRIZ pudimos conocer el desarrollo tecnológico de nuestro sistema al aplicar el radar de evolución. Este nos dio como resultado algunas características y tendencias de evolución que podríamos seguir para alcanzar el siguiente nivel evolutivo de nuestro producto.

Se utilizaron algunas herramientas de la metodología de TRIZ para conocer y encontrar la interacción de los subsistemas. Estas herramientas fueron diagramas de función y diagramas sustancia-campo donde se encontraron contradicciones técnicas.

La parte central de este trabajo fue la profundización de la aplicación de los modelos sustancia-campo para la resolución de contradicciones técnicas y la solución de alguna de estas contradicciones transformándola a una contradicción física y resolviéndola como tal. Así como la conjunción de todos estos resultados en un caso de estudio.

Las bases del diseño nos muestran que existen muchos caminos para resolver problemas y generar innovación. Aquí se conjuntan muchas de estas ideas aplicando distintas teorías y metodologías de diseño con el fin de obtener un producto más completo, innovador y a su vez más competitivo en el mercado.

Este modelo es considerado una innovación de nivel 3 al ser generado por la solución de una contradicción física, según los niveles de innovación planteados por el mismo Altshulle.

Actualmente se encuentra desarrollando un prototipo físico integral que tendrá como fin presentar una idea concreta del producto final.

En lo personal este trabajo represento para mí un reto de diseño surgido desde el desarrollo del primer trabajo y que me deja la satisfacción de haber encontrado soluciones innovadoras desde el primer modelo hasta el desarrollado en esta tesis. Me deja un conocimiento más profundo de las teorías de diseño y una mente mas critica en la aplicación de las distintas herramientas de diseño.

## **TRABAJO A FUTURO**

Para el trabajo a futuro se plantea el desarrollo a detalle del dispositivo eléctrico que contiene la dirección, el sistema de amortiguación y los frenos. Se espera que se determine el tipo de motor, así como la batería y el diagrama eléctrico.

Para realizar el cálculo estimado del producto es necesario conocer las características de este dispositivo debido a que será la parte de mayor costo gracias a la complejidad del sistema y el costo elevado de los componentes. Ya que tenga bien definido este elemento se podrá realizar un análisis financiero de costo del producto.

También se espera concluir con la elaboración del prototipo a escala para realizar pruebas de usuario.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ACOSTA Flores, "El análisis campo-sustancia", Ingeniería, investigación y tecnología, Volumen XI, No. 2, FI-UNAM, México, 2010.
- [2] AGOGINO Alice ,Beckman Sara,Shedroff Nathan, Borja Vicente, Lòpez Marcelo, Ramirez Alejandro"Teaching multinational, multidisciplinary sustainable product development" Proceedings of the ASME 2008 International Design Engineering Technical conferences& computers and Information in Engineering Conference
- [3] AGUAYO Humberto "Tesis: Modelo del proceso de diseño conceptual: Integración de las metodologías QFD, Análisis Funcional y TRIZ", Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México 1997.
- [4] ALTSHULLER Genrich "And suddenly the inventor appeared" TRIZ, systematic innovation and technical creativity. Technical innovation center inc. Worcester MA [www.triz.org](http://www.triz.org)
- [5] ALTSHULLER Genrich "The innovation algorithm" TRIZ, systematic innovation and technical creativity. Technical innovation center inc. Worcester MA [www.triz.org](http://www.triz.org)
- [6] AVILA Javier, Borja Vicente, Gonzalez Silvia, Reivich Alejandro, Lopez Marcelo" Applying a design process to create a reduction platform of GHG in industries" Proceedings of the ASME 2010 International Mechanical Engineering Congress & Exposition
- [7] BECKMAN Sara, Barry Michael "Innovation as a learning process: Embedding design thinking" California Review Management Vol 50 No. 1 CMR 377 11/01/07.
- [8] BECKMAN Sara, Barry Michael " Developing design thinking capabilities July 2008: Step Inside Design Magazine
- [9] BORJA Vicente, Gómez Lia, Palmer William, Garcia Daniel, Mendoza Marcos. "Diseño de nuevos productos con un enfoque orientado al usuario" Memorias del XV Congreso Internacional Anual de la SOMIM.
- [10]BUSO, Mann & Jirman, "Case Studie in TRIZ: A novel heat exchanger (Use of function analysis modeling to find and eliminate contradictions)", [realinnovation.com/.../index.htm](http://realinnovation.com/.../index.htm), 2009
- [11]Business week "The world's most innovative companies"  
[http://www.businessweek.com/magazine/content/06\\_17/b3981401.htm](http://www.businessweek.com/magazine/content/06_17/b3981401.htm)
- [12]CHITALE A.K., Gupta R.C. "Product design an manufacturing" Prentice Hall 2007.

- [13]CORONADO, Oropeza, Rico, "TRIZ La metodología más moderna para inventar o innovar tecnológicamente de manera sistemática." Ed. Panorama, Primera edición, México 2005.
- [14]DIETER George, Schmidt Linda " Engineering design" Fourth edition, Mc Graw Hill 2009.
- [15]EVBUOMWAN NF, Sivaloganathan S, Jeeb A. "A survey of design philosophies, models, methods and systems" Proceedings of the institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture 1989-1996.
- [16]FERNANDES, Grosse, Krishnamurty, Wileden "Design and Innovative methodologies in a semantic framework" Proceedings of the ASME 2007 International Design Engineering Technical conferences& computers and Information in Engineering Conference
- [17]FRENCH Michael, "Form, structure and mechanism" MACMILLAN Education, 1992.
- [18]GADD Karen," TRIZ at Bradford University Solving a Organizational Problem using TRIZ. The Triz Journal 2006.
- [19]GONZALEZ Silvia, "Tesis: Aplicación del método TRIZ para el desarrollo de una silla de ruedas geriátrica", Universidad Nacional Autónoma de México, 2009.
- [20]GONZALEZ, Avila, "Draft: User Centered Design approach and TRIZ integration to design a geriatric wheelchair in developing countries", CDEMIT-UNAM, 2011.
- [21]HAIJUN Li, "Substance-field models for fourth class standards", 2009
- [22]HARRIS Robert, "Creative Thinking Techniques", January 5, 2002.
- [23]IDEO "Human Centered Design" Tool kit second edition
- [24]JULIUS & Martín, "Las dimensiones humanas en los espacios interiores. Estándares Antropométricos", G.gili, segunda edición, España 1984.
- [25]KELLEY Tom " The art of innovation" First edition,2001
- [26]LAUREL B(2003a). The Changing role of research. In C. Ireland ed. Design Research methods and perspective EEUU Cambridge
- [27]LAUREL B (2003b) Ethnography and critical design practice. In T Plowman ed. Design research: Methods and perspective EEUU
- [28]LEON, Martínez y Castillo, "Methodology for the evaluation of the innovation level of products and processes (in the tecnos award context)", First published in the proceedings of the Altshuller Institute TRIZCON2005, USA 2005.

- [29]MANN Darel, "Defining breakthrough product desing solution", Int. J Product Development, Vol 4, Nos. 1/2, UK 2007.
- [30]MANN Darrell "Systematic innovation: Evolving the world most powerful creativity and innovation processes, TRIZ home page in Japan 2004.
- [31]MANN & Dewulf , "Evolutionary-Potential in technical and Business Systems", UK 2009.
- [32]MC DOWELL David, Panchal Jitesh, Choi Hae Jin, Seepersad Carolyn, Allen Janet, Mistree Farrokh " Integrated design of multiscale, multifunctional materials and products" Butterworth- Heinemann, Elsevier 2010
- [33]MERCK Sharp & Dohme Medicina Geriátrica y Gerontología .CAPITULO 3. El envejecimiento. . Madrid, España 2005.
- [34]PAHL G,Beitz W, Feldhusen J, Grote K.H, "Engineering design A systematic approach" Third edition Springer 2007.
- [35]PATNAIK Dev, Becker Robert "Needfinding the why and how of uncovering people's need" Design management journal Vol. 10 No. 2, Spring 1999. The design management institute.
- [36]PELT Van, Hey A "Using Triz and Human centered design for consumer product development" J, TRIZ Future: Proceedings European TRIZ Association (ETRIA) World Conference, Kortrijk, Belgium 2006.
- [37]RABINS M, "Design theory and methodology a new discipline" Mech. Engineering August 1986.
- [38]RIVIN, Eugene Victor, "Innovation on demand", New York, Cambridge University Press, 2007.
- [39]Secretaria de salud en México, "Programa de acción específico 2007-20012. Envejecimiento. Primera edición.
- [40]SUN, Tan & Cao, "Achieving effective innovation based on TRIZ technological evolution", CIRP Desing Conference 2009
- [41]ULRICH K., Eppinger S. "Product design and Development"Third Edition, McGraw Hill 2009.
- [42]ULLMAN D. " The mechanical design process" Fourth edition. McGraw Hill 2010.
- [43]YUREN, Omar, "Tesis: Rediseño de una máquina selladora de microplacas aplicando la metodología TRIZ", Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.