

# **Aplicación de la metodología inventiva TRIZ para el análisis de innovaciones tecnológicas en procesos industriales. Caso: obtención de pasta de celulosa (o pasta papelera) blanqueada**

**J. Loayza<sup>1</sup>, M. Silva<sup>2</sup>, H. López<sup>3</sup>, D. Tarmeño<sup>4</sup>, D. Riquelme<sup>5</sup>**

(Recibido 30/09/2016 / Aceptado 26/10/2016)

## **RESUMEN**

El método TRIZ plantea que la mayoría de los sistemas diseñados con la finalidad de solucionar problemas evolucionan siguiendo pautas predeterminadas, en vez de una forma aleatoria. Estas pautas se pueden conocer a través del estudio de la trayectoria del sistema (trayectoria tecnológica); es decir, de su evolución en el tiempo, tomando como referencia el conocimiento adquirido. Esto permite que estas pautas se puedan utilizar para acelerar la evolución de otros sistemas. Se pueden encontrar formas comunes de resolver problemas o de mejorar un sistema, mediante el análisis histórico de patentes, esto permite que el conocimiento incorporado en una innovación pueda ser recogido y transferido. El objetivo del presente documento es demostrar la aplicabilidad del método TRIZ para la solución de problemas tecnológicos que se presentan en procesos industriales, para lo cual se ha tomado como referencia la etapa de blanqueo del proceso para producir pasta papelera blanqueada. Los objetivos específicos han sido: hacer una reseña técnica del método inventivo TRIZ, identificar los problemas tecnológicos del sector de pasta papelera en relación con la etapa del blanqueo, evaluando las innovaciones tecnológicas incorporadas.

**Palabras clave:** TRIZ, principio inventivo, innovación tecnológica, proceso industrial sostenible.

## **Application of the inventive triz methodology for the analysis of technological innovations in industrial processes Case: obtaining bleached cellulose pulp (or pulp)**

## **ABSTRACT**

The TRIZ method, states that most of the systems designed by man, following predetermined guidelines evolve, rather than at random. These guidelines can be known through the study of the trajectory of the system (technological trajectory), this is, its evolution over time, with reference to the knowledge gained. This allows these guidelines can be used to accelerate the evolution of other systems. You can find ways to solve common problems or to improve a system, using historical analysis of patents, this allows the knowledge embodied in an innovation can be collected and transferred. The aim of this study was to demonstrate the applicability of TRIZ to solve technological problems that arise in industrial processes. For which it has with reference to the production of bleached pulp. The specific objectives were: to make a technical review of the TRIZ inventive method, identify the technological problems of the pulp sector in relation to the key stages of the industrial process, analyze the technological trajectory of bleached pulp production and evaluate technological innovations incorporated into the production process in time.

**Keywords:** TRIZ, inventive principle, technological innovation, sustainable industrial process.

1 Departamento Académico de Procesos. Facultad de Química e Ingeniería Química. UNMSM. E-mail: jloayzap@unmsm.edu.pe.

2 Departamento Académico de Química Inorgánica. FQIQ. UNMSM.

3 Egresado de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Química. FQIQ. UNMSM.

4 Egresada de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Química. FQIQ. UNMSM.

5 Egresada de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Química. FQIQ. UNMSM

## I. INTRODUCCIÓN

Según Anaya y Pedroza (2007), cada día los profesionales de Ingeniería de Procesos, y de Ingeniería Química, en particular, se enfrentan en el ejercicio o en el desarrollo de su actividad profesional, con nuevas técnicas operativas y procesos cada vez más sofisticados, lo que se traduce en que los problemas que tienen que resolver son cada vez más complejos y requieren soluciones que sean más rápidas y eficientes, ya que las empresas no pueden elaborar productos defectuosos o fuera de especificaciones, e incluso, parar su producción por periodos prolongados de tiempo, ya que esto representa pérdidas económicas y una desventaja con respecto a las empresas que compiten con ella en un mercado específico. Esta situación les plantea, a los ingenieros de procesos, un escenario en que, mientras mayor habilidad tengan para resolver problemas tecnológicos e incorporar las soluciones encontradas como innovaciones a los procesos, estos profesionales tendrán mayores oportunidades de crecimiento y desarrollo dentro de la empresa, lo cual hará que, dicha empresa, mejore su eficiencia y competitividad [2].

La metodología inventiva TRIZ resulta ser una alternativa creativa que permite enfrentarse a cualquier tipo de problema, con la seguridad de llegar a obtener una solución rápida, eficaz y efectiva. En la actualidad, se está retomando esta metodología y existen diversos equipos de científicos, académicos e ingenieros que están profundizando y avanzando en la aplicación de esta teoría para la solución de problemas, con relación al diseño de procesos industriales.

El método fue creado a inicios de la década de los años 50, por el ingeniero ruso Genrich Saulovich Altshuller (1926-1998). TRIZ es el acrónimo de Teorija Rezheniya Izobretatelskich Zadach o Teoría de resolución inventiva de problemas. Es una herramienta que permite desarrollar ideas ingeniosas e inventivas, especialmente ante problemas de índole tecnológico, y surgió

como resultado del trabajo que realizaba el ingeniero Altshuller en el departamento de patentes de la marina soviética. Allí, al analizar los principios fundamentales de las miles de patentes que llegaban a él, descubre que los nuevos productos surgen a partir de principios similares, denominados **principios inventivos**. Estos principios no son infinitos, sino que pueden ser adecuadamente identificados mediante el análisis sistemático de una patente<sup>[1]</sup>.

## II. PROCESOS INDUSTRIALES SOSTENIBLES E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

Los procesos industriales sostenibles son procesos que contribuyen al desarrollo sostenible e incorporan innovaciones que inciden en el aprovechamiento de los recursos, en especial los recursos naturales renovables, la eficiencia, la seguridad y la limpieza, minimizando la generación de residuos.

### a. Procesos industriales sostenibles

Un proceso químico industrial es el conjunto de etapas requeridas para que la materia prima e insumos se transformen en productos y en residuos, usando racionalmente la energía, y teniendo en cuenta en cada etapa las condiciones de operación que hagan posibles procesos eficientes. Las etapas, que son actividades unitarias, pueden ser de dos tipos: operaciones unitarias y procesos unitarios, aunque entre algunas de ellas la diferencia es muy sutil y en otras se complementan. Por ejemplo, existe la separación de dos sustancias líquidas mezcladas, basada en sus diferentes puntos de ebullición, conocida tradicionalmente como destilación y que es una operación unitaria porque en la separación no ocurren reacciones químicas; pero actualmente, con el desarrollo de actividades unitarias en el procesamiento de hidrocarburos, se ha introducido un nuevo tipo de actividades que se complementan, y una de ellas es la destilación reactiva.

Los procesos químicos industriales sostenibles o *procesos industriales sostenibles* son procesos también constituidos por etapas que son actividades unitarias, pero que potencian el aprovechamiento de los materiales y la energía para la producción de bienes (o productos útiles) y minimizan o eliminan la presencia de males (o residuos), ya que, dependiendo del tipo de residuos, estos pueden contribuir a la contaminación ambiental y sus consecuencias.

Los procesos industriales tienen que contribuir al desarrollo sostenible, entendido como el tipo de desarrollo orientado a garantizar la satisfacción de las necesidades fundamentales de la población y elevar su calidad de vida a través del manejo racional de los recursos naturales, propiciando su conservación, recuperación, mejoramiento y uso adecuado, de tal manera que esta generación y las futuras tengan posibilidad de disfrutarlos sobre bases éticas y de equidad, garantizando la vida en todas sus manifestaciones<sup>[7]</sup>.

### **b. Innovación tecnológica**

Existen numerosas definiciones del término innovación, pero es conveniente tener como referencia lo enunciado por Schumpeter (1934), quien planteó diferentes acepciones; es así que innovación tecnológica es...

- la introducción en el mercado de un nuevo producto o proceso que aporta elementos diferenciadores respecto a los existentes hasta ese momento.
- la apertura de un nuevo mercado, antes desconocido o ignorado, en un país o región.
- el descubrimiento de una nueva fuente de suministro de materias primas o productos intermedios, anteriormente no utilizados.

Según Fernández García (2007), innovar consiste en aportar algo nuevo y aún desconocido, en un determinado contexto.

El concepto de innovación abarca todos y cada uno de los conceptos empresariales: estrategia, procesos o productos/servicios; va mucho más allá del concepto de desarrollar nuevos productos. Hay que recuperar la inversión realizada y obtener beneficios que recompensen el riesgo asumido. La innovación se puede resumir por la relación:

Innovación = invención (algo nuevo) + explotación (obtención de beneficios).

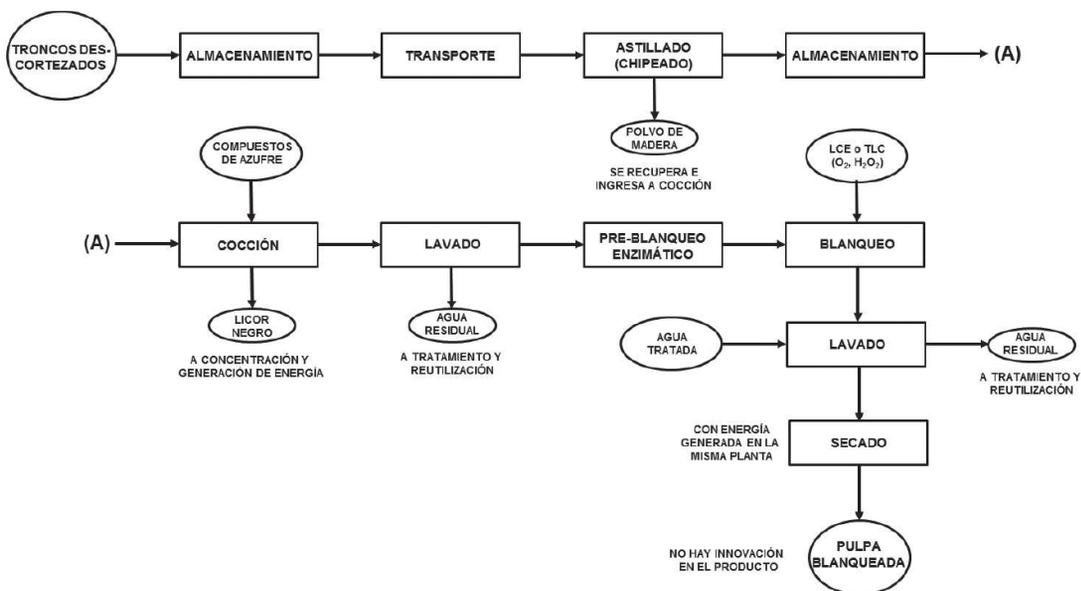
Según Hidalgo, León y Pavón (2008), esta concepción global de la innovación se ha ido enriqueciendo con el tiempo y se le han añadido otros componentes específicos, como son la capacidad creativa que permite encontrar soluciones originales a problemas concretos y la capacidad de anticiparse por parte de la organización para captar oportunidades de mercado antes que sus competidores. Estas capacidades se han orientado hacia la necesidad práctica de incorporar nuevos productos, procesos o servicios útiles en el mercado, y no a elaborar bienes y servicios con escasa o nula utilidad <sup>[6]</sup>, o un reducido valor agregado.

La innovación consiste en concretar una idea en nuevos productos, procesos o servicios. Las empresas realizan cambios en sus componentes tecnológicos, los cuales se pueden dar en los productos, los procesos, los equipos, la comercialización y la organización. Los cambios pueden ser realizados en todos estos componentes o en algunos de ellos. Por ejemplo, si el producto tiene características tales que pueda cumplir con unas funciones determinadas, es posible que el producto no sufra cambios; los cambios se pueden dar en los procesos en los cuales una de las etapas cambia. Este cambio se observa en la eliminación de una etapa, en el cambio de orden de las etapas o en la inclusión de una nueva etapa. Es posible que no se requieran nuevos equipos, pero generalmente hay que incluir un nuevo equipo o modificar uno ya existente. La comercialización es muy importante, pero depende del tipo de producto que se

requiera comercializar. Hay empresas que comercializan productos terminados que van a ser consumidos directamente por un usuario, pero existen otras empresas que venden insumos a otras; entonces, es posible que se necesiten formas diferentes de empaque o presentación de productos, en función del transporte que se utilice. El transporte es un aspecto muy importante en el componente comercialización. Finalmente, los cambios en la organización de-

penden de cómo se dé el proceso de aprendizaje en la empresa o de la herramienta de gestión utilizada, por ejemplo la producción más limpia, lo cual podrá facilitar la innovación tecnológica en su conjunto [4].

En el presente documento se tomará como referencia el proceso industrial sostenible para la producción de pasta papelerá o pulpa de celulosa, cuyo diagrama de bloques se presenta en la Figura 1.



Elaboración: Loayza Jorge (2016).

Figura 1. Diagrama de bloques del proceso industrial sostenible para la producción de pasta papelerá o pulpa de celulosa blanqueada.

La industria pastera ha sufrido innovaciones a través del tiempo. Quizás una de las etapas que merece un análisis especial es el blanqueo, ya que, por consideraciones ambientales, el agente de blanqueo, que era inicialmente cloro (Cl<sub>2</sub>), se modificó por compuestos de cloro (ClO) y actualmente existen tecnologías que ya no utilizan cloro,

e inclusive se hace uso de un preblanqueo que puede ser enzimático, lo que introduce una etapa biotecnológica en el proceso.

A continuación se presenta el Cuadro 1, donde se caracteriza la innovación tecnológica relacionada con el blanqueo de la pasta papelerá o pulpa de celulosa.

Cuadro 1. Caracterización de la innovación tecnológica en la etapa de blanqueo de pasta papelera o pulpa de celulosa.

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN	TIPO DE INNOVACIÓN	CARACTERÍSTICA	PARA EL CASO ANALIZADO
POR LOS OBJETIVOS DE LA INNOVACIÓN	TECNOLÓGICA	SE INTRODUCEN CAMBIOS EN LOS PRODUCTOS Y EN LOS PROCESOS	X
	SOCIAL	SE PRESENTAN SOLUCIONES NUEVAS AL PROBLEMA DEL DESEMPLEO	
	EN LA GESTIÓN	SE REALIZAN MODIFICACIONES EN LOS ÁMBITOS, COMERCIAL, FINANCIERO Y ORGANIZATIVO	
POR EL OBJETO DE LA INNOVACIÓN	DE PRODUCTO	SE CREAN NUEVOS PRODUCTOS O SE MEJORAN LOS EXISTENTES	
	DE PROCESO	SE INTRODUCEN NUEVAS ETAPAS O SE CAMBIAN LOS PROCESOS	X
POR IMPACTO DE LA INNOVACIÓN	INCREMENTAL	SE PARTE DEL CONOCIMIENTO PREVIO	
	RADICAL	SE DESARROLLA A PARTIR DE UNA INVESTIGACIÓN	X
POR EL EFECTO DE LA INNOVACIÓN	CONTINUISTA	NO ALTERAN LA FUNCIONALIDAD BÁSICA NI EL MERCADO	X
	RUPTURISTA	MÁS SIMPLE, MÁS PEQUEÑO, MÁS FÁCIL DE USAR, MÁS BARATO	
POR EL ORIGEN DE LA INNOVACIÓN	DIRIGIDA POR LA TECNOLOGÍA	EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA NATURAL	
	IMPULSADA POR EL MERCADO	EVOLUCIÓN TECNOLÓGICA DIRIGIDA POR LAS EXIGENCIAS DEL MERCADO	X

Elaboración: Loayza Jorge (2013).

### III. EL MÉTODO TRIZ

#### a. Fundamento del método

El método consiste en aplicar 40 principios inventivos para la resolución de contradicciones técnicas, las cuales se dan dos a dos, tomando como referencia 39 parámetros técnicos. A la fecha se tienen innumerables aplicaciones del método TRIZ para el desarrollo de productos, pero es importante analizar, con esta metodología, las soluciones a problemas tecnológicos que se presentan en procesos industriales, ya que es posible resolver el problema de una etapa de un proceso productivo analizando las contradicciones existentes y los principios inventivos utilizados para su solución.

Es fundamental para la aplicación del TRIZ la definición de lo que es un problema. Un problema es la diferencia entre lo que se tiene y lo que se quiere.

#### b. Importancia de la aplicación del TRIZ

Según Doldán y Chas (2001), las relaciones económicas están condicionadas por

el hecho de llevarse a cabo en un determinado entorno natural, pero los enfoques económicos convencionales no consideran este aspecto, aun cuando cada vez resulta más evidente la necesidad de prestar atención a los recursos naturales, sin los cuales no se podrían obtener bienes ni servicios ambientales. Además, las actividades económicas generan residuos que deben ser adecuadamente gestionados, ya que el medio ambiente, en sus diversos componentes (aire, agua y suelo), muestra límites en su capacidad de absorción o descontaminación de los mismos. Las empresas de diversos sectores industriales utilizan procesos tecnológicos para la manufactura de bienes. Estos procesos requieren ser innovados con la finalidad de contribuir al desarrollo sostenible de un determinado lugar<sup>[3]</sup>. Por ejemplo, un sector industrial que merece ser evaluado a nivel nacional, se relaciona con el potencial forestal del Perú, para producción de pasta papelera (o pulpa de celulosa) y papel. A nivel mundial y desde el punto de vista del impacto ambiental, esta industria se encuentra en una situación paradójica, pues mientras se tratan de solu-

cionar problemas tecnológicos por un lado, por el otro se van depredando los recursos naturales: en este caso, recursos forestales maderables. El presente documento busca analizar las innovaciones tecnológicas relacionadas con la producción de pasta papelera blanqueada (o pulpa de celulosa blanqueada), mediante el método inventivo TRIZ, lo que permitirá aplicarlo para el análisis de innovaciones tecnológicas en diversos procesos industriales o incorporar innovaciones tecnológicas a los procesos.

### c. Los principios inventivos

Altshuller intentó identificar aspectos comunes en muy diversos sectores de la téc-

nica, logrando reconocer algunas pautas “inventivas” repetitivas entre todas ellas, a las cuales denominó “principios inventivos”. Así este método se fundamentó en la hipótesis de que existen principios universales que son la base de soluciones creativas a problemas técnicos y que estos son principios que se repiten o se presentan en diferentes disciplinas. Debido a las múltiples aplicaciones del método y los problemas que han sido solucionados, actualmente esta hipótesis ha sido comprobada<sup>[6]</sup>.

Los cuarenta principios inventivos identificados por Altshuller se muestran en el Cuadro 2. Algunos de estos principios se describen en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Los 40 principios inventivos de Altshuller.

N°	Principio	Principio opuesto
1	Segmentación	(5) Combinación o Consolidación
2	Extracción	(5) Combinación o Consolidación
3	Calidad local	(6) Universalidad
4	Asimetría	Simetría
5	Combinación o consolidación	(1) Segmentación (2) Extracción
6	Universalidad	(3) Calidad local
7	Compatibilidad o anidamiento	Incompatibilidad
8	Contrapeso	Peso
9	Acción contraria previa	(10) Acción previa
10	Acción previa o anticipada	(9) Acción contraria anticipada
11	Compensar (o amortiguar) de antemano	No prever
12	Equipotencialidad	Decrecer la potencialidad
13	Inversión (o invertir los roles)	El opuesto está implícito
14	Esferoidicidad o curvatura	Linealidad
15	Dinámica	Estática
16	Acción parcial	Sobreacción (acciones excesivas)
17	Mover en una nueva dirección o cambio de dimensión	El opuesto está implícito
18	Vibración mecánica	Evitar vibraciones
19	Acción periódica	(20) Continuar la acción útil
20	Continuar la acción útil	(19) Acción periódica
21	Atravesar rápidamente o aumento de la velocidad en operaciones riesgosas	Tránsito lento
22	Convertir daño en beneficio	El opuesto está implícito
23	Retroalimentación	Unidireccional
24	Intermediación o intermediarios	(25) Autoservicio
25	Autoservicio	(24) Intermediación
26	Copiar	Usar original
27	Objeto barato/corta duración	Objeto caro/durable
28	Reemplazar un sistema mecánico	El opuesto está implícito
29	Usar construcción neumática o hidráulica	Mecánica
30	Membranas delgadas o película (film) flexible	Inflexibilidad
31	Uso de material poroso	Uso de material impermeable
32	Cambio el color	Sistema monocolor
33	Homogeneidad	Heterogeneidad
34	Descartar y recobrar partes	El opuesto está implícito
35	Transformación de estados físicos y químicos	Continuidad
36	Fase de transición	Fase estable
37	Expansión térmica	Contracción o dimensiones rígidas
38	Usar oxidantes fuertes	Usar reductores fuertes
39	Ambiente (o atmósfera) inerte	Atmósfera reactiva
40	Materiales compuestos	Materiales simples

Fuente: Adaptado de Anaya y Pedroza (2007).

Con la finalidad de ilustrar los principios inventivos, se indican y describen los seis primeros principios utilizados por la meto-

dología TRIZ y un ejemplo aplicativo para cada principio tratado:

Cuadro 3. Breve descripción de algunos principios y sus aplicaciones.

Principio	Descripción	Aplicación
P1 Segmentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dividir en pequeñas partes.</li> <li>Aumentar el grado de fragmentación.</li> </ul>	Atomizar la leche (formación de pequeñas gotitas) para favorecer la evaporación del agua y el secado con la finalidad de obtener leche en polvo.
P2 Extracción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sacar alguna parte (o propiedad) que interfiera.</li> <li>Aislar la única parte (o propiedad) que interesa.</li> </ul>	Extracción de la lactosa de la leche, para personas sensibles a esta sustancia química y obtener leche deslactosada.
P3 Calidad local	<ul style="list-style-type: none"> <li>Que cada parte del objeto realice funciones diferentes y útiles.</li> <li>Cambiar un objeto o sistema estructurado de homogéneo a heterogéneo.</li> <li>Poner cada parte de un objeto en condiciones más favorables para su operación.</li> </ul>	La tostación de café será uniforme siempre y cuando los granos que ingresan al tostador sean del mismo tamaño, por lo tanto se deben separar por tamaños (clasificar), antes del proceso de tostado.
P4 Asimetría	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reemplazar formas simétricas por formas asimétricas.</li> <li>Incrementar el grado de asimetría de un objeto ya asimétrico.</li> </ul>	Lavadoras con alimentación frontal de ropa, en lugar de la tradicional alimentación superior, arreglo que ha demostrado el ahorro de agua.
P5 Combinación (o consolidación)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar conjuntamente en el tiempo operaciones homogéneas continuas.</li> </ul>	Actualmente, las lijadoras de madera tienen incorporado un sistema para aspirar las partículas del polvillo generado durante la operación de lijado.
P6 Universalidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hacer que un objeto o sistema cumpla múltiples funciones.</li> <li>Usar elementos estandarizados.</li> </ul>	Un sistema compuesto por un motor estándar que sirva para operar alternadamente un cuchillo eléctrico, una moladora de carne y una batidora de mano.

Elaboración: Loayza J. (2012).

#### d. Herramientas del TRIZ

Existen diversas herramientas utilizadas por el TRIZ, entre las principales se encuentran el modelo campo-sustancia, la matriz de contradicciones, el algoritmo ARIZ para la resolución de problemas y el TRIZ inverso. En el presente documento se analizan las dos primeras.

##### d.1. Modelo campo-sustancia

En el modelo campo-sustancia, un campo es el que proporciona la energía (mecánica, térmica, electromagnética, química, etc.), o también puede ser el medio que

induce a que distintas sustancias de un sistema interactúen entre sí (reactivos, solventes, diluyentes, etc.). Y la sustancia es cualquier elemento tangible que tenga una estructura definida y que sea posible detectar organolépticamente (con los cinco sentidos) o con los instrumentos adecuados de medición. Por ejemplo, una impureza presente en la materia prima, un contaminante contenido en el agua, una pieza en una máquina, el operador de un sistema (maquinaria o equipo), etc. [2].

Los principales campos considerados por el método TRIZ se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Campos que pueden ser considerados.

Simbología	Campo
C <sub>A</sub>	Acústico
C <sub>E</sub>	Electromagnético
C <sub>G</sub>	Gravitacional
C <sub>M</sub>	Mecánico
C <sub>N</sub>	Nuclear
C <sub>O</sub>	Óptico
C <sub>Q</sub>	Químico
C <sub>T</sub>	Térmico

Nota: Los campos están ordenados alfabéticamente, no existe ningún orden de prelación.

Elaboración: Loayza Jorge (2014).

El análisis TRIZ identifica a las sustancias (elementos o componentes del sistema) involucradas en el problema y las define como una función. Es decir, se tienen sustancias que son necesarias para llevar a cabo un proceso, pero que no interactúan entre sí hasta que un campo de acción o varios campos actúan sobre ellas.

Por ejemplo, en la producción de pasta papelera (o pulpa de celulosa) blanqueada, es necesario eliminar la lignina que colorea la pasta. Analizando el sistema de blanqueo según el modelo campo-sustancia, se puede elaborar el Cuadro 5 mostrado.

Cuadro 5. Identificación de los componentes del modelo campo-sustancia para el caso del blanqueo de la pasta de celulosa.

Símbolo	Sustancia	Símbolo	Campo
S <sub>1</sub>	Pasta sin blanquear (con lignina dentro de la estructura de la madera)		
S <sub>2</sub>	Agente de blanqueo	C <sub>M</sub>	Campo mecánico (dinámica de los diversos fluidos en las tuberías de alimentación y salida del sistema)
S <sub>3</sub>	Pasta blanqueada (con lignina fuera de la estructura de la madera)		
S <sub>4</sub>	Bomba para impulsar la pasta con lignina		
S <sub>5</sub>	Bomba para impulsar el agente de blanqueo		
S <sub>6</sub>	Bomba para impulsar el agitador del reactor	C <sub>E</sub>	Campo electromagnético (para hacer funcionar las bombas, acción positiva)
S <sub>7</sub>	Bomba para impulsar la pasta blanqueada		
S <sub>8</sub>	Reactor donde se produce el blanqueo a las condiciones de operación: presión, temperatura y concentración de los reactantes)	C <sub>Q</sub>	Campo químico (reacciones de blanqueo)

Nota: La sustancia es cualquier elemento tangible que tenga una estructura definida y que sea posible detectar organolépticamente o con los instrumentos adecuados de medición. Un campo es lo que proporciona la energía o también puede ser el medio que induce a que distintas sustancias de un sistema interactúen entre sí.

Elaboración: Loayza J. (2014).

## d.2. Matriz de contradicciones

La matriz de contradicciones propuesta por Altshuller es el resultado de la información histórica acerca de cómo se han resuelto anteriormente las contradicciones, y es una guía para buscar soluciones a un problema. En el presente documento se utiliza esta herramienta para problemas ya resueltos, pero en el futuro se aplicará a nuevos problemas.

La matriz de doble entrada está configurada de la siguiente forma:

- Fila superior de izquierda a derecha: **característica que empeora** (↓).
- Columna de la izquierda de arriba hacia abajo: **característica que mejora** (↑), en la intersección de las dos se encontrará una celda con los principios inventivos.
- La matriz mide 39 x 39, ya que se encuentran en fila y en columna las acciones inventivas propuestas por Altshuller.

Cuadro 6. Acciones inventivas definidas por Altshuller para un sistema.

Acción inventiva	Breve descripción
Peso del objeto móvil	Masa del objeto en movimiento, sujeto a un campo gravitacional o fuerza que el mismo objeto ejerce sobre sus puntos que lo soportan o suspenden.
Peso del objeto estacionario	Masa de un objeto estático en un campo gravitacional o fuerza que el mismo objeto ejerce sobre sus puntos que lo soportan o suspenden.
Longitud del objeto móvil	Cualquiera de las dimensiones lineales de un objeto en movimiento, no necesariamente su longitud.
Longitud del objeto estacionario	Cualquiera de las dimensiones lineales de un objeto estático, no necesariamente su longitud.
Área del objeto en movimiento	Área o parte de la superficie que ocupa un objeto en movimiento, ya sea internamente o externamente.
Área del objeto estacionario	Área o parte de la superficie que ocupa un objeto estático, ya sea internamente o externamente.
Volumen del objeto en movimiento	Espacio volumétrico (en tres dimensiones) que ocupa un objeto en movimiento cuando se desplaza de un punto a otro.
Volumen del objeto estacionario	Espacio volumétrico (en tres dimensiones) que ocupa un objeto estático.
Velocidad	Velocidad a la que se lleva a cabo un proceso o cualquier tipo de acción que involucra a un sistema.
Fuerza	Se refiere a la fuerza que requiere un objeto para cambiar su posición de un punto a otro.
Tensión, presión	Es la fuerza por unidad de área o la tensión aplicada a un objeto o la que el objeto ejerce sobre su entorno.
Forma	Contorno externo de un objeto o apariencia de un sistema.
Estabilidad del objeto	Integridad del objeto o sistema. Relación entre los distintos constituyentes del objeto.
Resistencia	Capacidad de un objeto a resistir un cambio o respuesta a una fuerza aplicada.
Tiempo para mover un objeto	Tiempo en el cual un objeto puede llevar a cabo una acción o vida útil de un objeto.
Tiempo de un objeto estático	Vida útil de un objeto estático.
Temperatura	Condición térmica de un objeto o sistema.
Brillantez (o blancura)	Calidad lumínica de un objeto o sistema.
Gasto de energía para mover un objeto	Energía requerida por el objeto en movimiento para llevar a cabo una acción o trabajo determinado.
Gasto de energía de un objeto estático	Energía requerida por el objeto estático para llevar a cabo una acción o trabajo determinado.
Potencia	Gradiente del uso de energía. También se considera al tiempo en que se lleva a cabo un trabajo.
Desperdicio de energía	Energía disipada que no contribuye directamente al trabajo requerido.
Desperdicio de sustancias	Pérdida parcial o total, de manera temporal o permanente, de materia del sistema.
Pérdida de información	Pérdida parcial o total, de manera temporal o permanente, de información sobre textura, color, olor, otra.
Pérdida de tiempo	Tiempo que se pierde al llevar a cabo una acción.
Cantidad de sustancia	Cantidad de sustancia que contiene un objeto o sistema.
Fiabilidad	Seguridad de la habilidad que tiene un sistema para llevar a cabo la función para la cual fue diseñada.
Exactitud de dimensiones	Certidumbre con la que es posible medir una característica o parámetro de un sistema.
Exactitud de producción	Grado de exactitud mediante el cual se puede fabricar un objeto en relación con las especificaciones requeridas.
Factores externos dañinos al objeto	Susceptibilidad de un sistema a daños infringidos desde el exterior.
Efectos internos dañinos al objeto	Daños producidos durante la operación de un objeto.
Manufacturabilidad	Facilidad con la que se puede producir un objeto o sistema.
Facilidad de operación	Simplicidad en la operación de un objeto o sistema.
Reparabilidad	Cualidad que tiene un objeto o sistema de ser reparado en forma rápida y sencilla.
Adaptabilidad	Flexibilidad con que un objeto o sistema responde a cambios externos.
Complejidad del objeto	Diversidad de elementos que se relacionan entre sí durante la operación de un objeto.
Complejidad del control	Grado de dificultad con la que se puede controlar la operación de un objeto o sistema.
Nivel de automatización	Capacidad para que un objeto o sistema funcione sin la intervención humana.
Productividad	Número de funciones o de operaciones que un objeto o sistema lleva a cabo por unidad de tiempo.

Fuente: Adaptado de Anaya y Pedroza (2007).

Por ejemplo, se está analizando la necesidad de que la pasta de celulosa lavada que sale del proceso de obtención de pasta química sea blanqueada. En este caso, si el problema tecnológico en el cual la característica que empeora ( $\downarrow$ ) es la cantidad de sustancia, mientras que la característica que mejora es la estabilidad de la pasta obtenida, ¿cuáles serían los principios inventivos que podrían utilizarse para resolver el problema? Según la matriz de contradicciones completa (que no se muestra en el presente documento, pero que se puede encontrar en <http://blog.pucp.edu.pe/media/avatar/893.pdf>), los principios inventivos que pueden utilizarse para resolver el problema serían P15 (Dinámica), P 32 (Cambio de color) y P 35 (Transformación de estados físicos y químicos). Estos son los principios que el diseñador debería

tener en cuenta inicialmente, como una primera aproximación. Para un problema específico, el diseñador podrá tomar los que más se ajusten a la situación física estudiada o incrementar otros.

	Cantidad de la sustancia 26 $\downarrow$	
	14, 10, 34, 17	36, 22
Estabilidad del objeto 13 $\uparrow$	35, 27	15, 32, 35
	29, 3, 28, 10	29, 10, 27
		10, 40, 16
		11, 3

Elaboración: Loayza, Jorge (2013)

Figura 2. Vista parcial de la matriz de contradicciones donde se indican los principios inventivos.

Cuadro 7. Uso de la matriz de contradicciones.

	<i>26. Cantidad de la sustancia (<math>\downarrow</math>) (Por ejemplo, el blanqueo disminuye la cantidad de lignina, lo que influye en la estabilidad de la pasta)</i>
<i>13. Estabilidad del objeto (<math>\uparrow</math>) (Por ejemplo, al retirar la lignina de la pasta, la pasta blanqueada tendrá una mayor estabilidad frente a la presencia de oxígeno, es decir, será resistente a sufrir una oxidación posterior, "pardeamiento" del papel elaborado)</i>	P 15 Dinámica
	P 32 Cambio de color
	P 35 Transformación de estados físicos y químicos.

Elaboración: Loayza, Jorge (2013).

Cuadro 8. Ventajas del TRIZ.

N°	Ventajas
1	Fiable en sus soluciones, ya que estas han sido probadas anteriormente (validadas).
2	Tiene alto grado de repetitividad.
3	Contempla un variado "abanico" de soluciones.
4	Fomenta la creatividad.
5	Está basado en leyes y principios tecnológicos.
6	Es un método convergente.
7	Provoca evoluciones tecnológicas.

Fuente: Adaptado de Anaya y Pedroza (2007).

Cuadro 9. Desventajas del TRIZ.

N°	Desventajas
1	Se limita a tener un correcto planteamiento del problema en términos técnicos. En caso contrario se puede tener una solución errónea.
2	La innovación se presenta a medida que surjan combinaciones de soluciones ya existentes.
3	Se requiere un conocimiento profundo de los principios del TRIZ.

Fuente: Adaptado de Anaya y Pedroza (2007).

### e. Formas de aplicar el TRIZ

El TRIZ se puede aplicar en tres formas, las cuales se pueden resumir en que sirve para:

- Comparar las opciones propuestas por el TRIZ con la solución tecnológica planteada en una patente.
- Evaluar si las soluciones corresponden a innovaciones tecnológicas.
- Emplear el método para encontrar nuevas soluciones.

Como ejemplo de aplicación de las dos primeras formas de usar el TRIZ, se presentan los principios inventivos identificados al analizar una patente que contiene todos los componentes necesarios para evaluar una innovación<sup>[8]</sup> <sup>[9]</sup>. Esta patente es considerada por los autores como un referente en el campo del blanqueo sin utilizar cloro elemental, y ha sido la base para innovaciones posteriores<sup>[8]</sup>.

### Principios inventivos identificados en una patente para el blanqueo de pasta de celulosa

Cuadro 10. Principios inventivos utilizados para el blanqueo de pasta papelera o pasta de celulosa.

Principio	Descripción	Aplicación
P2 Extracción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sacar alguna parte (o propiedad) que interfiera.</li> <li>Aislar la única parte (o propiedad) que interesa.</li> </ul>	En este caso consiste en extraer las impurezas (lignina) que colorean las fibras de celulosa.
P16 Acción parcial	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si es difícil obtener el 100% del efecto deseado, obtener al menos algo del mismo.</li> </ul>	En este caso el parámetro que interesa frente a la presencia de impurezas es el porcentaje de blancura que debe estar cercano al 100%, en el caso reportado es de 89.5%.
P32 Cambio de color	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cambio de color de un objeto o de su ambiente.</li> </ul>	Si la pasta de celulosa no se blanquea, será susceptible a posteriores oxidaciones y el papel elaborado con dicha pasta no podrá ser utilizado para aplicaciones en las cuales se requiera una blancura determinada. Por ejemplo, papel bond.
P35 Transformación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cambio de parámetros o propiedades.</li> <li>Cambiar la concentración o densidad.</li> <li>Cambiar las condiciones ambientales (temperatura, presión o humedad).</li> </ul>	La patente de la referencia indica un rango de condiciones de operación que se basan en: Primera etapa (solución acuosa de cianamida, solución de blanqueo: NaOH y H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ): Temperatura de blanqueo: 55°C Duración del blanqueo: 120 min Grado de blancura: 88.3% Segunda etapa (solución acuosa de cianamida, solución de blanqueo: NaOH y H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ): Temperatura de blanqueo: 55°C Duración del blanqueo: 120 min Grado de blancura: 89.5%
P38 Oxidación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Emplear oxidantes fuertes.</li> <li>Reemplazo de aire por aire enriquecido con oxígeno o cambiar por otro agente oxidante.</li> <li>Hacer que un objeto o sistema cumpla múltiples funciones.</li> <li>Usar oxígeno ozonizado.</li> </ul>	En este caso se ha utilizado el peróxido de hidrógeno, en presencia de cianamida y el hidróxido de sodio, para oxidar a la lignina presente en la pasta papelera refinada.

Elaboración: Loayza J., Silva M. (2013).

*Procedimiento para el blanqueo y la deslignificación sin cloro de un material celulósico (Referencia: ES 2 051 531; fecha de publicación del folleto de patente: 16-06-94)*

Según la clasificación internacional de patentes, la patente analizada pertenece al tipo:

D: Fabricación de papel

D21: Fabricación de papel: producción de celulosa

D21C: Producción de celulosa por eliminación de sustancias no celulósicas de las materias que contienen celulosa.

9/10: Blanqueamiento

9/16: Con per-compuestos

El procedimiento de blanqueo propuesto en esta invención es tipo TLC (Totalmente Libre de Cloro) y sus compuestos (por ejemplo: NaClO o ClO). Se utiliza un tratamiento con oxígeno (O<sub>2</sub>) y peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), y un tratamiento posterior con peróxido activado con cianamida, que garantiza alto grado de blancura (89.5%).

#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

##### a. Conclusiones

1. Los principios inventivos propuestos por la metodología TRIZ pueden ser identificados en diversas patentes de invención, mediante un cuidadoso análisis de las soluciones planteadas a un determinado problema.
2. La mayor parte de aplicaciones del TRIZ se ha relacionado a soluciones técnicas concretas con el diseño de equipos, pero es posible encontrar soluciones a etapas específicas en procesos industriales con la finalidad de hacerlos sostenibles.
3. Las soluciones encontradas en las patentes de invención no necesariamente son innovaciones, porque no todas ellas logran transformarse en opciones que puedan ser comercializadas.
4. Tomando como referencia el caso del blanqueo de la pasta papelera o pasta de celulosa, las soluciones encontradas a través del tiempo sí se consideran innovaciones, ya que a nivel mundial se están utilizando actualmente dos tecnologías: la LCE (Libre de cloro elemental, o por sus siglas en inglés ECF) y la TLC (Totalmente libre de cloro, o por sus siglas en inglés TCF).

##### b. Recomendaciones

Continuar con el análisis de las diversas herramientas que proporciona el TRIZ, con la finalidad de potenciar su aplicación para encontrar soluciones a futuros problemas tecnológicos, ya que el estudio realizado ha partido de identificar los principios inventivos en soluciones dadas, identificadas mediante el análisis de patentes de invención.

1. Se debe profundizar en la aplicación de una de las herramientas más creativas del TRIZ, es decir, la matriz de contradicciones, ya que esto permitirá

encontrar los principios inventivos que faciliten la solución de problemas.

2. Para encontrar la trayectoria tecnológica de un sector industrial, se debe hacer un estudio de patentes exhaustivo, seleccionando patentes que respalden a procesos tecnológicos que ha sido comercializados.

#### V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Álvarez J. , **Introducción a la Metodología Inventiva TRIZ. 40 Principios Inventivos TRIZ**. Presentación realizada en el Doctorado en Ingeniería Industrial. FII. UNMSM.
- [2] Anaya A., Pedroza H. **Metodología TRIZ para la resolución de problemas tecnológicos**. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. 2007.
- [3] Doldán X.A., Chas Amil Ma. L. **La contaminación de la industria para papel en Galicia: Un análisis de flujo de materiales y energía**. Revista: estudios de Economía Aplicada. 2001; 18 (2).
- [4] Fernández R. **La gestión de la innovación**. Revista Ingeniería Química. 2007; N° 445. Marzo.
- [5] Hidalgo A., León G., Pavón J. **La gestión de la innovación y la tecnología de las organizaciones**. Ediciones Pirámide. Madrid; 2008.
- [6] Isoba O. **TRIZ o la Teoría de Resolución de los Problemas Inventivos**. Publicado en línea en la revista electrónica Innovación y creatividad. Web site: oisobaarrobaafibertel.com.ar. 2007.
- [7] Loayza J., Silva M. Los procesos industriales sostenibles y su contribución en la prevención de problemas ambientales. Revista Industrial Data.

2013; Vol. 16. N° 1. Facultad de Ingeniería Industrial. UNMSM.

- [8] Patente N° de publicación: ES 2 051 531 Título: ***Procedimiento para el blanqueo y la deslignificación sin***

***cloro de un material celulósico.*** Fecha de publicación: 16-06-94.

- [9] Patente N° de publicación: 2 221 529 Título: ***Procedimiento para deslignificación de pastas de celulosa.*** Fecha de publicación: 01-11-2005