

**EVALUACIÓN DE LOS BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE LOGÍSTICA
INVERSA EN LA RECOLECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE ENVASES PARA
EL LLENADO DE GASES.**

ALEXANDER ACOSTA PAZ

**DIRECTOR:
ING. CARLOS ALBERTO BULA GAZABON**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ DC
2015**

**EVALUACIÓN DE LOS BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE LOGÍSTICA
INVERSA EN LA RECOLECCIÓN Y RECUPERACIÓN DE ENVASES PARA
EL LLENADO DE GASES.**

ALEXANDER ACOSTA PAZ

**DIRECTOR:
ING. CARLOS ALBERTO BULA GAZABON**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE
MAGISTER EN INGENIERIA INDUSTRIAL**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ DC
2015**

AGRADECIMIENTOS

A mi esposa Laura, quién durante todo el desarrollo de ésta investigación estuvo allí, alentándome y animándome para contemplar este logro; su amor y dedicación alimentaron constantemente mi compromiso y esfuerzo para culminar este reto.

A mis padres y mi hermana, quienes con su apoyo, bendiciones y buenos deseos han fomentado en mí el empeño para completar este trabajo.

Y finalmente a Dios, guía permanente en el recorrido de mi vida.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. PROBLEMA A RESOLVER.....	8
3. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.....	11
4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	13
5.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
6. ALCANCE.....	14
7. ESTADO DEL ARTE	14
7.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	14
7.2. LOGISTICA INVERSA EN LA INDUSTRIA – MARCO TEÓRICO	17
a. PROCESOS LOGISTICOS EN LA INDUSTRIA DE GASES	39
8. METODOLOGÍA PLANTEADA PARA LA INVESTIGACIÓN.....	41
a. ETAPA DE DIAGNÓSTICO	41
b. ETAPA DE DEFINICIÓN DEL MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA.....	41
c. ETAPA DE RESULTADO Y EVALUACIÓN	42
d. ETAPA DE CONCLUSIONES.....	42
9. DIAGNÓSTICO	42
a. GENERALIDADES DE LOS GASES	42
i. CLASIFICACIÓN DE GASES	43
1. CLASIFICACIÓN GASES POR PROPIEDADES FÍSICAS.....	43
2. CLASIFICACIÓN GASES POR PROPIEDADES QUÍMICAS.....	46
3. CLASIFICACIÓN DE GASES SEGÚN SU USO.....	48
ii. ESPECIFICACIONES DE LOS CILINDROS	49
b. GENERALIDADES PROCESO DE LLENADO Y DISTRIBUCIÓN	55

c.	PARTES INVOLUCRADAS EN LA LOGÍSTICA DEL SECTOR.....	56
10.	DEFINICIÓN DEL MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA.....	58
a.	VARIABLES QUE AFECTAN LA RECOLECCIÓN DE ENVASES.....	59
i.	EN LA EMPRESA ENVASADORA	59
ii.	EN EL CLIENTE	60
iii.	EN LA COMPETENCIA	61
iv.	EN EL TRANSPORTE	61
b.	MODELO LOGISTICO AS-IS.....	63
i.	DESCRIPCIÓN MODELO LOGISTICO AS-IS.....	64
c.	MODELO LOGISTICO TO-BE	66
i.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO LOGISTICO TO-BE	67
11.	RESULTADOS Y EVALUACIÓN	71
a.	RESULTADOS.....	71
i.	RESULTADO CILINDROS RECUPERADOS	72
ii.	RESULTADO STOCKS MÍNIMOS DE INVENTARIO	75
iii.	RESULTADO KPI DE ENTREGA DE CILINDROS	76
iv.	RESULTADO BENEFICIO ECONOMICO	77
b.	EVALUACIÓN Y ANÁLISIS.....	78
i.	EVALUACIÓN CILINDROS RECUPERADOS.....	78
ii.	EVALUACIÓN STOCKS MÍNIMOS DE INVENTARIO.....	80
iii.	EVALUACIÓN KPI DE ENTREGA DE CILINDROS	80
iv.	EVALUACIÓN BENEFICIO ECONÓMICO	81
11.	CONCLUSIONES.....	82
12.	OTROS ESTUDIOS	84
13.	REFERENCIAS	85

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS:

La mayoría de las empresas del sector de envasado de gases en Colombia adquieren sus cilindros a través de la compra de cilindros nuevos en el exterior como por ejemplo en Europa o Norteamérica; esto hace que la compra de estos activos (completamente indispensables) se convierta en uno de los costos más altos de este negocio. Con frecuencia este tipo de envases se extravían de manera casi inverosímil, dificultando el normal desarrollo productivo del proceso de envasado de gases.

Esta investigación comprende el diseño de un modelo de logística inversa destinado a la recolección y recuperación de envases para el llenado de gases el cual permite a las empresas del sector recuperar sus activos de manera sistemática, además en ella se encuentra la evaluación de los beneficios generados por la implementación del modelo.

Palabras Clave: Logística inversa, Recuperación de cilindros, Modelo

The most of the companies in the gas filling market in Colombia, acquired there cylinders by the purchase of new cylinders abroad such as in Europe or North America; for that reason the purchase of this cylinders (completely indispensable) become in the highest costs of this kind of business. Often this type of container are getting lost almost implausibly, hindering the normal development of productive gas filling process.

This research involves the design of a model of reverse logistic intended for the collection and recovery of containers for filling gases which allows companies in the sector to recover its assets in a systematic way, also is the evaluation of the benefits for the implementation of the model.

Keywords: Reverse logistics, Cylinders recovery, Model

1. INTRODUCCIÓN

El mercado de producción, envasado y suministro de gases industriales y medicinales consiste principalmente en la obtención de estos gases a través de procesos de descomposición del aire o de otros procesos productivos con el fin de envasar los gases obtenidos de dichos procesos en cilindros de acero y aluminio a altas presiones, de tal fin que se pueda realizar la distribución de gases en los cilindros mencionados a los consumidores finales.

La mayoría de las empresas del sector de envasado de gases en Colombia adquieren sus cilindros a través de la compra de cilindros nuevos en el exterior como por ejemplo en Europa o Norteamérica; esto hace que la compra de estos activos (completamente indispensables para el negocio) se convierta en uno de los costos más altos de este negocio. Con frecuencia este tipo de envases se extravían de manera casi inverosímil, dificultando el normal desarrollo productivo del proceso de envasado de gases.

En la mayoría de los casos estos envases se pierden por mala administración de estos activos en las instalaciones de los clientes, por el mercado negro que existe para este tipo de elementos y por la falta de las empresas propietarias de los cilindros para generar mecanismos que se traduzcan en la recuperación de sus activos.

Esta investigación pretende evidenciar si al utilizar un modelo o planteamiento de logística inversa al interior de las empresas del sector de gases se generan beneficios para la compañía y además de alguna manera determinar en qué medida estos beneficios son o no importantes para las compañías de gases.

2. PROBLEMA A RESOLVER

El mercado de producción, envasado y suministro de gases industriales y medicinales consiste principalmente en la venta del gas como tal a los consumidores finales; sin embargo para poder llegar a completar esta venta es necesario distribuir dicho gas en envases muy costosos como cilindros y termos (envases criogénicos) los cuales son activos de la compañía que los envasa.

El proceso de llenado de gases comprimidos consiste en tomar de un granel de producto como oxígeno, nitrógeno, argón, entre otros, en estado líquido almacenado en tanques criogénicos estacionarios y convertir la molécula a estado gaseoso haciéndolo pasar por un vaporizador; este producto ya en fase gaseosa es trasladado con ayuda de una bomba criogénica a través de unas tuberías de alta presión hasta unas rampas de llenado que constan de flexibles (mangueras) metálicos los cuales son conectados a los cilindros en donde finalmente es almacenado dicho producto en estado gaseoso.

La siguiente figura muestra el proceso de llenado descrito.

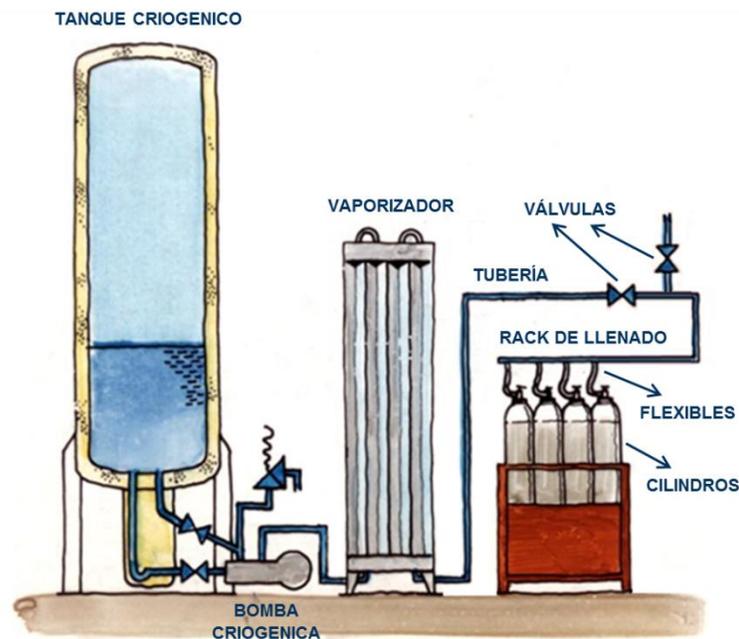


Figura 5. Proceso de llenado de gases del aire.

Fuente: Empresa de Gases Colombiana. (2015).

Posterior al llenado los cilindros con producto son almacenados y comercializados en vehículos asignados para dicha actividad.

La planificación de llenado de gases se realiza diariamente contemplando el inventario de producto terminado, la demanda requerida y los recursos disponibles para el proceso, tales como personal operativo, equipos y tecnología y envases disponibles para llenado (cilindros y termos). La situación actual de la compañía donde se pretende realizar esta investigación la cual será denominada en adelante como “la compañía” o “la empresa” y en general en las compañías envasadoras de gases, presenta una limitante para llevar a cabo esta actividad la cual consiste en la falta de disponibilidad de cilindros para llenado. Teniendo en cuenta que los cilindros son activos de la compañía no pueden ser desechados luego de que el cliente haya consumido el gas, por lo tanto, estos recursos deben ser reutilizados en el proceso de llenado, quiere decir que para realizar el proceso de llenado la compañía debe llevar a cabo la recolección de los cilindros que se encuentran en las instalaciones de los clientes.

El problema a resolver es que no existe un modelo definido y adecuado para la recolección de envases y debido a esto no se cuenta con buena disponibilidad de cilindros para los procesos de llenado de gases. Teniendo en cuenta que la recolección de los envases no depende del usuario; los clientes del sector consumidor de gases industriales y medicinales no retornan los envases vacíos (una vez han consumido el gas) a las empresas envasadoras para que estos puedan nuevamente ser llenados y redistribuidos; generándole a dichas compañías serios inconvenientes en sus planes de producción y logística por la falta de envases. La planeación de producción de la empresa está basada en el control de niveles de inventarios mínimos para la atención de la demanda y la mayoría de las veces estos niveles no son alcanzados debido a la falta de envases para llenado.

Como se muestra en la figura siguiente la planificación de la producción y el desarrollo normal del proceso se ven afectados cuando se rompe el flujo de retorno de los envases a la compañía para su nuevo envasado.

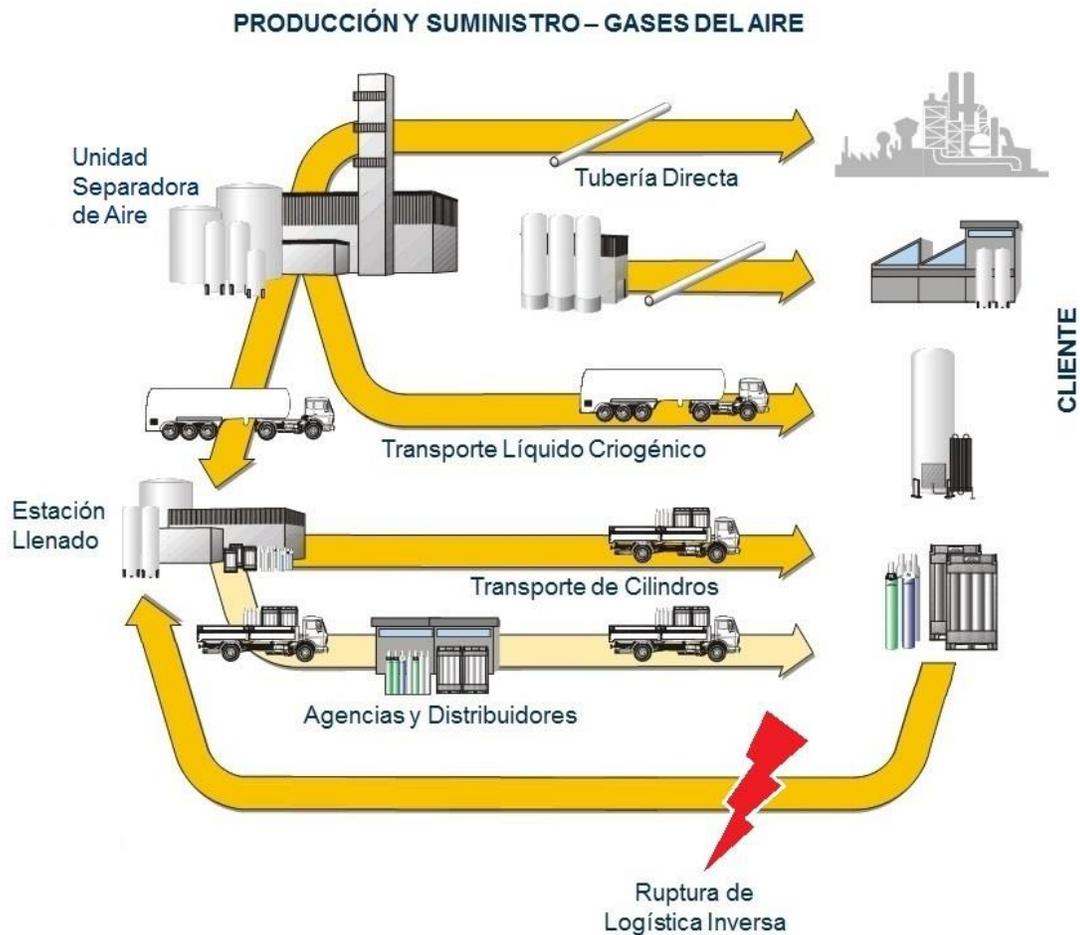


Figura 6. Proceso de llenado de gases del aire.

Fuente: Empresa de Gases Colombiana. (2015).

En la actualidad la empresa en su sede principal cuenta con un KPI de entrega de cilindros superior al 94% en promedio sin embargo este indicador se ve constantemente afectado por la falta de disponibilidad de cilindros para llenado, además el nivel de inventario mínimo de producto terminado se ha visto sumamente afectado por este mismo problema, en este momento la sede solo logra alcanzar el 75% de la meta establecida para el stock mínimo requerido de cada producto por esta causa.

La clasificación de cilindros en las instalaciones del cliente se determina de acuerdo al número de días que los cilindros llevan en las instalaciones del cliente a partir del momento de la entrega del producto. Esta clasificación se ve en la tabla siguiente en donde se observa igualmente que la cantidad de

cilindros que superan los 90 días en las instalaciones del cliente es supremamente alta con respecto a la totalidad de cilindros que están rotando en el mercado actualmente.

Zona	Clasificación					Total general
	A(Mas de 180 días)	B(91 - 180 Dias)	C(61 - 90 Dias)	D(31 - 60 Dias)	E(0 - 30 Dias)	
Centro	52%	12%	6%	9%	21%	100%
Norte	54%	11%	6%	10%	19%	100%
Sur	50%	11%	7%	10%	22%	100%
Total general	52%	12%	7%	9%	21%	100%
70%						

Tabla 1. Cantidad de Cilindros en Cliente por Clasificación de Tiempo.

Fuente: Empresa de Gases Colombiana. (2015).

Basada en su experiencia en el mercado y en comparaciones de Benchmarking realizadas con otras sedes de la empresa en otros países de mejor desempeño la compañía ha determinado que un tiempo considerable para que un cilindro rote entre las instalaciones del cliente y la empresa es de alrededor de 60 días máximo, de acuerdo a esto podemos concluir que en la actualidad el 70% de los cilindros en rotación se encuentran por fuera de la recomendación normal de rotación establecida por la compañía.

Además se observa que de este 70% de cilindros en rotación el 52% corresponde a cilindros a más de 180 días en las instalaciones de los clientes, los cuales tienen un agravante para su recuperación y es que han estado tanto tiempo en las instalaciones del cliente que se corre el riesgo de que dichos cilindros se pierdan por malos manejos de control del cliente y por el mercado negro de cilindros que se presenta en el sector.

3. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

La razón principal por la cual se debe solucionar el problema es generar un beneficio en costos y en productividad para la compañía a través de la recuperación de envases para ser llenados. Al recoger y recuperar envases que se encuentran en las instalaciones del cliente pero que le pertenecen a la empresa como activos de la misma, se evita generar compra de envases innecesariamente lo cual repercute de manera positiva en las inversiones de la

compañía, además el tener mayor disponibilidad de envases para llenado se aumenta la productividad de la planta al no tener tiempos muertos por falta de envases como actualmente sucede.

Una de las estrategias que ha implementado la empresa a nivel global ha sido facturar arriendo por la permanencia de los envases en las instalaciones del cliente sin embargo en Colombia esto es un gran problema ya que la mayoría de los clientes no aceptan este cobro y por ende los envases le son entregados sin cobro alguno. Además de esto se le pide a los clientes que el contrato comercial incluya un documento anexo en donde el cliente se comprometa a pagar los envase en caso de que estos sean extraviado por él, sin embargo los grandes clientes del país y quienes son los principales usuarios de estos envases la mayoría de las veces no acceden a firmar dicho documento lo cual lleva a la empresa a suministrar envases sin la seguridad de recuperarlos o que sean retornados oportunamente.

La principal actividad para el control de cilindros es realizar seguimiento sobre los inventarios de envases que se encuentran en las instalaciones del cliente y buscar la forma de que éste los retorne oportunamente; para esto la empresa tiene un parámetro de días máximos sin rotación el cual plantea que los cilindros no deben superar más de 180 días en el cliente.

Actualmente la empresa en Colombia cuenta con más de 128.850 envases en las instalaciones de los clientes de los cuales 67.000 han superado el parámetro máximo de rotación de envases en clientes (180 días). Lo cual quiere decir que aproximadamente el 52% de los envases que se encuentran en los clientes superan los 6 meses en sus instalaciones sin tener rotación alguna, situación que claramente afecta la disponibilidad de recursos para el desarrollo de los procesos productivos de la compañía.

El costo promedio de un envase está alrededor de los \$547.000 pesos colombianos; en el caso hipotético de que los 67.000 cilindros que se encuentran en los clientes a más de 180 días sin rotación no regresaran a la compañía y sin tener en cuenta la depreciación de los equipos, se requeriría por parte de la empresa una inversión de 36.649 millones de pesos en activos de la compañía; esto sin contar la pérdida en ventas derivada de la falta envases disponibles para llenado.

Es por lo anteriormente descrito que esta investigación se debe desarrollar con el fin de plantear otras alternativas de solución o mejorar las existentes y así determinar qué beneficios podría traer para la organización la implementación de ellas.

4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo y en qué medida se generan beneficios tras la utilización de un modelo de logística inversa en la recolección y recuperación de envases usados para el llenado de gases?

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Esta investigación pretende identificar y evaluar los beneficios generados tras la implementación de un modelo de logística inversa enfocado en la recolección y recuperación de envases en el sector de llenado de gases.

5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las condiciones en las cuales se puede implementar un esquema que asumiendo las características de la logística inversa se pueda desarrollar para la industria objeto de análisis en este documento.
- Identificar cuáles son los beneficios de utilizar la logística inversa en la recolección y recuperación de envases para el llenado de gases y en qué medida se generan dichos beneficios.
- Plantear recomendaciones que le permitan a la industria del sector gases mejorar la operación de recolección y recuperación de envases para el llenado de gases.

6. ALCANCE

La investigación tiene como alcance la evaluación de los beneficios generados a raíz del uso de un modelo de logística inversa para la recolección de envases de las empresas de llenado de gases. Inicialmente se realizará la investigación con la información obtenida por una de las empresas de llenado de gases del país.

7. ESTADO DEL ARTE

7.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este apartado se pretende hacer un serio resumen de los estudios que en materia de logística inversa se han venido desarrollando desde hace quince años, teniendo como eje principal de la temática la propuesta que acompaña este documento en relación con la recuperación de cilindros o envases en la industria del llenado de gas.

Para nadie es un secreto que en la actualidad, además del tema medioambiental que surge como factor importante en los procesos de operación empresarial e incluso institucional, como quiera que se constituye en el punto de partida del proceso en mención, aparecen entre los temas a manejar el relacionado con la productividad.

Partiendo de esa premisa, es claro entonces afirmar que ha aparecido en el panorama un nuevo enfoque el cual plantea un modelo objetivo que busca minimizar los costos totales y el retraso en el tiempo de ciclo para el diseño de una red inversa en lo relacionado con la recuperación no sólo de este tipo de envase sino de cualquiera a nivel industrial

Es básicamente el modelo o propuesta que a través de un estudio realizado en 2008 por Du Et considera la participación de una economía de escala con una revisión de los costos asociados a la implementación de una logística inversa que genere resultados desde el punto de vista mejor utilización y seguimiento del recurso, para llegar a la obtención de resultados financieros exitosos.

Cruz (2009) plantea en su análisis la idea según la cual la función objetivo está marcada por los costos generados y el porcentaje de cobertura, en el cual se plantean tres posibles escenarios: la recolección del 100%, 95% y 75% de los envases generados a través de tres puntos de recolección, los cuales servirían no sólo para saber del número de envases con el cual se dispone sino que se reducirían los costos de manera significativa.

La propuesta de Srastava en 2008 según la cual se divide en dos partes: en la primera desarrolló un modelo de organización jerárquico de dos niveles, en el cual se detallan la visión útil de la gestión y de sus implicaciones y en la segunda se pretende maximizar beneficios para varios escenarios utilizando como herramienta el Sistema de Modelización General Algebraico.

Sin embargo, un estudio elaborado por Fan Wang en 2010 plantea un modelo general para el análisis de problemas de localización en redes de logística inversa cerradas, el cual tiene en cuenta los niveles de capacidad de las instalaciones, en un único período. Consideran como método de solución, el árbol de expansión mínima con algoritmos genéticos.

La particularidad de combinar el objetivo de minimizar el costo de operaciones con el tema medioambiental se puede hallar en los estudios de Frota Neto, en los cuales se crea un modelo para la asignación de flujo de productos retornados y retornables, para lo cual recurre a un modelo de programación multiobjetivo que utiliza como herramienta el Análisis de Datos Envolvente.

Haciendo un análisis mucho más completo y exhaustivo acerca del tema, en 2009 Deghanian detalla un modelo de programación multiobjetivo en el cual se diseñe una red de recuperación sostenible, en donde el impacto económico, ambiental y social es balanceado y se genere un análisis del ciclo de vida del producto a recolectar, en este caso los envases.

Es de anotar que, simultáneamente a lo anterior, el autor del referido análisis enfatiza en la creación de un modelo de jerarquía analítica, que tenga presente el impacto social del proceso de logística inversa, con el ánimo siempre presente de maximizar los beneficios económicos y sociales y minimizar los impactos ambientales negativos.

Por su parte, Lu y Brosnel en 2007 ya habían considerado en un solo modelo el flujo directo e inverso en una red logística, para actividades de remanufactura en productos retornados, como los envases, y formulan un modelo de programación lineal entera mixta, donde las instalaciones son de tres tipos: productores, centros de remanufactura y centros intermedios

Por esa misma época Listes ya había sugerido mediante su análisis la creación de un modelo mixto estocástico para la creación de un modelo de red de logística inversa en actividades de recuperación de producto, utilizando una función que considera costos e ingresos netos, buscando dar como mayor prioridad una maximización de los mismos mediante una consideración de escenarios de demandas y retornos.

Aunque queda claro que los estudios que se han relacionado hasta el momento son importantes en la medida en que se pueden aplicar al caso que se pretende esbozar en este documento, como lo es el de la recuperación de envases para el gas, existe una amplia gama de análisis similares que tienen en cuenta factores no menos importantes.

Entre ellos el de Hu y Fulano (2012) quienes plantean un modelo de minimización de costos para un sistema de logística inversa en el cual se tengan en cuenta los siguientes pasos: 1. Recolección, 2. Almacenamiento, 3.

Tratamiento y 4. Distribución, los cuales de ser tenidos en cuenta serian vitales para todo lo relacionado con el objetivo planteado.

Un año antes, en 2011, Korchi y Millet presentaron un escenario que permite presentar y evaluar las diferentes estructuras de canales de logística inversa, el cual se aplica a la recuperación de un producto similar al planteado en este documento; en ellas propone alternativas para no generar un menor impacto ambiental y un amplio beneficio económico.

Para la logística inversa aplicada a este caso, si se tiene en cuenta la amplia revisión elaborada, las decisiones de carácter estratégico, involucran problemas de localización de puntos de recolección de residuos, así como el diseño de un sistema de identificación de los respectivos envases, que sirva no sólo como factor de referencia para comprobar la aplicación de los procesos de LI, sino también como fuente de inventario de los productos en mención, de tal manera que se cumplan los objetivos propuestos a nivel empresarial

7.2. LOGISTICA INVERSA EN LA INDUSTRIA – MARCO TEÓRICO

Los grandes problemas ambientales, las exigencias legales, sociales y económicas y las dificultades que se han venido presentado en la cadena de suministro de ciclo cerrado, han llamado la atención de la academia y los profesionales, es debido a esto que en los últimos años se han realizado gran número de investigaciones y publicaciones de artículos en revistas científicas referentes a la logística requerida para solucionar dichos inconvenientes. Con el fin de dibujar un marco del pasado y obtener direcciones futuras enfocadas a la solución de los problemas mencionados es importante realizar una revisión exhaustiva de trabajos recientes, análisis de casos y del estado de la técnica.

Desde comienzos de los años 70 el interés por el cuidado del medio ambiente desencadenó una serie de controles y mejoras al interior de las empresas a nivel global con el fin de que sus procesos productivos y logísticos fueran amigables con el medio ambiente sin que esto afectara su competitividad frente al mercado y que por el contrario aportaran a un desarrollo sostenible que les generará además una rentabilidad. Una de estas mejoras a nivel logístico es

la inclusión de la logística inversa en la logística general de las compañías de tal manera que ésta defina la dirección de la cadena de suministro en dos direcciones; una dirigida hacia el consumidor y la otra nuevamente retornando del consumidor al proveedor.

En la industria del acero Johnson (1998) realizó una investigación sobre los sistemas de logística inversa para la gestión de la chatarra y las estrategias de implementación utilizadas por 12 plantas ubicadas en Michigan y Ontario, llevando a cabo entrevistas siguiendo la metodología de estudio propuesta por Yin (1994).

Genchev (2009) propuso un diseño de logística inversa para una empresa dedicada a la distribución al por mayor de productos de tecnología definidas por las siguientes iniciativas:

- Apoyo directivo
- Involucramiento de los clientes
- Reconocimiento de los empleados
- Implementación de procedimientos adecuados
- Asignación de responsabilidades para los ejecutores e involucrados en el programa de logística.

En la industria electrónica Krikke, Van Harten y Schuur en 1999 presentaron un estudio dirigido hacia el diseño de estrategias para la recuperación y reciclaje económico de monitores de computadores en Holanda. Kenemeyer, Ponzurick y Logar (2002) diseñaron un sistema de logística inversa enfocado en el reciclaje y prefabricación de computadoras que dejan de ser usadas por los propietarios, su trabajo fue logrado utilizando la metodología de análisis cualitativos a través de la realización de encuestas profundas lo que les permitió conocer más a fondo la viabilidad del sistema propuesto. Otros autores que realizaron propuestas de logística inversa en la industria electrónica fueron Ravi, Shankar y Tiwari (2005), al evidenciar de forma más aterrizada el problema de llevar a cabo operaciones de logística inversa cuando termina el ciclo de vida de las computadoras lo cual lograron realizando una combinación entre el Balance Score Card y red analítica de procesos (ANP)

La logística inversa ha tomado cada vez más importancia dentro de las operaciones logísticas de las compañías, es por ello que cada vez más y más empresas la están adoptando como una herramienta estratégica para conseguir beneficios económicos y enriquecer de igual forma su imagen social, tal como lo

plantea Kannan et al. (2012). “Un número creciente de empresas han comenzado a darse cuenta de la importancia de la implementación de la gestión integrada de la cadena de suministro, impulsados por la presión de cumplir con los pedidos de los clientes a tiempo, así como de lograr la manera más eficiente de tomar productos nuevos a partir de los devueltos por los clientes después de la venta” además cierra su comentario con que los prestadores de servicio logísticos inversos “están desempeñando un papel cada vez más importante en el apoyo a dicha gestión de la cadena de suministro integrada utilizando sofisticados sistemas de información y equipo dedicado”. Kannan et al. En 2012 dedicó su trabajo a “analizar la interacción entre los factores y los niveles de los factores utilizando un Modelo Interpretativo Estructural (ISM). Una contribución importante de este trabajo radica en el desarrollo de los vínculos entre los diversos factores de un proveedor de logística inversa a través de un único marco sistémico. La metodología propuesta en el ISM determina un orden específico a seguir, al igual que define la dirección de la complejidad de las relaciones entre los elementos de un sistema ofreciendo un enorme valor a los responsables de tomar decisiones”. Cabe resaltar que Kannan venía hablando sobre logística inversa desde los años 2009 de cuyo trabajo concluyó “Si un sistema de logística inversa se diseña y gestiona adecuadamente, puede mejorar la rentabilidad y la satisfacción del cliente. Con el fin de concentrarse en las operaciones de negocio y lograr la rentabilidad, las empresas están externalizando las actividades de logística inversa. Por lo tanto, la selección del mejor proveedor de logística inversa se convierte en el tema más importante en todo el sistema de la cadena de suministro. La elección de los posibles criterios para la selección de proveedor de logística inversa implica importantes retos tanto para los gestores como para los gerentes en las industrias” por lo anterior el propone algunos criterios de selección para este tipo de proveedores, los cuales al ser tenidos en cuenta en el análisis de un modelo interpretativo estructural que contempla las interdependencias entre los criterios dados en el diagrama conductor- dependencia diseñado por él, facilita la elección; así por ejemplo en un caso ilustrado en su trabajo demuestra que en base a su potencia de accionamiento, la capacidad Técnica / Ingeniería, es el criterio más importante en la selección del proveedor de logística inversa para la industria de las baterías porque tiene un fuerte poder de conducción y es el menos dependiente de los demás criterios. Evidencia también que criterios como la calidad, entrega, tasa de rechazo, Incapacidad para cumplir con el requisito futuro, tienen muy baja dependencia y poder conductor, pero revertir criterios de costos de logística tiene una alta dependencia y bajo poder de conducción. La capacidad Técnico / Ingeniería y criterios de voluntad y actitud tienen baja

dependencia y altísimo poder de conducción. En esta ilustración también se manifiesta que el criterio de la Capacidad Técnica / Ingeniería forma la base de la industria para seleccionar un proveedor de logística inversa y revertir el costo de la logística y los obstáculos que podrían impedir el cumplimiento requerimientos futuros por eso forman los criterios de nivel superior. Por ejemplo, a partir de lo anterior se podría concluir que la gestión de las empresas de transporte deben tener alta Ingeniería / Capacidad técnica para proporcionar la operación logística inversa que a su vez reducirá el costo de la logística inversa y el obstáculo que podría hacer que no se cumpla con el requisito futuro.

Las empresas también se han dado cuenta de que administrar el flujo de devoluciones de productos es una actividad de importancia estratégica que abarca diferentes funciones dentro y fuera de las empresas, especialmente en términos de marketing y operaciones, por esta razón Stock y Mulki en su trabajo de 2009 se centraron específicamente en la gestión de los retornos en la industria del calzado; eligieron una metodología de investigación cualitativa para generar un análisis en profundidad dada la comprensión limitada en ese entonces del tema de investigación, cuyos resultados obtenidos sugieren que la gestión de los retornos se reconoce un mayor papel en la alineación interfuncional y que este fenómeno está vinculado a diferentes elementos del valor de la relación, es decir, que una mejor comprensión de las devoluciones de productos y un involucramiento de logística inversa eficiente, puede proporcionar una ventaja competitiva (Stock y Mulki, 2009). Aunque muchas industrias se han dado cuenta de que la logística inversa es una necesidad para la competitividad sostenible, hay una falta de acuerdo sobre la adopción e implementación del sistema de logística inversa de manera obligatoria (Richey et al., 2004). La logística inversa ha beneficiado a varias organizaciones tales como General Motors, Canon, Dell, Hewlett-Packard, entre otras.

Jayaraman y Luo (2007) mencionaron que Kodak es capaz de reutilizar hasta el 80% de las partes de la cámara usadas. Wu y Cheng (2006) investigaron las posibles ventajas de la implementación de la logística inversa en la industria editorial en China, Hong Kong y Taiwán, su trabajo lo realizaron siguiendo un enfoque de caso múltiple en combinación con el análisis "Entry of Order Item and Quantity".

Kumar y Craig (2007) estudiaron la línea de ensamblaje de computadoras de Dell. Lau y Wang (2009) estudiaron la industria electrónica en China y

exploraron los problemas encontrados en la aplicación de la logística inversa. Subramanian et al. (2014) trabajaron en el final de la vida útil de los productos en el sector manufacturero chino. Jayaraman et al. (2003) analizan los sistemas de la logística inversa para el reciclaje y la reutilización de los envases de bebidas, para ello propusieron un modelo de programación matemática para una versión de este problema (la gestión de los flujos de retorno del producto, inducida por diversas formas de reutilización de productos y materiales). Debido a la complejidad del modelo propuesto, también introdujeron una metodología de solución heurística que complementa un procedimiento de concentración heurístico. Como base de las soluciones de los sub-problemas construyeron un conjunto de instalaciones o sitios potenciales y este problema se resuelve optimizando la función objetivo de la heurística. Los sitios potenciales se expanden de manera ambiciosa para obtener una solución final. También se llevó a cabo esta "expansión heurística" utilizando la solución encontrada con una heurística siendo codiciosos para proporcionar una lista corta de posibles sitios de las instalaciones. Las pruebas computacionales muestran una gran promesa para este método de solución, ya que se obtienen soluciones de alta calidad mientras que se realizan esfuerzos computacionales bajos.

Otra industria que se ha visto beneficiada con la aplicación de logística inversa, es la industria de las alfombras trabajado por Biehl et al. (2007), quienes diseñaron un modelo de simulación el cual analiza varias alternativas de configuración para los bienes retrospectivos y los flujos de información de la industria de las alfombras en Estados Unidos; el autor plantea que para obtener las mejoras es necesario dos esfuerzos particulares: Hay que reducir el número de puntos de recogida y las incertidumbres. De igual forma se adelantaron trabajos en los diferentes sectores de la industria por ejemplo: Bernon et al. (2011) adelantó estudios en la industria minorista; en el sector de embotellado lo hizo González-Torre et al. (2004); en la industria de papel de la India Ravi Shankar (2006), haciendo uso de la metodología SAP-LAP realizaron un examen minucioso de una fábrica de papel, llevándolos a concluir que en este tipo de industria hay bastante por hacer para lograr que gocen de los beneficios de la logística inversa; en la industria de la telefonía celular por Rathore et al. (2011) llevando a cabo su estudio en la india, propusieron un modelo prescriptivo que utiliza los patrones de uso de los diferentes grupos de consumidores para crear un sistema de oferta y demanda auto-sostenible, lo que podría complementar los marcos, en la toma de decisiones. Partieron de la investigación a partir del contexto de un usuario, de la oportunidad de establecer la remanufactura como una actividad formal, respondiendo a las

preguntas fundamentales de si los productos remanufacturados serían aceptados por los consumidores de la India y cómo éstos encajan en el mercado indio, logrando identificar el ecosistema del mercado de la telefonía móvil; la investigación mostró cómo los teléfonos móviles se mueven actualmente a través de la cadena de valor en este país y la importancia de los mercados de telefonía grises y usados en este movimiento. Su trabajo fue impulsado por el hecho de que los métodos de recuperación de producto dispersos e ineficaces existentes en la India no son capaces de hacer frente a la creciente carga ambiental y económica en la sociedad ya que el desarrollo de la logística inversa en la India está iniciando y la remanufactura parece ser una estrategia prometedora para la exploración de estos.

La industria farmacéutica se suma al sector industrial que se ha visto beneficiado por la aplicación de la logística inversa, un estudio planteado por Narayana et al. (2014), en donde expusieron cómo un pensamiento sistémico y el enfoque de modelado se podrían utilizar para el análisis de la compleja interacción de factores relacionados con la logística inversa en la industria farmacéutica de la India. La estructuración del problema inicial involucró el análisis del comportamiento-sobre-tiempo de las variables principales y el análisis de las partes interesadas intrínseco; adicionalmente utilizaron un proceso de construcción de modelos grupo participativo para desarrollar un modelo de sistemas con lo cual lograron analizar el modelo para identificar un conjunto de circuitos de retroalimentación que operan en el sistema responsable de la complejidad del problema. Para hacer frente a esto, los interesados identificaron tres intervenciones estratégicas: la primera intervención se refiere a la disminución de devoluciones sanando el mercado de la sobresaturación de medicamentos, segunda intervención tiene por objeto mejorar la infraestructura para la calidad y la gestión del rendimiento y el objetivo de la tercera es el reparto de riesgos de forma que quede equilibrado entre los principales actores involucrados en la cadena de suministro. Los resultados sugieren una fuerte vinculación entre el diseño de la red de logística inversa y actividades claves en la gestión de las devoluciones. El estudio estableció una plataforma para el desarrollo de un modelo de simulación capaz de desarrollar y evaluar diferentes opciones estratégicas para mejorar los procesos de logística inversa en la industria farmacéutica de la India

En el reciclaje de las baterías también se observa la aplicación de la logística inversa, trabajo realizado por Wang et al. (2014) en el cual desarrollaron y aplicaron un modelo de optimización para analizar la rentabilidad de las

instalaciones de reciclaje dadas las estimaciones actuales de las tecnologías de las baterías de ion litio (como son las diferentes mezclas de componentes químicos logradas para mejorar su rendimiento y ampliar sus aplicaciones en el mercado), los precios en el mercado de los materiales básicos que se espera recuperar, y la composición del material para tres tipos de baterías comunes. Estos investigadores logran evidenciar por medio del análisis de sensibilidad que la rentabilidad es altamente dependiente de la mezcla química esperada en la corriente de desechos y la variabilidad resultante en peso del material y su valor. Además, estos resultados iniciales y un estudio de caso de políticas también pueden ayudar a promover la gestión del final de la vida útil y la formulación de políticas en relación a las baterías del ion litio usadas y gastadas. Aunque en este caso sea monetaria la motivación, no es muy alta porque cada vez más se está intentando utilizar materiales más económicos en la fabricación de estas baterías. Definitivamente estos trabajos deben ser impulsados y justificados por el objetivo de lograr disminuir el impacto ambiental que tienen estas mezclas químicas utilizadas en la fabricación de las baterías, lo cual está comprobado.

Didem y su equipo de trabajo en el año 2014 propusieron un modelo con un enfoque de diseño axiomático en logística inversa y analiza la teoría de conjuntos difusos, modelos utilizados en relación con los pasos definidos en el modelo de Diseño axiomático. El diseño axiomático se aplica para generar un marco conceptual para el diseño de redes de logística inversa distinguiendo sus objetivos y sus medios, en diferentes niveles; Dimen y su equipo definieron un importante número de artículos que se aplican a la teoría de conjuntos difusos debido a que muchos parámetros tienen que ser definidos por las personas que toman las decisiones los cuales generalmente lo hacen en base a sus experiencias en logística inversa

Adicionalmente autores como AKC Ali et al. (2009), que proporcionan una descripción detallada de la literatura publicada, organizándola en dos secciones principales que se centran en dos partes, la primera en el diseño de redes de la cadena de suministro inversa, que se ocupa de establecer una infraestructura para administrar el canal inverso y aparte de la de circuito cerrado, la otra parte de su trabajo considera el diseño de la red de la cadena de suministro, que se ocupa de establecer una infraestructura para gestionar canales tanto hacia delante como invertidos de manera coordinada; sin embargo, no tratan en profundidad temas como la implementación y puesta en marcha, las devoluciones de productos de previsión, la subcontratación y las decisiones de

disposición, los cuales son temas relevantes a la hora de diseñar una red de logística inversa; de igual manera lo hacen los autores Chanintrakul et al. (2009), el Sheriff et al. (2012) en sus trabajos. Govindan et al. (2015) basó su investigación en la revisión de 382 artículos que cubren toda el área de logística inversa, publicados entre 2007 – 2013, el cual, proporciona con gran detalle, una amplia visión desde diferentes perspectivas; ellos destacan que “la gestión de la cadena de suministro de ciclo cerrado es el diseño, control y operación de un sistema para maximizar la creación de valor a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto con la recuperación dinámica de valor a partir de diferentes tipos y volúmenes de retornos a través del tiempo”. En su trabajo proponen el siguiente esquema para describir la logística y la logística inversa:

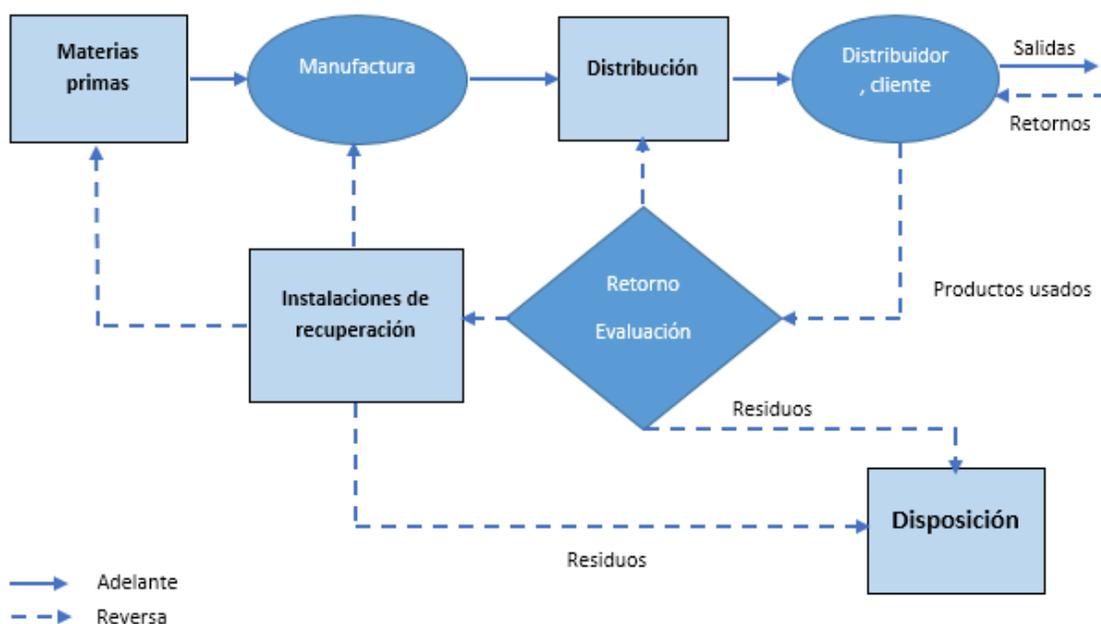


Figura 1. Una forma genérica de la logística hacia adelante/reversa.

Fuente: Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. European Journal of Operational Research. Govindan K. (2015).

Govindan et al. (2015), manifiestan que la mayoría de los artículos e investigaciones realizadas en el campo de logística inversa y la cadena de suministro de circuito cerrado, se basan en el estudio de alguno de los siguientes temas:

- *El diseño y la planificación:* algunos estudios contemplan ambas etapas de la logística inversa o una de ellas, sin embargo, muestran que el objetivo del diseño es determinar estratégicamente (a largo plazo) las variables de decisión tales como los lugares y la capacidad de todas las instalaciones y en la etapa de planificación, las variables de decisión más importantes son las cantidades de flujos entre las entidades de la red de la cadena de suministro conocidas, como variables de decisión a mediano plazo.

- *Encuesta:* muchos autores tratan de encontrar soluciones prácticas a los problemas científicos por medio de un estudio interactivo con los profesionales a través de cuestionarios / entrevistas. Estos documentos proporcionar resultados valiosos, tanto para el mundo académico como el profesional en diversos aspectos de la logística inversa y la cadena de suministro de circuito cerrado.

- *Precio y coordinación:* debates entre dos entidades de una red de cadena de suministro como son determinar el precio de los productos y coordinar las estrategias de gana-gana se hacen útiles para equilibrar los márgenes de beneficio. En este tipo de trabajos se plantean estrategias óptimas de precio y de coordinación.

- *Otros:* apreciables estudios que tratan de elevar la investigación científica, algunos temas de estos estudios son:
 - ✓ Estudio sobre las perspectivas de negocio de logística inversa y la cadena de suministro de circuito cerrado.
 - ✓ Estudio sobre el papel de la identificación por radiofrecuencia (RFID) en logística inversa y la cadena de suministro de circuito cerrado.
 - ✓ Estudio sobre la redefinición de la estrategia de la cadena de valor en la cadena de suministro de circuito cerrado.
 - ✓ Estudio sobre métodos de diseño ecológico que se centraron en las estrategias para el final de la vida útil de los productos y el desarrollo eco-industrial.

- *Planificación de la producción y gestión de inventario:* otras investigaciones manifiestan que en el diseño de la red de la cadena de suministro debe

tenerse en cuenta al mismo tiempo la programación, de fabricación de los productos y la programación de la remanufactura los productos retornados, y las políticas de control de inventario de tales sistemas de producción. Existen otros estudios que se concentran en las decisiones de planificación de la producción y el tamaño del lote sin relacionar problemas de inventario. Tales estudios se clasifican en una clase diferente como planificación de la producción y gestión de inventario.

- *Planificación:* algunas investigaciones estudian las decisiones a nivel de la planificación, como la cantidad de los flujos entre entidades de red y su relación con las decisiones estratégicas y operacionales.
- *Marco conceptual y analítico:* Estos estudios han analizado factores teóricos o prácticos por medio de los cuales han encontrado un marco para diferentes aspectos de la logística inversa y de la cadena de suministro de circuito cerrado.
- *Examen y revisión parcial:* Varias investigaciones centraron sus esfuerzos en la revisión de artículos creados en logística inversa, por ejemplo en la revisión de las aplicaciones de modelos de localización de instalación para el diseño de la red de la cadena de suministro; otros trabajos revisaron las publicaciones de logística inversa en el campo de la gestión de la producción y las operaciones. Otros trabajos revisaron los impactos de “Justo a Tiempo” para neutralizar los sistemas logísticos. Otros revisaron el tema de la ingeniería en la remanufactura.
- *Análisis diferente:* en esta categoría se ubican los diferentes tipos de análisis cuantitativos y cualitativos en diversos temas como el análisis del comportamiento a largo plazo de la cadena de suministro de circuito cerrado, el análisis del desarrollo de las industrias de la alfombra, el análisis de modos y costos de transporte, la evaluación del análisis de desempeño para optimizar las operaciones de la cadena de suministro teniendo en cuenta las operaciones del fin de la vida útil de los productos.

- *La toma de decisiones y evaluación del desempeño:* en este tipo de trabajos se evalúa el desempeño de las diversas redes en cuanto a estrategias de recuperación.
- *Selección de proveedores de logística inversa:* este es otro tema importante, que puede mejorar la calidad de los productos directamente y puede tener efectos notables sobre el coste del producto.
- *Problema de enrutamiento de vehículos:* este tema es fuerte en logística inversa por ser los sistemas de distribución y las estrategias relacionadas una de las partes más eficaces de la red; además los costos totales dependen estrechamente de los costos de transporte, tanto que muchos realizan sus investigaciones en proponer algoritmos eficientes.

Sin embargo en este trabajo que realizó Govindan et al. (2015), no habla mucho sobre las devoluciones de productos de previsión y los outsourcing y no menciona temas como la toma de decisiones de implementación, ni ejecución, y mucho menos de la disposición final.

Pokharel y Mutha (2009) en su trabajo de investigación revisaron 164 artículos sobre características de la logística inversa, las cuales resumen en el siguiente esquema:

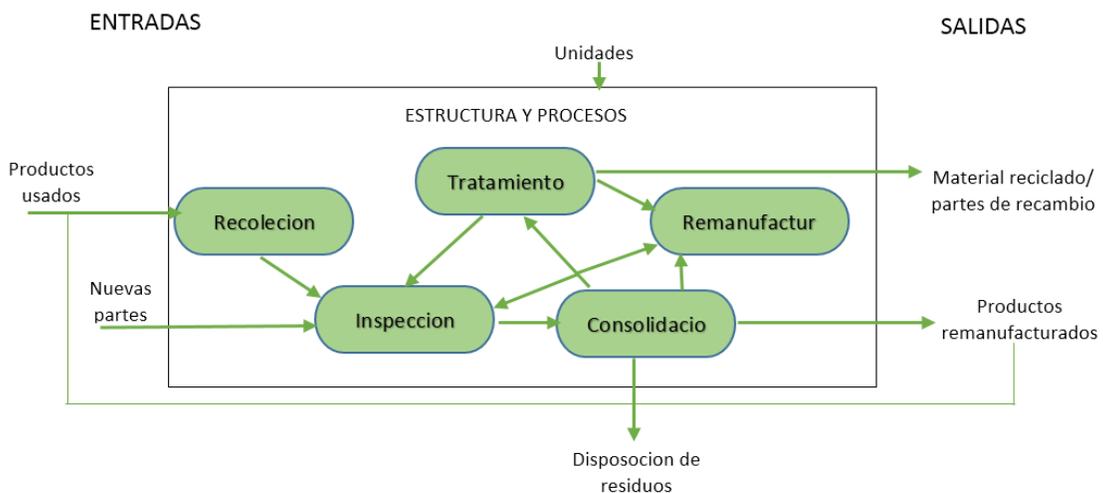


Figura 2. Categorías de un sistema de logística inversa.

Fuente: Pokharel y Mutha (2009).

Pokharel y Mutha resumen y agrupan estas características en categorías, así:

- *Entradas y recolección:* se refiere al desarrollo de sistemas de adquisición y recogida de productos. Las entradas se refirieren a productos nuevos, productos usados, partes o materiales reciclados. La actividad de recolección se ocupa generalmente de la localización de los puntos de recogida o el desarrollo de la estrategia de recoger los productos utilizados a través de los proveedores de logística de terceros.

- *Estructura de logística inversa:* los estudios que hablan de la estructura de logística inversa están relacionados con la ubicación y asignación de problemas, la identificación del sistema de la cadena de suministro, control de inventario, la coordinación y el uso del sistema de logística inversa para la estructura modular. Pokharel y Mutha subdividieron las investigaciones que se han adelantado de esta categoría en los siguientes temas:
 - ✓ *General:* tratan las investigaciones realizadas referentes a la planificación estratégica de los sistemas de logística inversa, entre ellos el desarrollo de redes de logística inversa designando la localización de las Instalaciones cercanas a las fuentes de los productos usados, la disponibilidad de recursos para el reprocesamiento, la proximidad a los lugares de eliminación o incluso los clientes, son algunas de las estrategias sugeridas por los investigadores en el establecimiento de sistemas de logística inversa.

 - ✓ *Inspección y consolidación:* Algunos investigadores han considerado la integración de la recolección con la inspección y la consolidación de los productos usados con actividades logísticas hacia adelante, mientras que otros han propuesto la externalización de la recogida y consolidación.

 - ✓ *La integración de la fabricación y remanufactura:* Algunos trabajos mencionan que una buena opción es la integración de las operaciones de fabricación y remanufactura; obviamente realizando

los ajuste del proceso de fabricación, los sistemas de información y manejo de devoluciones, para remanufactura. En este campo también han realizado investigaciones sobre las cuestiones de la integración de diseño de producto, retorno del producto fabricado e incentivos de la cadena de suministro y el problema de control de inventario en un sistema integrado.

- ✓ *Modularidad del producto:* Algunos estudios se basan en el análisis de la logística inversa tomando la estructura del producto como la unión de varias partes que al interactuar entre ellas logran un objetivo (modularidad); otros estudios han analizado las implicaciones de la modularidad del producto en las cadenas de suministro de circuito cerrado y otros han modelado el manejo de múltiples productos en un sistema de logística inversa.
- *Procesos de logística inversa:* la literatura refleja que el proceso de logística inversa incluye el desmontaje, remanufactura, la planificación de la cadena de suministro, coordinación, control de inventario y servicios de post-venta. Pokharel y Mutha también consideraron subdividir esta categoría en los siguientes temas:
 - ✓ *Desmontaje:* investigaciones hablan sobre el tratamiento de los productos utilizados para su fácil desmontaje. Otros investigadores han propuesto mecanismos de liberación de desmontaje para mejorar la coordinación en la planificación y el control del proceso de remanufactura; otros han evaluado la vida media de los componentes para analizar la degradación y la condición de los productos utilizados.
 - ✓ *Coordinación:* otras investigaciones sobre logística inversa se han encargado de evidenciar la importancia que tienen la comunicación en la disposición rápida y temprana de los productos devueltos, así como la asistencia en la planificación de remanufactura. También encontraron trabajos realizados que sugirieron el uso de los sistemas de apoyo de información para ayudar en la coordinación.
 - ✓ *Cadena de suministro:* Algunas investigaciones están basadas en la comprensión de la cadena de suministro inversa, en la programación de llegadas de nuevos módulos, almacenar o desechar el exceso de

módulos recuperados, en el análisis de las técnicas de planificación de capacidad y sistemas de planificación de materiales en un entorno de remanufactura y algunos pocos autores han discutido el aspecto de la planificación de la oferta, considerando la estructura modular de los productos.

- ✓ *Inventario:* Algunos autores demuestran en sus investigaciones que son temas importantes en la manipulación de piezas heterogéneas para la producción, las piezas nuevas, remanufacturadas y sustituibles y gastos diversos de inventarios (piezas utilizadas, nuevas piezas, repuestos, productos terminados y en curso); como resultado de sus trabajos, han sugerido estrategias alternativas de control de compras e inventario; también han determinado las políticas de inventario en un sistema de fabricación híbrido en el que los nuevos productos se venden con rebaja en caso de escasez de productos remanufacturados; también se observan investigaciones realizadas proponiendo diversas políticas de control de inventario para manejar la demanda y la oferta de productos usados.
- ✓ *Reparación y servicio post-venta:* Algunos investigadores discuten temas de localización de almacenes y centros de servicio en la garantía de la logística, ya que, consideran que la capacidad para proporcionar reparación y servicio post-venta puede mejorar la comercialización del producto en una empresa.
- *Salidas de logística inversa:* la fijación de precios para la venta de producto remanufacturado es un tema complejo debido a los rendimientos y demandas estocásticos.

La logística inversa también ha hecho sus aportes en la industria de empaques gracias a autores como Chan (2007) que concluyó que la logística inversa puede requerir ayuda de terceros para la recuperación de envases retornables a modo de cooperación entre el fabricante y su proveedor. González y Adenso (2006) por medio de la realización de encuestas recolectaron importantes datos que los llevaron a concluir sobre las prácticas de logística inversa y la relación con los proveedores y los clientes desde las perspectivas de exigencias ambientales que pueden plantearse empresas de embalaje y envasado en vidrio en España y Bélgica.

Contreras et al. (2013) trabajaron en la logística para la recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas en Colombia; iniciaron su investigación estudiando el sistema logístico actual del sector, para ello realizaron un diagnóstico y descripción gráfica del proceso actual el cual lograron mediante rastreo bibliográfico, observación directa y encuestas a proveedores, agricultores y recolectores de residuos en la zona de Boyacá (Colombia). Al confrontar dicho sistema logístico con la normatividad legal que regula estos procesos, evidenciaron que el sistema no cumplía con lo establecido en las normas legales y que además no contaba con actividades propias de logística inversa ya que no se realizaba la devolución al proveedor, la reutilización y no contaban con una planificación y organización previa a la recolección de residuos. Su diseño propuesto, consiste en un proceso documentado y esquematizado bajo los lineamientos de la gestión por procesos y la norma NTC-ISO 9001:2008 que permite la mejora continua, con el objetivo de garantizar la recolección, manejo seguro y disposición final de los envases y empaques vacíos de plaguicidas retornados por el agricultor; además plantean que dicho proceso debe ser incluido en el sistema de gestión de calidad de la empresa responsable por la recolección. Por último proponen como complemento a su investigación que en trabajos futuros se creen estrategias de concientización a los clientes finales sobre las condiciones adecuadas del retorno de los envases y empaques, adicional a la creación de mejores procesos de recolección. Contreras et al. identificaron como posibles beneficios los siguientes:

- En la empresa recolectora:
 - ✓ Estandarización del proceso de recolección y disposición final en todas las áreas en las que se realiza.
 - ✓ Mayor control sobre las cantidades recogidas.
 - ✓ Reducción del tiempo de ejecución del proceso de recolección y disposición final.
 - ✓ Trazabilidad de los envases y empaques de los plaguicidas.
 - ✓ Mayor precisión de las jornadas de recolección gracias a una planificación realizada previamente.
 - ✓ Creación de conciencia en los agricultores para la clasificación de los residuos.

- ✓ Facilidad de asignación de la disposición final de cada uno de los envases.
- Para los agricultores:
 - ✓ Beneficio social en el reciclaje de los envases.
 - ✓ Generación de cultura ciudadana sobre la importancia del tratamiento de los envases y empaques de plaguicidas.
 - ✓ Creación de conciencia sobre el impacto de estos residuos tanto en el ser humano como en el medio ambiente.
 - ✓ Mayor participación e incentivos en el proceso.
 - ✓ Disminución en la generación de enfermedades.

María Paz Gpe. Acosta Quintana et al. (2013) trabajaron sobre la aplicación de un modelo de enrutamiento para recoger empaques en PET reciclados en escuelas, justificando la pertinencia de su propuesta al alto impacto medio ambiental que generan este tipo de empaques. Para ello siguieron la metodología propuesta por Taha H. (2004), Bellini F. (2004), Hillier F. et al. (2010), García J. et al. (2010) y plantearon el desarrollo así:

- *Definición del problema:*
 - ✓ Establecer claramente los objetivos de aplicar logística inversa; para esto realizaron entrevistas al interior de la empresa objeto de estudio.
 - ✓ Identificar las restricciones de la empresa.
 - ✓ Registrar los tiempos entre cada escuela y los tiempos de servicio de cada escuela.
 - ✓ Definir la capacidad de carga del vehículo.
- *Identificación y recopilación de datos necesarios para trabajar el modelo, por medio de recorridos realizados con los conductores:*
 - ✓ Lista de escuelas que visitan para recoger el empaque.
 - ✓ Rutas que toman para hacer el recorrido.
 - ✓ Tiempo recorrido entre una escuela a otra.
 - ✓ Tiempo de servicio en cada una de ellas.
 - ✓ Cantidad de plástico recolectado en cada escuela.
 - ✓ Características del Vehículo de la empresa.
 - ✓ Costos fijos y variables del proceso actual.

- *Formulación del modelo:*
 - ✓ Introducción de los datos anteriores en el modelo de ventanas de tiempo de Olivera A. (2004)
 - ✓ Desarrollo de las restricciones planteadas:
 - Tiempo: intervalo en el que cada escuela entrega el material plástico acumulado (PET).
 - Carga: cantidad de material acumulado por las escuelas la cual no debe ser superior a la capacidad del vehículo que lo va a recoger.
 - Clientes visitados por día.

- *Validación del modelo:*
 - ✓ Correr modelo en Software LINGO versión 12
 - ✓ Obtención de condiciones óptimas, las cuales fueron:
 - Tiempos óptimos de recorrido entre un nodo y otro.
 - Capacidad óptima de carga.
 - Carga acumulada apropiada.
 - ✓ Verificación de los resultados:
 - ✓ En tiempo real, realizando recorridos de las rutas diseñadas bajo las condiciones óptimas.
 - ✓ Frente a principios teóricos sobre el diseño y programación de rutas.
 - ✓ Comparación de resultados entre las rutas actuales y las propuestas.

De acuerdo a lo estipulado por María Paz Gpe. Acosta et al. “Las estrategias utilizadas para un óptimo desempeño dentro de la logística, también son aplicables en la logística inversa”. Ballou H. (2004), Manifiesta que cualquier estrategia logística tiene la facultad de generar ventaja competitiva al interior de una organización. En el reciclaje, la logística inversa es la base fundamental para el proceso de abastecimiento de residuos o desechos, teniendo consigo una amplia gama de aplicaciones para la recolección. En esta misma logística es indispensable tener en cuenta la planeación de rutas con el fin de tomar decisiones acertadas.

Otra industria donde ha tenido participación la logística inversa es en la industria de la moda, donde Venkatesh (2010) realizó su investigación abordando los diferentes elementos y estrategias de operaciones de logística inversa para la cadena de suministro de la moda. Su mayor interés fue analizar los rendimientos en el proceso de logística inversa, lo cual le permitió identificar y analizar los causales de devolución, que junto con el establecimiento de

políticas de devoluciones logran disminuir la cantidad de devoluciones. En esta investigación analizaron diferentes elementos con respecto a estrategias de operaciones de la logística inversa y sus diferentes aplicaciones haciendo hincapié en las ventajas y beneficios económicos.

Krapp et al. (2013) observó que hay pocos trabajos que se basan en la devolución de productos de previsión, por esta razón, trabajaron para proporcionar un enfoque de previsión genérica para la predicción de las devoluciones de productos en las cadenas de suministro de ciclo cerrado. Rogers et al. (2012) y Hall et al. (2013), enunciaron que la disposición es una de las principales actividades y por ello necesita más atención.

Agrawal et al. (2015) entre sus muchos aportes realizados por medio de la revisión de 242 artículos, también estableció una definición clara de los procesos básicos de la Logística inversa expuestos en la siguiente figura:

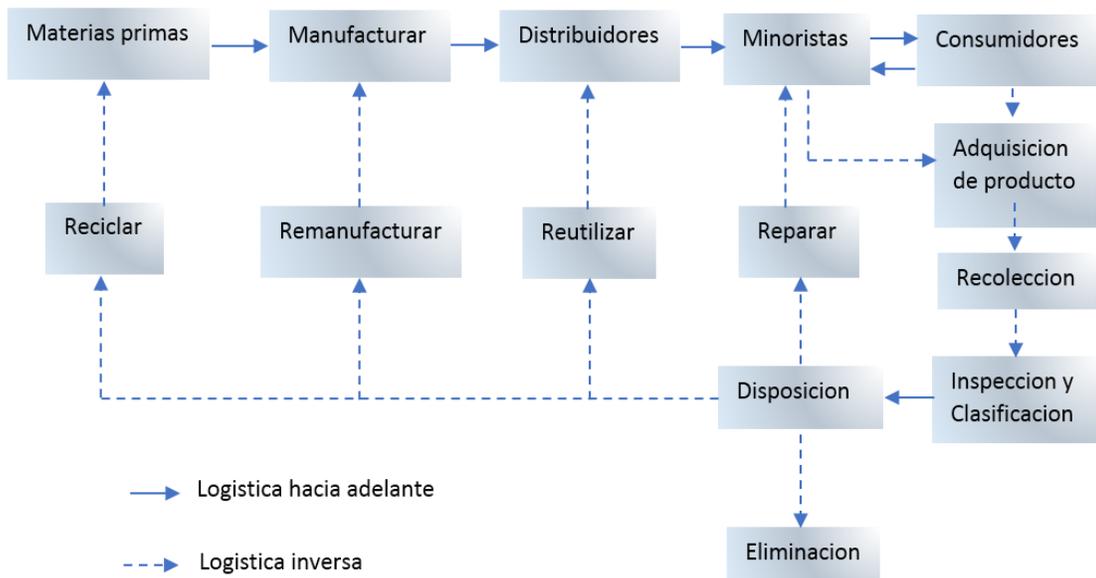


Figura 3. Flujo básico de los procesos de la logística hacia adelante y la logística inversa.

Fuente: Agrawal et al. (2015).

Saurabh Agrawal y su equipo de trabajo definen algunos procesos así:

- *Adquisición de productos / Seleccionador:* se refieren al proceso por medio del cual se adquieren los productos o componentes usados para su posterior procesamiento; es el primer paso y un proceso fundamental para el establecimiento de la logística inversa rentable aunque desafortunadamente es incierto en términos de tiempo, cantidad y calidad. Mantenimiento de la puerta representa la entrada principal de la logística inversa. Se trata de un conjunto de prácticas a través de las cuales se filtra la información para la difusión, realizadas generalmente por los minoristas para identificar los productos que están autorizados en el sistema o los devueltos al usuario después de la resolución de problemas. Este acto de toma de decisiones se conoce como "seleccionador" (Gatekeeping).
- *Recolección productos:* Recolección se refiere a la actividad en la que un firme gana la posesión de los productos. Saurabh Agrawal y su equipo de trabajo mencionan que existen tres métodos de recolección:
 - ✓ Los fabricantes recogen directamente de los clientes.
 - ✓ Los fabricantes recogen a través de los minoristas.
 - ✓ La fábrica recoger a través de la logística de terceros.

Por otra parte considera dos alternativas: el primer método es realizar el retorno colectivo en el que el fabricante no tiene control sobre los rendimientos, mientras que el segundo método es la colección individual que da un control completo con el fabricante. La decisión de centros de recogida y todo parámetro relacionados, impacta la eficiencia operativa de la red de logística inversa, por esta razón deben tenerse en cuenta a la hora de realizar su diseño.
- *Inspección y clasificación:* en este aparte los autores hacen referencia a que los productos pueden ser devueltos a la empresa por varias razones y provenir de varias fuentes, como por ejemplo: devoluciones comerciales, devoluciones de servicios, devoluciones de distribución o devueltos por que su vida útil llego a su fin; adicionalmente el estado de los productos devueltos puede variar, por esto se hace necesaria una inspección por separado sobre su aspecto y estado en general, para lograr la clasificación de cada producto devuelto, basada en la disposición.

- *Disposición:* el siguiente paso es decidir que disposición se le va a dar a los productos según su clasificación para su posterior procesamiento, entre las cuales mencionan las siguientes:
 - ✓ La reutilización.
 - ✓ La recuperación del producto o materiales: incluyen la venta como nuevo, reparar o volver a acondicionar y revender como nuevo; reparar o volver a acondicionar y revender de segunda a precios más bajos.
 - ✓ La gestión del residuo.

Ravi, V. y Shankar, Ravi (2005). Identificaron y analizaron las interacciones de las barreras que tienen la logística inversa en la industria de automóviles de la India, utilizando la metodología del ISM que es un proceso de aprendizaje interactivo (puesto que las diferentes variables que afectan un sistema en estudio están directamente relacionadas entre ellas y debido a esto se forma un modelo sistémico integral), interpretativo (puesto que en la marcha el grupo ejecutor del modelo decide si las variables están relacionadas entre ellas y de qué manera) y estructural (puesto que la base es el conjunto complejo de la relación entre las variables); permitiendo de esta manera plasmar la estructura de un tema complejo como es la logística inversa de una empresa, en un patrón diseñado utilizando gráficos y palabras (modelo dígrafo), impartiendo orden y dirección a la complejidad de las relaciones entre los elementos de un sistema. Su metodología fue la siguiente:

- *Paso 1:* Enumeraron las variables que afectan al sistema en estudio, que pueden ser objetivos, acciones y personas, etc.
 - ✓ La falta de sistemas tecnológicos de información
 - ✓ Problemas con la calidad del producto que retorna
 - ✓ Políticas de la compañía
 - ✓ La resistencia al cambio proporcionado por la logística inversa
 - ✓ La falta de medidas de rendimiento adecuadas
 - ✓ La falta de formación y la educación
 - ✓ Las limitaciones financieras
 - ✓ La falta de compromiso por parte de la alta dirección
 - ✓ La falta de conciencia acerca de la logística inversa
 - ✓ La falta de planificación estratégica
 - ✓ La renuencia del apoyo de los distribuidores y minoristas

- *Paso 2:* Establecieron una relación contextual entre las variables identificadas en el paso 1, con respecto a la cual los pares de variables se examinaron.
- *Paso 3:* Desarrollaron una matriz estructural Auto-Interacción (SSIM) para las variables, lo que indica las relaciones de pares entre las variables del sistema en estudio.
- *Paso 4:* Desarrollaron la Matriz de Accesibilidad desde el SSIM y se comprueba la transitividad (relación contextual) en la matriz, es un supuesto básico hecho en ISM. Se establece que si una variable A se relaciona con B y B está relacionado con C, entonces A está necesariamente relacionada con C.
- *Paso 5:* Dividieron en diferentes niveles la matriz de accesibilidad obtenida en la Etapa 4.
- *Paso 6:* Realizaron gráfico dirigido (dígrafo), basados en las relaciones dadas anteriormente en la matriz de accesibilidad, y se eliminan los enlaces transitivos.
- *Paso 7:* Sustituyeron los nodos de las variables con las declaraciones, convirtiendo en un ISM el dígrafo resultante del punto 6.
- *Paso 8:* Revisaron el modelo ISM desarrollado en el paso 7, para verificar si hay inconsistencia conceptual y en caso de que existieran realizar modificaciones requeridas.

Otros autores que abordaron temas de logística inversa en la industria Automotriz fueron Richey, et al. (2005) y Daugherty, et al. (2004), analizando la influencia de las características del programa y la decisión del hacer V& la comprar software de logística inversa. Hojas, et al (2010) en Brasil, describe la

cadena de logística inversa y diseña un modelo para los pequeños fabricantes de la industria de baterías para automóviles el cual propone realizar prácticas amigables con el medio ambiente.

Kanchan D. y Abdul H. Chowdhury (2011) en su trabajo diseñaron una red de logística inversa para realizar recolecciones y recuperaciones óptimas, tomando problemas que se presentan en la planificación en la cadena de suministro de circuito cerrado que contiene:

Un conjunto de productos P de diferentes diseños D, fabricados en un conjunto de plantas que utilizan un conjunto de módulos M y comercializados a través de una serie de minoristas C. Los módulos son construido por las plantas para adaptarse a diferentes diseños, utilizando componentes K suministrados por un conjunto de proveedores V. La cadena de suministro recoge:

- Los productos retornados (productos del cliente a través de minoristas C) mediante un acuerdo contractual
- Productos defectuosos (DF)
- Productos rotos o no utilizados (BU)
- Productos al final de su vida útil (EOL)

Los retornados por el cliente se convierten en productos equivalentes P (igual denotación como producto original) para facilitar la contabilidad de los minoristas. La recolección de los retornables B para productos equivalentes P por minoristas C se envían a la proveedores asignados R para la recuperación de los módulos, a continuación, se recuperaron los módulos SQ se envían a las plantas. Los RSP se pagan en base a un acuerdo con respecto a los servicios de recuperación de RM. Cada producto devuelto obtenida a través de los minoristas se desmonta y módulos son recuperados por los PSR en virtud de este acuerdo. El SC utiliza un diseño modular de productos, tanto para la producción y el proceso de recuperación. El SC produce y comercializa cada uno de sus productos en tres niveles de calidad: $q_{1/4}^1$, $q_{1/4}^2$ y $q_{1/4}^3$ como una manera de hacer que los productos recuperados business worthy. productos $q_{1/4}^1$ nivel de calidad se fabrican con nuevos módulos, productos de nivel $q_{1/4}^2$ utilizan una mezcla predefinido de nuevo y recuperar módulos y productos de nivel $q_{1/4}^3$ sólo utilizan módulos recuperado para su producción. El objetivo del estudio es maximizar SC beneficio mediante diseño modular óptima para la producción y la recuperación, optimizando retornables obtenidos a través de minoristas, iniciando la recuperación por los RSP y la producción de los productos en tres niveles de calidad, de decidir la mezcla óptima de productos

en diferentes calidades niveles y optimizar el transporte de DCS y distribución de los productos a los minoristas. Fig. 1 proporciona un marco esquemático para el proyecto de RL basada SC.

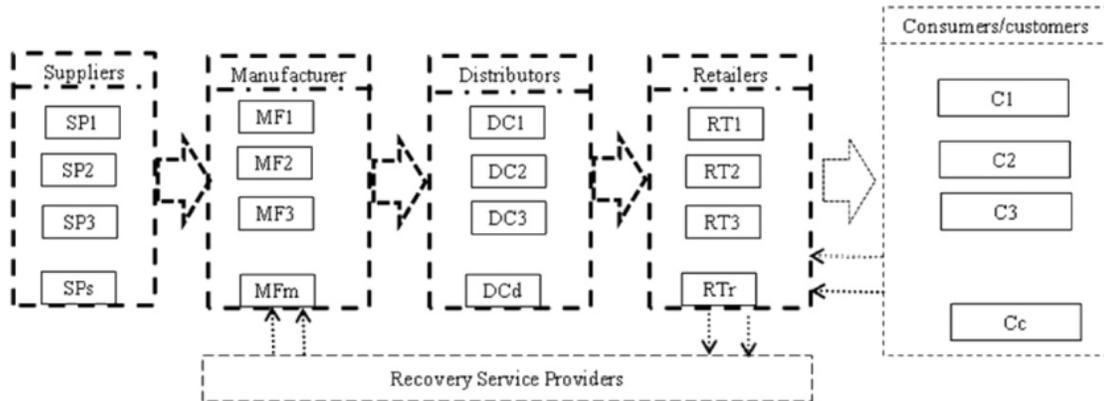


Figura 4. Esquema de la red de la cadena de suministro inverso.

Fuente: Kanchan D. et al. (2012).

a. PROCESOS LOGISTICOS EN LA INDUSTRIA DE GASES

Carrasco Ruth et al. (2007) caracterizaron los sistemas de logística inversa en los que intervienen envases de alto valor económico (como es el caso de la industria de gases industriales y medicinales tales como oxígeno, nitrógeno o dióxido de carbono) que por esta razón, han de introducirse nuevamente en el proceso productivo convirtiéndolo a este último, en una cadena de suministro de circuito cerrado. Su metodología de investigación la basaron en la ejecución de los siguientes pasos:

- Definición del sector en el que opera (consumidores de su producto): describiendo de las aplicaciones de cada gas, cantidades demandadas de cada uno de ellos y según lo anterior, tipos de envases requeridos.
- Descripción del producto y definición de implicaciones logísticas: en este ítem describieron las características y condiciones que deben tener los

envases para garantizar la seguridad tanto del producto como de las personas que manipulan el producto regulado por estamentos legales y normativos; además, manifiestan el alto costo de asegurar dichas características y condiciones lo que lleva a las siguientes importancias logísticas:

- ✓ Retorno de estos envases para ser reutilizados
 - ✓ La logística de la industria de gases debe obedecer a una de cadena de suministro de ciclo cerrado
 - ✓ La programación de la producción está limitada y sujeta al retorno y stock de envases.
-
- Identificación de actores en el proceso: identificaron a los fabricantes, transportadores, distribuidores y consumidores finales como los principales actores del proceso.
 - Descripción de los procesos de producción y distribución de gases industriales y medicinales actualmente, los cuales van, hasta la recolección del envase usado.
 - Descripción de incentivos actuales para la devolución de envases: describen unos incentivos económicos y multas pactadas dentro de contratos lo cual solo es posible con algunos clientes pero que pueden ser desacertados porque puede incurrir en pérdida de clientes y sus resultados no han sido considerables en la recuperación de envases.
 - Identificación de problemas: como problemas identificaron la dependencia que tiene la programación de la producción con la recolección de envases y de la incertidumbre de la calidad, cantidad y tiempo en el que va a retornar estos envases; otro problema es la necesidad de establecer el nivel de inventario mínimo adecuado de envases, teniendo en cuenta el tiempo en que se demora en completarse el ciclo, el cual evite incurrir en incumplimientos de pedidos, y mencionan el caso Heineken (van Dalen et al., 2005). Y un tercer problema es la necesidad de una estrategia que incentive al consumidor final a la devolución de los envases.

8. METODOLOGÍA PLANTEADA PARA LA INVESTIGACIÓN

a. ETAPA DE DIAGNÓSTICO

Se procedió inicialmente a realizar una etapa de diagnóstico del problema, por ello se recopilaron los datos necesarios para fundamentar la situación actual tales como: la cantidad de envases total país (en clientes y en plantas), la cantidad de envases en las instalaciones de los clientes con fechas de rotación y permanencia en clientes, la cantidad de envases requeridos para control de inventarios mínimos y los procesos de distribución actuales de la compañía entre otra información.

Por otro lado durante esta etapa de diagnóstico se consultó literatura referente a la logística inversa y los impactos que esta ha tenido en la industria, además se complementó la estructura del problema gracias a dicha literatura.

La información obtenida permitió iniciar la etapa de definición del modelo de logística inversa que generó una solución al problema definido y que permitió concluir el objetivo de la investigación al evaluar los beneficios generados por la solución planteada.

b. ETAPA DE DEFINICIÓN DEL MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA

En etapa se definió el modelo que permitió mejorar la recolección y recuperación de cilindros en la empresa contemplando las restricciones básicas del sector y del proceso con el fin de optimizarlo. En esta etapa se describió el flujo para la aplicación del modelo y se realizaron las caracterizaciones de los procesos asociados a la logística inversa.

En esta misma fase de la investigación se realizaron las pruebas del modelo, para ello el modelo fue aplicado en cuatro periodos de 15 días cada uno con el fin de obtener resultados para evaluar el impacto de la implementación del modelo en la logística inversa del sector de gases.

c. ETAPA DE RESULTADO Y EVALUACIÓN

Los resultados hallados tras la implementación del modelo fueron evaluados y analizados en esta etapa logrando determinar los beneficios generados por la aplicación del modelo de logística inversa. Los beneficios fueron planteados y presentados en la sección de Resultados y Evaluación, además en esta sección se muestra el análisis de cada beneficio y la magnitud que cada uno de ellos representa en los procesos de la compañía.

d. ETAPA DE CONCLUSIONES

Finalmente se generaron conclusiones referentes a la investigación y se sugirieron investigaciones futuras, que le permitan al sector de llenado de gases mejorar continuamente en sus procesos de recolección y recuperación de envases.

9. DIAGNÓSTICO

Como se describe anteriormente en el punto 3 de ésta investigación; el problema principal a resolver es que no existe un modelo definido y adecuado para la recolección de envases y debido a esto no se cuenta con buena disponibilidad de cilindros para los procesos de llenado de gases. Con el fin de realizar un diagnóstico de la situación actual se describirán a continuación algunas generalidades del sector y de la empresa en investigación y una descripción más detallada de la causa del problema.

a. GENERALIDADES DE LOS GASES

Los gases llenados en cilindros tienen diferentes clasificaciones, algunas por su forma de almacenamiento, otras por sus propiedades químicas y otras por diferencias que los caracterizan, a continuación se expondrán las principales clasificaciones de los gases.

i. CLASIFICACIÓN DE GASES

1. CLASIFICACIÓN GASES POR PROPIEDADES FÍSICAS

Los gases almacenados en cilindros se distribuyen en tres categorías en donde cada categoría está determinada por el estado del producto en el respectivo cilindro a una temperatura promedio de 15°C. Esta clasificación es la siguiente:

- ✓ *Gases Comprimidos o Gases a Presión:* Los gases del aire tales como oxígeno (O₂), nitrógeno (N₂) y argón (Ar) y algunas mezclas de gases se envasan en estado gaseoso en cilindros de acero al carbón y de aluminio a través de procesos de compresión. La presión típica de llenado para los gases del aire es de 200 bar a temperatura ambiente en países como Colombia, cabe resaltar que este tipo de gases pueden envasarse a presiones mayores dependiendo de la presión de trabajo a la que esté diseñado el cilindro y el sistema de llenado (ejemplo: 300 bar).

Para el llenado de estos gases se utilizan cilindros de acero al carbón; acero-tungsteno o aluminio los cuales no tiene ningún tipo de costura puesto que están diseñados para llenados iguales o superiores a 200 bar.

En ésta clasificación de gases comprimidos el gas que está contenido en el cilindro se encuentra completamente en fase gaseosa y está contenido en todo el cilindro ejerciendo la misma presión sobre todas las paredes del cilindro. En este tipo de gases la presión va incrementando en la medida que se ocupa el volumen del cilindro que se está llenado al igual que la temperatura, teniendo en cuenta de acuerdo a la ley general de los gases la temperatura y la presión son directamente proporcionales.

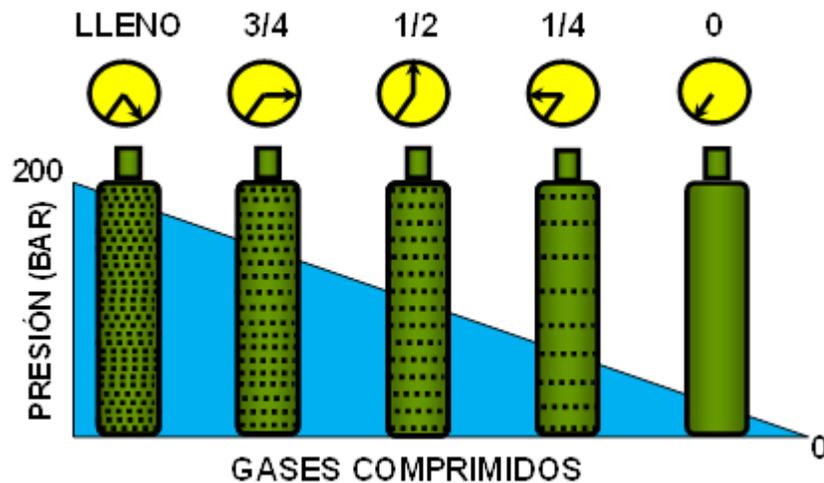


Figura 7. Gases Comprimidos.

Fuente: Empresa de Gases Colombiana. (2015).

- ✓ Gases Condensados o Gases Licuados: Este tipo de gases se mantienen en estado líquido a temperatura ambiente y presión elevada, como por ejemplo el propano, el dióxido de carbono líquido (CO_2) y el óxido nitroso (N_2O). La presión típica de llenado para el propano es de 7 bar y para el dióxido de carbono y el óxido nitroso es de 50 bar a temperatura ambiente. Los términos condensado, gases líquidos y gas licuado son sinónimos.

Al igual que para el llenado de gases comprimidos se utilizan cilindros de acero al carbón; acero-tungsteno o aluminio los cuales no tiene ningún tipo de costura puesto que están diseñados para llenados iguales o superiores a 200 bar, en ocasiones este tipo de gases se pueden llenar en cilindros con costura cuando la presión de llenado es baja como es el caso del gas propano.

Este tipo de gases licuados se llenan en estado líquido dentro de los cilindros teniendo en cuenta que a temperatura ambiente este tipo de gases se mantienen en este estado; de acuerdo a lo anterior la medición de llenado de los gases licuados es en unidades de peso (kg generalmente) usando una báscula.

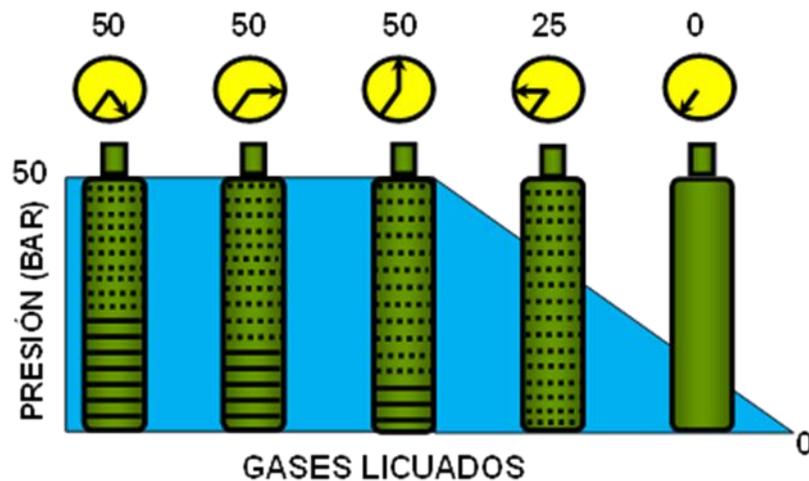
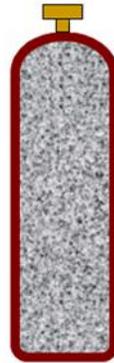


Figura 8. Gases Licuados.

Fuente: Empresa de Gases Colombiana. (2015).

- ✓ Gases Disueltos: Los gases disueltos son aquellos en que el gas se disuelve en un fluido. El acetileno (C_2H_2) es el único gas disuelto común. Debido a la inestabilidad de este gas es necesario que éste se disuelva en un solvente, generalmente acetona para luego ser ingresado en el cilindro el cual está contenido totalmente por una masa porosa para contener el solvente y el gas.

Los cilindros que se usan para este tipo de gas son cilindros de acero al carbón con costura ya que la presión de llenado de este gas es de 20 bar como máximo promedio; además de estar contenido totalmente por una masa porosa que acumula el solvente y el gas en su interior como se describió anteriormente, es por esta razón que por lo general los cilindros usados para llenado de acetileno son llamados acumuladores.



GASES DISUELTOS

Figura 9. Gases Licuados.

Fuente: Empresa de Gases Colombiana. (2015).

2. CLASIFICACIÓN GASES POR PROPIEDADES QUÍMICAS

Los gases también pueden clasificarse de acuerdo a otros criterios importantes como pueden ser sus propiedades químicas, como por ejemplo propiedades inflamables, oxidantes e inertes entre otras. Esta clasificación es la siguiente:

- ✓ Gases Inflamables: Los gases inflamables son aquellos que pueden arder en condiciones normales de oxígeno en el aire. Al igual que con los vapores de líquidos inflamables; los gases inflamables se comportan bajo mismas condiciones de inflamabilidad y temperatura; cualquier gas inflamable, entrará en combustión únicamente dentro de los límites de inflamabilidad o combustibilidad referentes de cada gas según sea la mezcla entre el gas y el aire y a una temperatura específica necesaria para iniciar la ignición la cual se denomina temperatura de ignición.

El Punto de inflamación es básicamente la temperatura en la que un líquido inflamable genera una cantidad suficiente de vapores de tal manera que se produce la combustión. Con respecto a los gases inflamables dicha temperatura se encuentra siempre por debajo de debajo de su punto de ebullición normal. Teniendo en cuenta lo anterior los gases inflamables se encuentran regularmente a una temperatura superior a la de su punto de ebullición normal.

Los gases inflamables de mayor uso industrial y que hacen parte del mercado industrial del sector de gases son el Acetileno (C_2H_2) y el Hidrógeno (H_2) entre muchos otros los cuales por su condición son gases que arden fácilmente, no son respirables y además forman mezclas explosivas en ciertas concentraciones del gas mencionado con el aire.

- ✓ Gases No Inflamables: Los gases no inflamables son aquellos que no arden bajo ninguna concentración de aire u oxígeno. Estos gases se dividen en dos ramas llamadas Gases Oxidantes y Gases Inertes.

Los gases oxidantes tales como el oxígeno (O_2) o mezclas que contengan oxígeno logran avivar la llama en una situación de ignición; es decir, este tipo de gases si bien no son los generadores de llama si logran mantener la combustión de otras materias. Dentro de estos gases se encuentran el oxígeno (O_2) y el óxido nitroso (N_2O), ambos usados principalmente en el sector medicinal y en segunda medida aunque no menos importante en el sector industrial.

Los gases inertes por otro lado y como lo indica su nombre no generan ningún tipo de reacción ni con gases inflamables ni con gases oxidantes. Ahora, si bien no generan llama ni mantienen la combustión, si tiene la propiedad de desplazar el oxígeno por lo cual se convierten en promotores de atmósferas con baja concentración de oxígeno convirtiéndose en una fuente de riesgo de asfixia simple. Dentro de los principales gases inertes comercializados en el sector gases se encuentran el nitrógeno (N_2), argón (Ar), helio (He) y Dióxido de Carbono (CO_2) entre otros. Estos gases tienen diferentes usos y aplicaciones y se utilizan tanto en el sector industrial en empresas metal-mecánicas y petroleras como en el sector medicinal en hospitales y clínicas, además de sus usos en el sector alimenticio.

- ✓ Gases Tóxicos: Los gases tóxicos son aquellos que pueden representar cierto riesgo para las personas si se liberan en la atmósfera. En ésta categoría se incluyen los que resultan venenosos o irritantes al inhalarlos o al entrar en contacto con la piel, tales como el cloro (Cl), el sulfuro de hidrógeno, el amoníaco y el monóxido de carbono (CO) entre otros. La presencia de tales gases puede complicar seriamente las medidas de lucha contra incendios si los bomberos están expuestos a su acción.

- ✓ Gases Reactivos: Este tipo de gases son aquellos que reaccionan con otras materias o consigo mismo produciendo cantidades de calor o productos de reacción potencialmente peligrosos mediante una reacción distinta de la combustión y bajo condiciones de iniciación razonablemente previsibles (calor, impacto, etc). Como ejemplo podemos mencionar el flúor que reacciona con prácticamente todas las sustancias orgánicas e inorgánicas produciendo generalmente llamas. También el cloro y el hidrógeno pueden reaccionar generando llamas. Otros gases reaccionan consigo mismos ante el calor o impacto, incluida la exposición de sus recipientes al fuego, produciendo cantidades de calor y liberación de energía, se encuentran el acetileno, el propanodieno, y el cloruro de vinilo; estos gases se encuentran generalmente en recipientes mezclados con otras sustancias para estabilizarlos evitando posibles reacciones y así poder brindar seguridad en su transporte entre otras actividades.

3. CLASIFICACIÓN DE GASES SEGÚN SU USO

Los gases comprimidos y licuados que se producen y comercializan en el mercado se usan tanto en el sector industrial como en el medicinal y se aplican en diferentes procesos dependiendo de la naturaleza de la industria.

- Gases Medicinales: Dentro de los principales gases medicinales que se encuentran en el mercado están el oxígeno medicinal, el aire comprimido medicinal, el óxido nitroso y algunas mezclas de gases como por ejemplo la mezcla entre oxígeno y helio para el sector neonatal.

Actualmente las compañías de gases producen y envasan gases que son utilizados en el sector salud, al pertenecer a este mercado dichos gases se convierten en medicamentos, debido a ellos estas empresas son reguladas por el INVIMA y deben obtener registros sanitarios aprobados para la comercialización de este tipo de gases.

Tanto el oxígeno como el aire son destinados en el sector salud a ayudar a mejorar la condición de aquellas personas que adolecen de

problemas respiratorios bien sean temporales o crónicos; además de ser utilizados durante intervenciones quirúrgicas.

El óxido nitroso es utilizado en el sector medicinal como anestésico en procesos quirúrgicos.

- *Gases Industriales:* Por otro lado existe un sector muy importante en donde se utilizan diversos gases dependiendo de la aplicación en la que se pretendan utilizar. Dentro de los principales gases industriales están el oxígeno industrial que en compañía del acetileno (otro gas) forman una mezcla que se conoce popularmente como oxicorte y se usa principalmente para realizar cortes de láminas de metal de diferentes tamaños y espesores; por otro lado están los gases inertes tales como el nitrógeno, el argón y el dióxido de carbono y algunas mezclas entre ellos, los cuales son utilizados en el sector metalmecánico para alcanzar calidades de soldadura muy precisas y vistosas.

Además de ello los gases industriales son usados también en el sector alimenticio en bebidas carbonatadas con la aplicación de dióxido de carbono a dichas bebidas y en congelación de alimentos con el uso de nitrógeno líquido por ejemplo.

En el sector petrolero se utilizan muchos gases de estos para procesos de inertización y bombeo de crudo así como una gran variedad de gases especiales para los laboratorios de este y muchos otros sectores.

ii. ESPECIFICACIONES DE LOS CILINDROS

- *Materiales de los Cilindros:*
 - ✓ Cilindros de alta presión para gases comprimidos: son los envases de acero de calidad especial, fabricados sin uniones soldadas y tratados térmicamente para optimizar sus propiedades de resistencia y elasticidad.
 - ✓ Cilindros en aluminio, acero inoxidable o acero carbono para gases de soldadura, según la NTC 1672

- Accesorios de los Cilindros:

- ✓ Válvula: Cada cilindro tiene una válvula especial y distinta dependiendo del gas que contenga, que permite llenarlo, transportarlo sin pérdidas y vaciar su contenido en forma segura; además de ser un medio eficiente y seguro de inyección del flujo de gas dentro de un sistema. No son para controlar la presión. Están hechas normalmente en forma de ángulo recto lo cual permite colocarle un tapón de seguridad. Las siguientes son los tipos de válvulas más utilizadas en la industria de gases:

- **RPV:** Válvula de Presión Residual, es una válvula que contiene una NRV (Válvula anti-retorno) o un dispositivo tipo MPR (Retención de presión mínima) para evitar que un cilindro se vacíe totalmente en las instalaciones de un cliente y que brinda protección contra el contraflujo.
- **RV:** Válvula anti-retorno, evita positivamente el contraflujo y detiene el flujo cuando la presión del cilindro cae a un valor de ajuste por encima de la presión aguas abajo, manteniendo así una presión residual en el cilindro. Empleado generalmente en cilindros con productos de gases especiales.
- **Integrada:** Válvula integrada presente en algunos cilindros medicinales. Este tipo de válvula se denomina integrada puesto que posee el mecanismo de entrada y salida de gas junto con un manómetro y un regulador todo integrado.
- **Válvula CGA:** Siglas de la Compressed Gas Association, Inc. Asociación técnica sin fines de lucro de EUA, que promueve estándares y procedimientos de seguridad para la producción, almacenamiento, transporte y uso de gases comprimidos. Siglas también comúnmente usadas para referirse a los tipos de conexiones de salida de válvulas de cilindro.

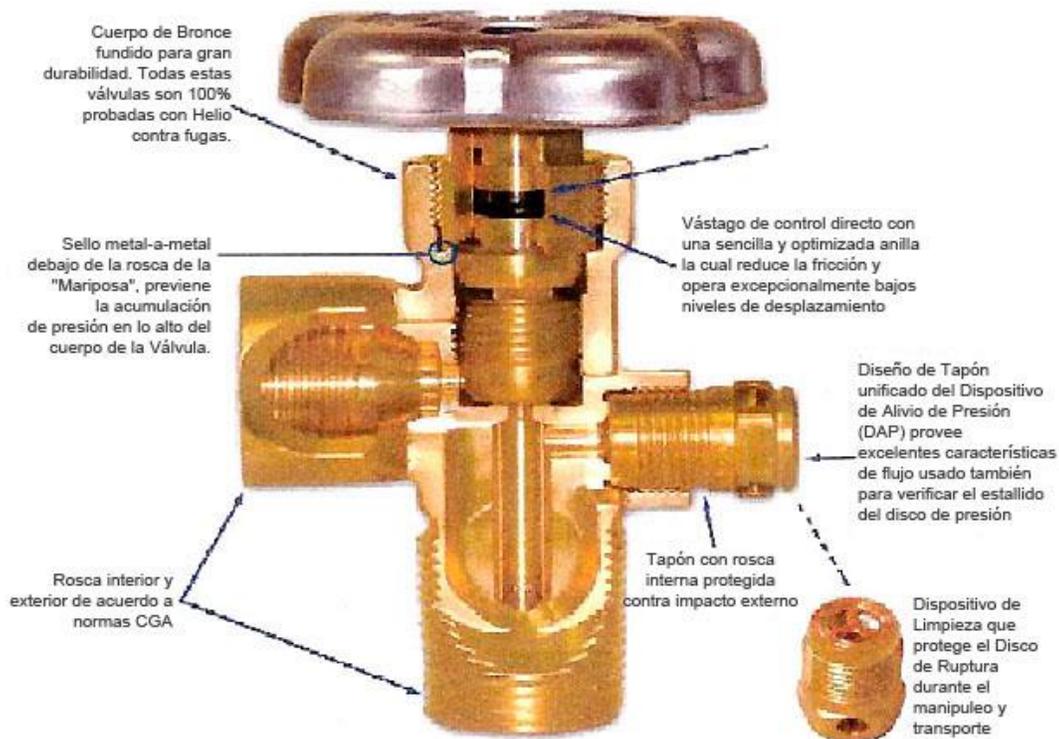


Figura 10. Esquema Válvula CGA
Fuente: CGA Connections Standards. (2013).

- ✓ **Regulador de presión:** es un dispositivo mecánico que permite disminuir la elevada presión del gas en el cilindro, hasta la presión de trabajo escogida y mantenerla constante. Cada regulador está diseñado para un rango de presiones determinado y para un tipo de gas específico. Es importante hacer la selección del equipo adecuado para cada aplicación.
- ✓ **Manómetro:** instrumento que indica la presión a través de un mecanismo sencillo de fuelle y relojería. perteneciente al regulador, generalmente cada regulador cuenta con dos manómetros.
- ✓ **Flujómetros:** es un instrumento también incorporado al regulador de forma muy especial ya que se deben calibrar para trabajar a una presión de 50 psi e indica el caudal de gas entregado.

- Identificación de Cilindros:

- ✓ Identificación Gases Medicinales: Según las normas farmacológicas INVIMA 16.6.0.0.N20 y la Norma Técnica Colombiana 1671, se asignan los siguientes colores para cada cilindro de acuerdo al gas envasado en él:

COLOR DEL CILINDRO	GAS ENVASADO
Blanco	Oxígeno Medicinal
Azul	Óxido Nitroso
Negro	Nitrógeno
Marrón	Helio
Blanco y Negro	Aire Comprimido Medicinal (mezcla de nitrógeno y oxígeno)
Blanco y Marrón	Oxígeno más Helio
Verde manzana y el nombre en color gris	Dióxido de Carbono

Tabla 2. Identificación Gases Medicinales.

Fuente: Norma Técnica Colombiana 1671.

- ✓ Identificación Gases Industriales: Según la NTC 1672 la siguiente es la asignación de colores para el cilindro de acuerdo al gas industrial envasado en él:

COLOR DEL CILINDRO	GAS ENVASADO
Verde	Oxígeno Industrial
Negro	Nitrógeno
Gris	Argón
Rojo	Hidrógeno
Marrón	Helio
Verde manzana	Dióxido de Carbono

Blanco y Negro	Aire Comprimido
Rojo Cereza (Vinotinto)	Acetileno
Amarillo	Amoniaco Anhidro

Tabla 3. Identificación Gases Industriales.

Fuente: Norma Técnica Colombiana 1672.

- Identificación de válvulas de cilindros:

Normalmente en Colombia las conexiones de los cilindros llenos siguen los estándares CGA de salida de las válvulas que es específica para cada gas. Para la identificación del tipo de válvula se debe garantizar que cada válvula tenga estampado en bajo relieve su identificación CGA según corresponda al gas en mención. La siguiente es la tabla muestra la asignación de colores y el tipo de válvula teniendo en cuenta el gas envasado, según lo establecido en Colombia por medio de NTC 3423:

GAS ENVASADO	CONEXIÓN DE SALIDA (CGA)
Hidrógeno	350
Oxígeno Industrial	540
Oxígeno Medicinal	540
Nitrógeno, Helio y Argón	580
Dióxido de carbono	320
Aire Comprimido	590
Acetileno	510

Tabla 3. Identificación de Válvulas.

Fuente: Norma Técnica Colombiana 3423.

- Otras especificaciones de los cilindros que envasan gas:
 - ✓ Según RESOLUCIÓN 4410 DE 2009 del ministerio de protección social: “Todo cilindro debe tener estampado en bajo relieve: el nombre del propietario del cilindro; la presión máxima de servicio o la presión de prueba; el peso tara del cilindro siempre que se trate de gases licuados; el volumen del cilindro en litros de agua; fecha de la última prueba hidrostática, indicando mes, año, logotipo del laboratorio de prueba hidrostática; norma técnica de fabricación del cilindro y número serial de identificación del mismo. No se deben remover, cambiar o alterar marcas o números de identificación de los cilindros.” Esta norma establece además todas las buenas prácticas de manufactura de los gases medicinales
 - ✓ Resolución 2400 de 1979 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social:
 - CAPÍTULO III. - DE LOS CILINDROS PARA GASES COMPRIMIDOS: “Los cilindros deben ser sometidos a una prueba neumática y a una prueba hidrostática, y a otras pruebas físicas necesarias que garanticen su seguridad, según ICONTEC.” Las características físicas del cilindro y sus aditamentos deben ser plenamente establecidos para el gas que lo contienen. ‘ En el manejo y transporte de los cilindros, deberá evitarse su caída. ‘ Todos los cilindros deben tener de forma indeleble y visible: La clase de gas, - La presión máxima de carga permitida, El peso del cilindro vacío, Su capacidad máxima de gas, Nombre del envasador.
 - ARTÍCULO 526. Cada cilindro de gas comprimido deberá llevar grabado en su estructura, en forma permanente, el nombre del fabricante, la presión máxima de trabajo y el número serial. No se deberán remover, cambiar o alterar marcas o números de identificación de los cilindros.
 - NTC 5719. Requisito de Rotulado y etiquetado de cilindros.
 - NTC 1671. Cilindros de gas de uso médico. Marcado para identificación del contenido.

- NTC 1672. Cilindros de gas de uso industrial. Marcado para identificación del contenido.
- NTC 2699. Inspección periódica y ensayo de cilindros de acero sin costura
- NTC 3264. Recipientes metálicos. Recomendaciones para la disposición de cilindros y acumuladores inservibles que contienen gases conocidos '
- NTC 3423. Aparatos mecánicos. Conexiones de entrada y salida en cilindros con gases comprimidos.
- NTC 3712. Recipientes metálicos. Recipientes para almacenamiento de gases licuados de petróleo entre 46 kg y 191 kg
- NTC 5719. Cilindro para gas. Marcación
- NTC 5171. Métodos de pruebas hidrostáticas para cilindros de gas comprimido
- NTC 5196. Directrices para la inspección visual periódica y para la recalificación de cilindros de acetileno según especificaciones de DOT 8 y 8AL
- NTC 5197. Cilindros para gas. Cilindros transportables para acetileno disuelto. Inspección periódica y mantenimiento.

b. GENERALIDADES PROCESO DE LLENADO Y DISTRIBUCIÓN

El proceso de llenado de cilindros consta de las siguientes operaciones:

- Recepción de cilindros: Los cilindros vacíos son recibidos de los camiones que han recogido los cilindros en las instalaciones de los clientes.
- Inspección de Cilindros: Todos los cilindros son inspeccionados antes del llenado para garantizar que son aptos y que se encuentran limpios y en adecuadas condiciones para el llenado. En esta etapa se revisa que los cilindros son aptos para el llenado, es decir, están dentro del tiempo hábil de prueba hidrostática, son los correctos para el gas a envasar y están equipados con la válvula correcta, entre otras condiciones.
- Llenado de Cilindros: Los cilindros se llenan bajo dos métodos: presión y peso indicador de nivel, dependiendo si el producto es gaseoso o líquido

respectivamente. Los cilindros se llenan de acuerdo a lo descrito en el punto 3.

Para determinar el llenado se cuenta con una planeación de producción definida diariamente la cual se fundamenta en los inventarios mínimos establecidos de acuerdo a los históricos de demanda y en los cilindros vacíos disponibles para llenado.

- Liberación de Cilindros: Luego de completar el llenado de cilindros se procede a realizar la liberación de los lotes de llenado los cuales pasarán posteriormente a las áreas de almacenamiento de producto aprobado.
- Almacenamiento de Cilindros: Los cilindros aprobados son almacenados en áreas en donde se realiza el alistamiento de los pedidos que son programados por el área logística.
- Despacho de Cilindros: Una vez se cuenta con los pedidos planificados y enrutados se procede a realizar el cargue de los camiones para realizar las entregas de cilindros en los clientes.
- Entrega y Recolección de Cilindros: Al completar el despacho se realiza la entrega de cilindros llenos a los clientes y se procede a cargar los cilindros vacíos que se encuentran en sus instalaciones para retornarlos a la compañía llenadora de gases.

c. PARTES INVOLUCRADAS EN LA LOGÍSTICA DEL SECTOR

Dentro del sector de gases las principales partes involucradas son:

- Empresas productoras y envasadoras: Las principales empresas productoras y envasadoras del país y de hecho a nivel global adquieren sus propios cilindros los cuales son activos de sus compañías, de hecho estos activos se convierten en una de las inversiones mayores que este tipo de empresas deben realizar con frecuencia. Las empresas del sector dedican sus esfuerzos al llenado de los cilindros y se realizan la recolección de aquellos cilindros que los clientes devuelvan vacíos sin embargo no todas se preocupan demasiado por la recolección de cilindros que llevan en los clientes un tiempo importante si rotar en los procesos de la compañía.

Por otro lado existen algunas empresas más pequeñas llamadas en ocasiones como “rellenadores” que se dedican al llenado de gases en instalaciones pequeñas y que la mayoría de las veces llenan cilindros que pertenecen directamente a los clientes.

- Agencias comerciales: Algunas de las empresas de gran magnitud realizan convenios con otras empresas formando una alianza estratégica que le permita de manera directa llegar a clientes de poco consumo o que se encuentran en áreas distantes además de clientes que requieren un tipo de atención especializada.

Estas agencias generalmente siguen los mismos lineamientos comerciales de la empresa productora mayor y se encarga de mantener un inventario de cilindros para la atención de sus clientes, las agencias por ende usan los mismos cilindros de las empresas mayores ya que estos pertenecen a ellas.

- Distribuidores: Como en muchos otros mercados existen empresas que compran gases en cilindros al mayoreo y los almacenan para dedicarse únicamente a la distribución de cilindros. En cuanto a la recolección de cilindros la ventaja que tienen las empresas envasadoras es que la negociación de entrega de cilindros es directamente realizada con los distribuidores, por lo tanto la recolección y recuperación de cilindros se realiza de forma directa con dichos distribuidores.
- Clientes: Los clientes juegan un papel importante en el tema de la recolección y recuperación de cilindros ya que una vez ha sido consumido el gas de cada cilindro, el cliente los almacena en sus bodegas para realizar posteriormente la devolución de estos activos a las empresas envasadoras. Este es un punto neurálgico en la logística inversa para la recolección y recuperación de envases puesto que el cliente no tiene una real obligación sobre estos activos y no se preocupa por el control de los mismos, incluso a pesar de firmar compromisos contractuales para asegurar que los cilindros no se pierdan.

No todas las compañías y empresas rellenadores respetan la propiedad de los cilindros por lo tanto en ocasiones una compañía se puede llevar los cilindros de otra de forma equivocada e incluso deshonesto y el

cliente no controla esta anomalía; este tipo de prácticas generan un mercado negro de cilindros.

- Empresas de mantenimiento de cilindros: Los cilindros que requieren mantenimiento general o recalificación de prueba hidrostática reciben de las empresas de gases los cilindros para mantenimiento, estas empresas también participan en los procesos de control de envases puesto que todas las empresas usan sus servicios y los cilindros pueden mezclarse en las instalaciones de estas compañías prestadoras del servicio de mantenimiento de cilindros. Es por ello que es fundamental mantener un control de los cilindros al interior de las instalaciones de estas empresas y generar con ellas compromisos legales que garanticen que ellos responderán por aquellos cilindros que en su momento pudieran extraviarse tras su recepción en sus instalaciones.
- Empresas transportadoras: Algunas de las empresas envasadoras tienen contratadas empresas transportadoras especializadas para realizar las entregas en los clientes. Este tipo de transportadoras juegan un papel importante en la logística inversa de la compañía ya que sus funcionarios representan las compañías de cara al cliente y son ellos quienes se encargan de materializar la recolección de los envases.

En ocasiones se realizan convenios con estas transportadoras de tal fin que se premie o recompense la recolección de envases sin embargo estas prácticas fomentan en ocasiones la desatención en las entregas de cilindros llenos y además afectan el normal desarrollo de la logística en el momento en que se decida suspender el pago o recompensa por la recolección de cilindros.

10. DEFINICIÓN DEL MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA

Luego de estudiar con detenimiento el estado del arte correspondiente a ésta investigación junto con lo observado en la empresa en donde se realizó el estudio, logré establecer un nuevo modelo de logística inversa con algunas variaciones importantes con respecto al modelo AS-IS que permiten optimizar el proceso actual y enfocarse no solamente en la recolección de los cilindros

vacíos de acuerdo a lo que informe esporádicamente el cliente sino que además promueve la recuperación de cilindros que por diferentes razones se encuentran en las instalaciones del cliente por un periodo superior al de su rotación de consumo normal.

En éste nuevo modelo de logística inversa se involucran algunos nuevos agentes en el proceso los cuales permitirán brindar mayor información y ejecución en la recolección de envases; si bien estos nuevos agentes podrían generar nuevos costos asociados a la logística inversa, los beneficios podrían ser superiores a los encontrados en el modelo actual lo cual se evaluará en la etapa de resultados de esta investigación.

A continuación se presenta tanto el modelo actual como el nuevo y se explica cómo funcionan estos modelos con el fin de facilitar el entendimiento de los resultados y las conclusiones de esta investigación.

a. VARIABLES QUE AFECTAN LA RECOLECCIÓN DE ENVASES

Como cualquier proceso de logística existen diferentes variables y restricciones que afectan de manera positiva o negativa el normal desarrollo de estos procesos. A continuación se describen algunas de esas variables haciendo referencia a la fuente en donde se generan.

i. EN LA EMPRESA ENVASADORA

Algunas de las variables que afectan el proceso de logística inversa derivadas de esta fuente son:

- La compañía programa la recolección de envases únicamente basada en la información que suministra el cliente acerca de los cilindros vacíos que tiene pendientes por recoger; además esta información solo es recibida en el momento en que el cliente solicita un nuevo pedido, de lo contrario

en muy pocas oportunidades el cliente informa el estado de cilindros vacíos pendientes por recoger.

- La empresa posee información acerca de los cilindros que se encuentran en las instalaciones del cliente y los periodos de tiempo en el que estos han estado allí; sin embargo, este valioso recurso se pierde al no materializar la recolección de los cilindros bajo un proceso formal que haga parte del modelo.
- La compañía cuenta con un área dedicada al control de inventarios de cilindros que realiza conteo de cilindros en los clientes de forma esporádica y aleatoria; sin que la información obtenida haga parte permanente y frecuente del proceso de recolección de envases.
- Si bien las áreas comerciales de la compañía deben estar enfocadas a mantener y maximizar las ventas de gases no pueden dejar de lado el control de los activos de la empresa; es fundamental que estas áreas se involucren dentro del proceso logístico ya que son ellas quienes tienen la aproximación con el cliente en temas de negociación e indemnización de activos en caso de pérdida de activos.
- En ocasiones la limitación de la flota de transporte afecta la recolección de envases al no tener la capacidad para recoger una mayor cantidad de envases si el ejercicio de logística inversa así lo requiriera.

ii. EN EL CLIENTE

Algunas de las variables que afectan el proceso de logística inversa derivadas de esta fuente son:

- Al no sentirse completamente responsable por la administración y control de los cilindros de la compañía de gases el cliente no presta la suficiente atención a la devolución oportuna de los cilindros y peor aún no le afecta la pérdida de estos activos.
- El almacenamiento inadecuado de los cilindros en las instalaciones del cliente permite el envejecimiento de los cilindros al mezclar envases llenos con vacíos y recientes con antiguos, fomentando la no recolección

de envases de manera oportuna favoreciendo así a la pérdida de cilindros.

- A pesar de que la empresa busca involucrar al cliente en el control de cilindros a través de un documento contractual que lo obligue a apoyar la administración del activo éste no acepta responsabilidad alguna y en ocasiones amenaza a la empresa con cambiar de proveedor de gases.

iii. EN LA COMPETENCIA

Algunas de las variables que afectan el proceso de logística inversa derivadas de esta fuente son:

- Anteriormente las compañías de gases realizaban entregas uno a uno, es decir solo se entregaba la misma cantidad de cilindros llenos que el cliente devolviera vacíos; sin embargo la fuerte competencia del sector ha llevado a las compañías a entregar cilindros llenos sin importar la cantidad de cilindros vacíos que el cliente devuelva por efecto de ganar mercado, esto ha fomentado que los clientes reciban producto sin importar el control de los cilindros vacíos.
- Algunas de las compañías del sector en ocasiones por descuido y en otras tristemente por deshonestidad recogen cilindros que no son de su propiedad en las instalaciones de clientes compartidos para llenarlos en sus plantas y comercializar sus productos en los cilindros de su competencia; este hecho fortalece el mercado negro de los cilindros y la pérdida de activos de las compañías de gases.

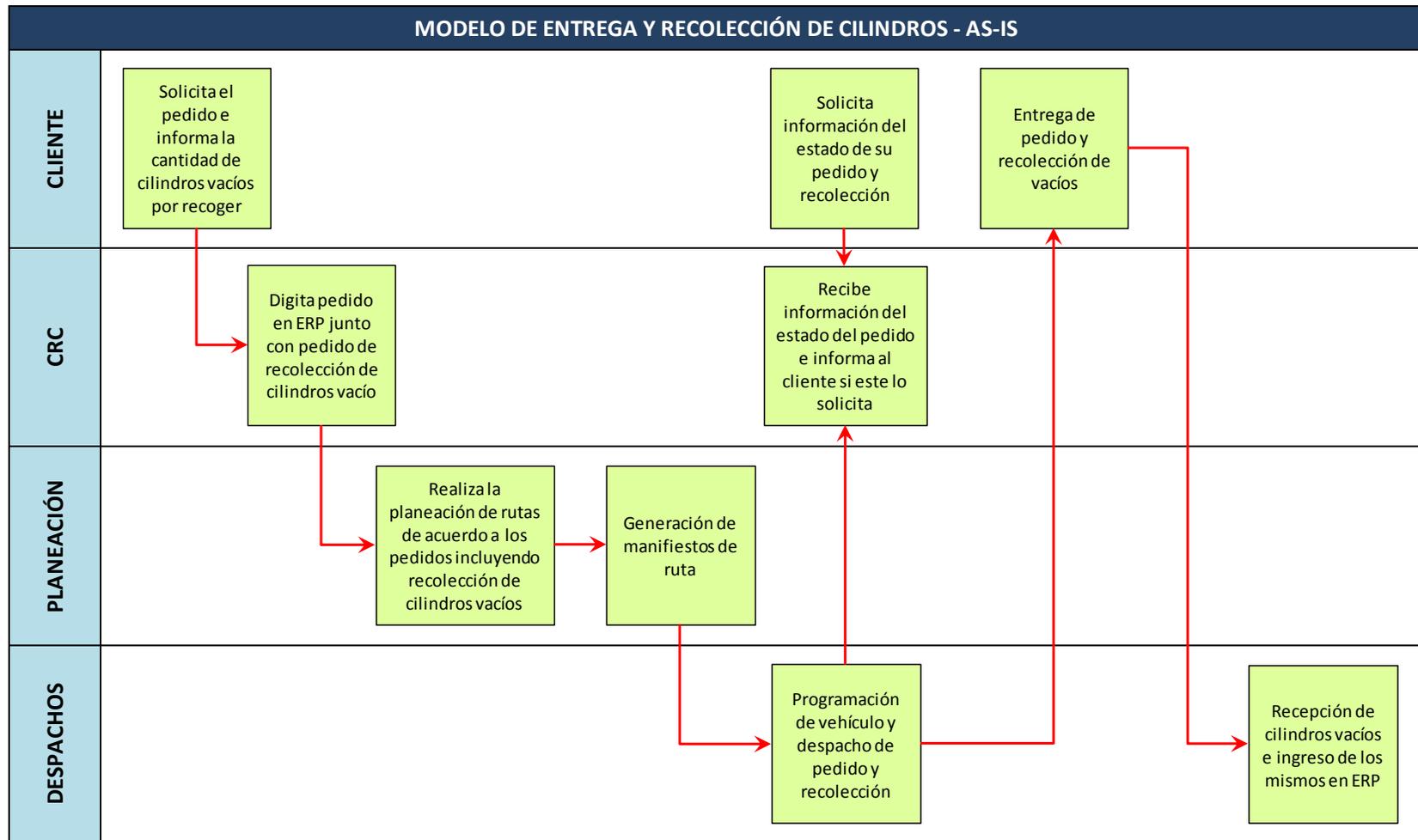
iv. EN EL TRANSPORTE

Algunas de las variables que afectan el proceso de logística inversa derivadas de esta fuente son:

- Al no ser directamente responsable por los inventarios de cilindros la empresa transportadora no indaga por los cilindros vacíos que están en las instalaciones del cliente cuando van a entregar pedidos.

- Algunas compañías de gases fomentan la recolección de envases al brindar bonificaciones económicas a las empresas transportadoras por los cilindros recogidos. Esta práctica se usa bajo mecanismo de campañas temporales; desafortunadamente al culminar dichas campañas las empresas transportadoras disminuyen considerablemente su interés por la recuperación de los cilindros.

b. MODELO LOGISTICO AS-IS



i. DESCRIPCIÓN MODELO LOGISTICO AS-IS

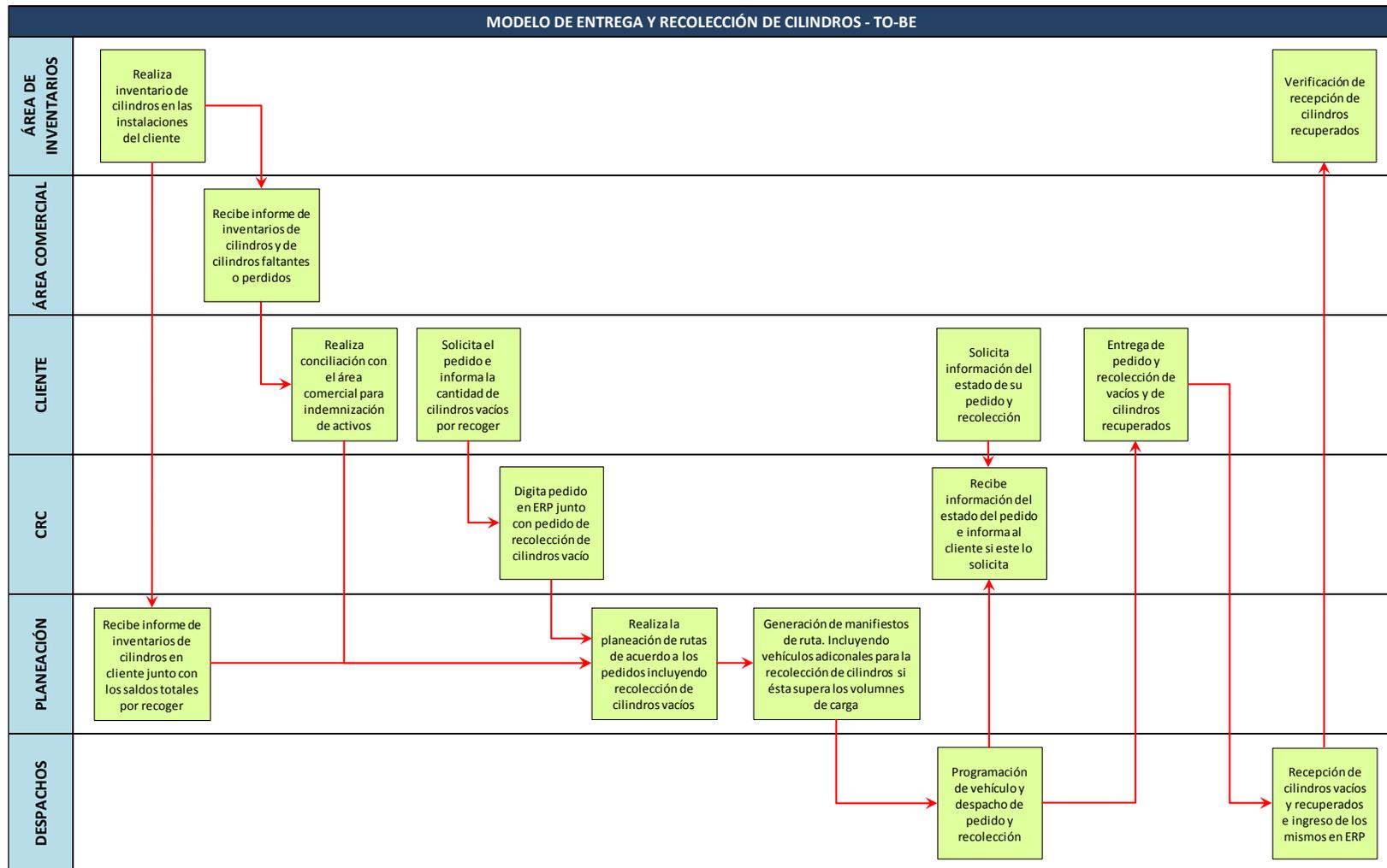
A continuación se presenta la descripción del modelo logístico usado actualmente para entregar y recoger los cilindros vacíos que se encuentren en los clientes.

1. CLIENTE – Solicita el pedido e informa la cantidad de cilindros vacíos por recoger: El cliente se comunica con el Centro de Relacionamiento con el Cliente (CRC) para solicitar un pedido de gases en cilindros al mismo tiempo que informa la cantidad de cilindros vacíos para recoger; si el cliente no informa el CRC solicita ésta información.
2. CRC – Digita pedido en ERP junto con pedido de recolección de cilindros vacío: El personal del CRC ingresa el pedido en el sistema ERP de la empresa con la información suministrada por el cliente. Ésta información está disponible para todas las personas que hacen parte del proceso logístico y contiene el pedido solicitado y el pedido de recolección de envases vacíos.
3. PLANEACIÓN – Realiza la planeación de rutas de acuerdo a los pedidos incluyendo recolección de cilindros vacíos: El personal de planeación, realiza la planificación de las rutas de entrega y recolección teniendo en cuenta la información ingresada en el ERP, para ésta planificación se tienen en cuenta las cantidades de cilindros solicitados y pendientes por recoger así como los camiones disponibles y la ubicación de los domicilios de los clientes por georreferenciación, además del uso de un software especializado determinar las rutas bajo las condiciones mencionadas y que permita optimizar las entregas y recolecciones.
4. PLANEACIÓN – Generación de manifiestos de ruta: El personal de planeación, de acuerdo a lo planificado emite los manifiestos de ruta, es decir, la planeación de entregas y recolecciones de cilindros y la distribución de los vehículos conservando el espacio requerido para los cilindros vacíos devueltos.
5. DESPACHOS – Programación de vehículo y despacho de pedido y recolección: De acuerdo a la planificación definida por el área de planeación, el área de despachos ejecuta el cargué de cilindros al vehículo y el despacho a los clientes junto con la documentación requerida para la entrega (factura o remisión según sea el caso).

Además de ello el área de despachos informa al CRC el estado del pedido para informar al cliente sobre el mismo en caso de que éste último se comunique con el CRC a solicitar información al respecto.

6. CLIENTE – Entrega de pedido y recolección de vacíos: Con el pedido y la documentación el cliente recibe el pedido y entrega los cilindros vacíos. Los cilindros son cargados virtualmente al cliente y el sistema ERP quedan los cilindros cargados a los clientes. Aquí se genera un problema complejo ya que en ocasiones el cliente no posee los cilindros vacíos que informa o que por sistema debe poseer. El mercado tan competitivo obliga a que se entreguen cilindros llenos independientemente de que el cliente devuelva o no cilindros vacíos.
7. DESPACHOS – Recepción de cilindros vacíos e ingreso de los mismos en ERP: Los cilindros que se reciben en la planta son ingresados como cilindros vacíos en el sistema ERP y son cargados a las plataformas de cilindros vacíos.

c. MODELO LOGISTICO TO-BE



i. DESCRIPCIÓN DEL MODELO LOGISTICO TO-BE

En ésta etapa de la investigación se describe el modelo propuesto para optimizar el proceso de logística inversa en la industria de gases y poder así determinar si a través de él se generan mejoras o beneficios para las compañías del sector de llenado de gases.

Inicialmente cabe resaltar que una parte fundamental de este nuevo proceso es el involucramiento del área de inventarios y el área comercial de la compañía de tal fin que su participación permita mejorar el proceso de recolección y recuperación de envases.

1. ÁREA DE INVENTARIOS – Realiza inventario de cilindros en las instalaciones del cliente: Al iniciar este nuevo modelo de recolección de envases por el área de inventarios se logran varias mejoras con respecto al proceso actual. En esta etapa se propone realizar inventarios de cilindros en las instalaciones del cliente que permita contar con información certera de la cantidad de cilindros vacíos o en estado superior a 90 días que se encuentren en las bodegas del cliente. Ésta información es suministrada al área de planeación y al área comercial para diferentes fines del modelo que permitirán a estas área tomar decisiones que contribuyan a la recolección y recuperación de envases.

Con la información suministrada por el área de inventarios al proceso logístico de distribución y recolección de cilindros se pretende que la recolección de cilindros se incremente y por otro lado se concilie entre el cliente y la compañía una retribución o pago por aquellos cilindros que estén en custodia del cliente y que por algún motivo no se hallaron tras la realización del inventario en el cliente.

2. PLANEACIÓN – Recibe informe de inventarios de cilindros en cliente junto con los saldos totales por recoger: El área de planeación recibe la información por parte del área de inventarios en donde se encuentran descritas las cantidades de cilindros vacíos por recoger y aquellos recuperados tras realizar el inventario, de acuerdo a ello el área de planeación realizará la planificación de rutas para la recolección de los cilindros.

3. ÁREA COMERCIAL – Recibe informe de inventarios de cilindros y de cilindros faltantes o perdidos: El área comercial recibe la información por parte del área de inventarios en donde se encuentran descritas las cantidades de cilindros faltantes de acuerdo a la cantidad real que el cliente debería tener, tras realizar el inventario, de acuerdo a ello el área de comercial debe realizar una conciliación con el cliente.
4. CLIENTE – Realiza conciliación con el área comercial para indemnización de activos: En compañía del cliente el área comercial de la empresa debe realizar una conciliación con el cliente que comprenda el pago del envase perdido o algún tipo de multa que represente la indemnización del activo faltante.
5. CLIENTE – Solicita el pedido e informa la cantidad de cilindros vacíos por recoger: El cliente se comunica con el Centro de Relacionamiento con el Cliente (CRC) para solicitar un pedido de gases en cilindros al mismo tiempo que informa la cantidad de cilindros vacíos para recoger; si el cliente no informa el CRC solicita ésta información. Por otro lado y teniendo en cuenta que el proceso de realizar inventarios en los clientes hace parte del modelo actual, la información de cilindros pendientes por recoger es información con la que ahora cuenta fácilmente el área de planeación en el momento en que vaya a realizar la planificación de las rutas de despacho y recolección.
6. CRC – Digita pedido en ERP junto con pedido de recolección de cilindros vacío: El personal del CRC ingresa el pedido en el sistema ERP de la empresa con la información suministrada por el cliente. Ésta información está disponible para todas las personas que hacen parte del proceso logístico y contiene el pedido solicitado y el pedido de recolección de envases vacíos.
7. PLANEACIÓN – Realiza la planeación de rutas de acuerdo a los pedidos incluyendo recolección de cilindros vacíos: El personal de planeación, realiza la planificación de las rutas de entrega y recolección teniendo en cuenta la información ingresada en el ERP, para ésta planificación se tienen en cuenta las cantidades de cilindros solicitados y pendientes por recoger así como los camiones disponibles y la ubicación de los domicilios de los clientes por georreferenciación, además del uso de un

software especializado determinar las rutas bajo las condiciones mencionadas y que permita optimizar las entregas y recolecciones.

Además en esta etapa del modelo el área de planeación ya cuenta no solo con la información suministrada por el pedido montado en el ERP sino además con la información recibida por parte del área de inventarios en donde se determinan las cantidades a recoger y también cuenta con la información del área comercial con respecto a la conciliaciones realizadas con el cliente.

De igual forma con la planificación basada en la cantidad de cilindros a recoger y los camiones disponibles es posible determinar en esta etapa del modelo de la cantidad necesaria de flota para la recolección de cilindros en caso de requerirse.

8. PLANEACIÓN – Generación de manifiestos de ruta: El personal de planeación, de acuerdo a lo planificado emite los manifiestos de ruta, es decir, la planeación de entregas y recolecciones de cilindros y la distribución de los vehículos conservando el espacio requerido para los cilindros vacíos devueltos más aun teniendo en cuenta que con el nuevo modelo se espera tener una mayor cantidad de cilindros devueltos por recoger.
9. DESPACHOS – Programación de vehículo y despacho de pedido y recolección: De acuerdo a la planificación definida por el área de planeación, el área de despachos ejecuta el cargué de cilindros al vehículo y el despacho a los clientes junto con la documentación requerida para la entrega (factura o remisión según sea el caso). Además de ello el área de despachos informa al CRC el estado del pedido para informar al cliente sobre el mismo en caso de que éste último se comunique con el CRC a solicitar información al respecto.

Además en el nuevo modelo en esta etapa el área de despachos debe suministrar al conductor del camión las cantidades a recoger ya que esto ayudará con la recolección precisa de envases.

10. CLIENTE – Entrega de pedido y recolección de vacíos: Con el pedido y la documentación el cliente recibe el pedido y entrega los cilindros vacíos

además de aquellos que se encontraran como recuperados tras la visita previa del área de inventarios. Los cilindros entregados son cargados virtualmente al cliente y en el sistema ERP quedan los cilindros cargados a los clientes. Aquí se genera un problema complejo ya que en ocasiones el cliente no posee los cilindros vacíos que informa o que por sistema debe poseer, sin embargo en el nuevo modelo la visita previa del área de inventarios permite que la cantidad determinada a devolver por el cliente esté disponible en el momento de la llegada del camión a recoger los cilindros.

11. DESPACHOS – Recepción de cilindros vacíos e ingreso de los mismos en ERP: Los cilindros que se reciben en la planta son ingresados como cilindros vacíos en el sistema ERP y son cargados a las plataformas de cilindros vacíos.

12. ÁREA DE INVENTARIOS – Verificación de recolección de cilindros recuperados: Para completar el modelo planteado para la entrega y recolección de cilindros el área de inventarios debe corroborar que los cilindros pendientes por recolección informados por ellos al inicio del modelo al área de planeación sean realmente recogidos e ingresados nuevamente en las plataformas de la compañía para los procesos de llenado de cilindros. Esto garantiza que las recolecciones de cilindros sean efectivas y generen un efecto positivo en la compañía.

11. RESULTADOS Y EVALUACIÓN

a. RESULTADOS

Para determinar los beneficios tentativos que podrían obtenerse tras la implementación del modelo se determinó realizar varias pruebas del modelo en algunos clientes Pareto de la compañía, en los cuales se encuentra una cantidad importante de los cilindros por recuperar y que se encuentran en las instalaciones de los clientes por un período superior a 90 días. Para las pruebas del modelo se tomaron 4 periodos de 2 semanas cada uno con el fin de obtener resultados que permitan responder la pregunta principal de esta investigación.

Las pruebas del nuevo modelo fueron realizadas en 4 periodos cada uno de 2 semanas lo que permitió contar con una base de tiempo de 2 meses para la realización de las pruebas. Los valores encontrados en cada periodo fueron comparados con los mismos periodos de tiempo y en las mismas fechas correspondientes al año inmediatamente anterior.

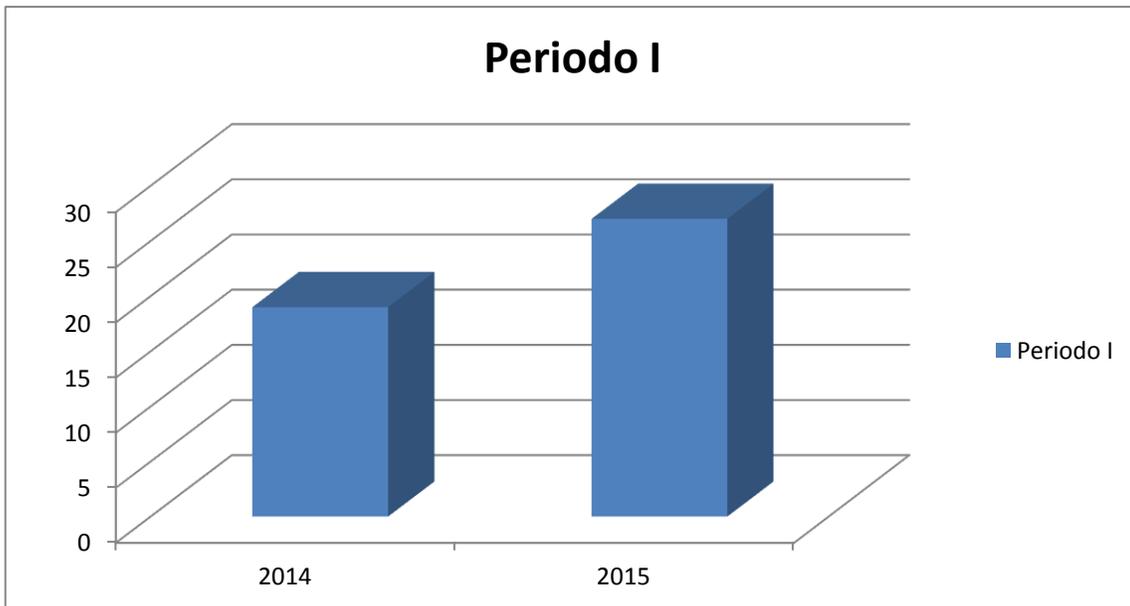
A continuación se presentan los resultados obtenidos:

i. RESULTADO CILINDROS RECUPERADOS

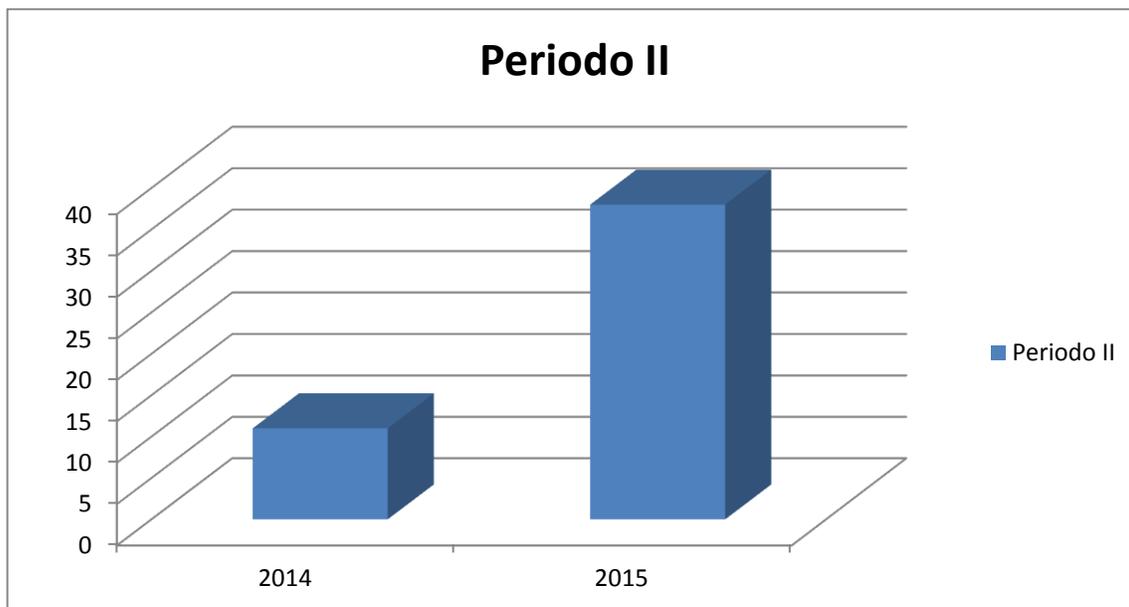
Tras la realización de las pruebas de implementación del modelo TO-BE dentro de los periodos anteriormente mencionados se lograron obtener resultados correspondientes a cilindros recuperados los cuales se presentan en la tabla siguiente, además se presentan dichos resultados en gráficas comparativas que relacionan la recuperación de envases realizada en el mismo periodo seleccionado el año inmediatamente anterior:

Pruebas del Modelo TO-BE - Clientes Pareto								
Cilindros Recuperados	Periodo I		Periodo II		Periodo III		Periodo IV	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
	19	27	11	38	16	28	13	33

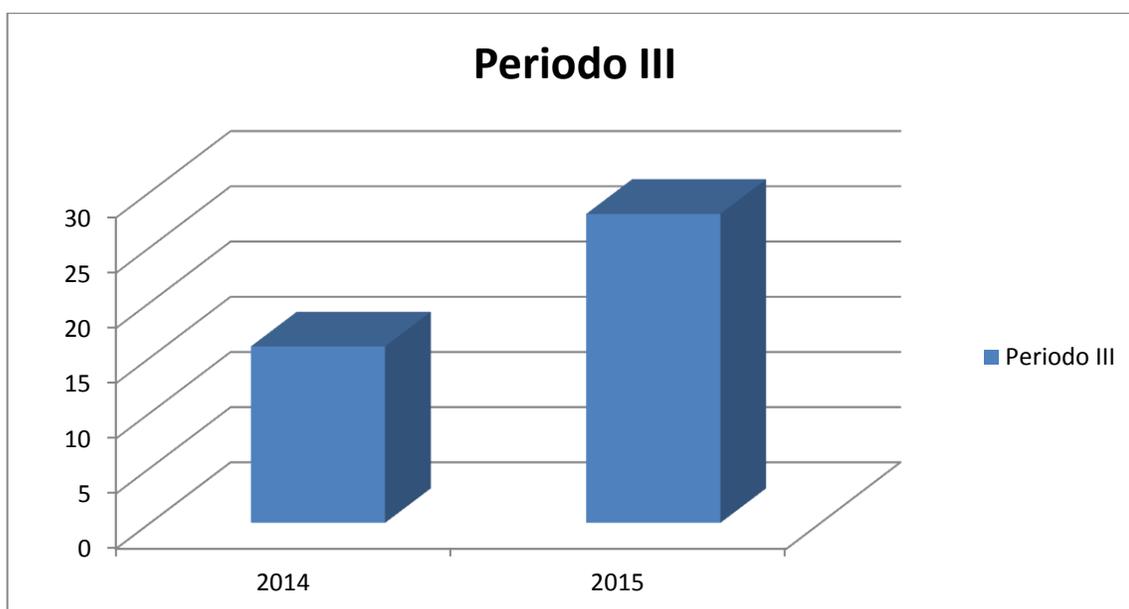
Tabla 4. Resultado Cilindros Recuperados.
Fuente: Elaboración Propia



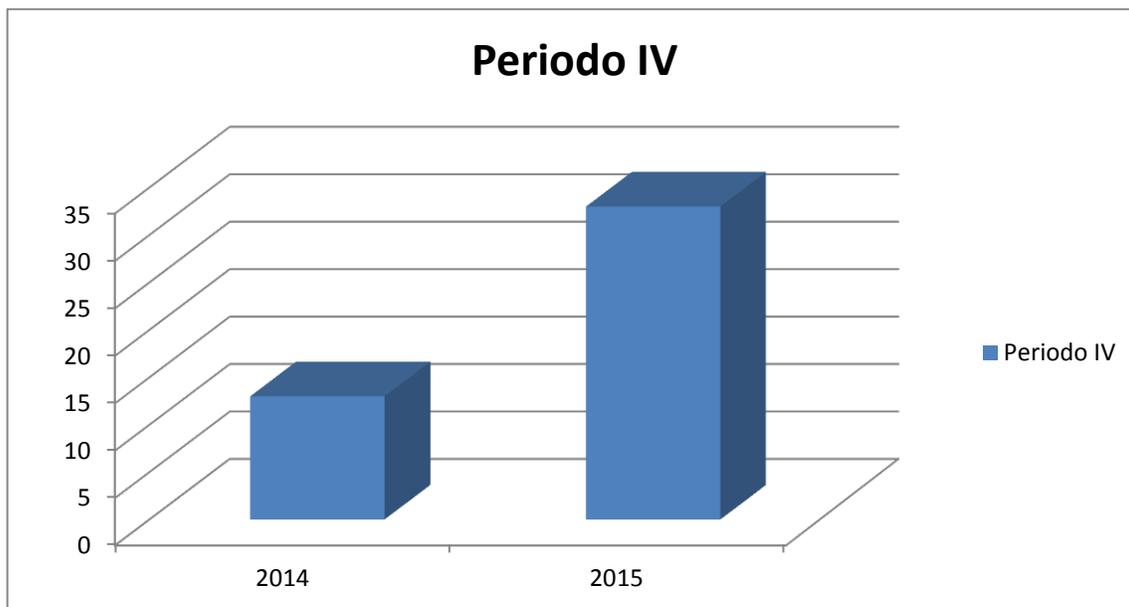
Gráfica 1. Cilindros Recuperados en el Periodo I (2014 vs 2015).
Fuente: Elaboración Propia.



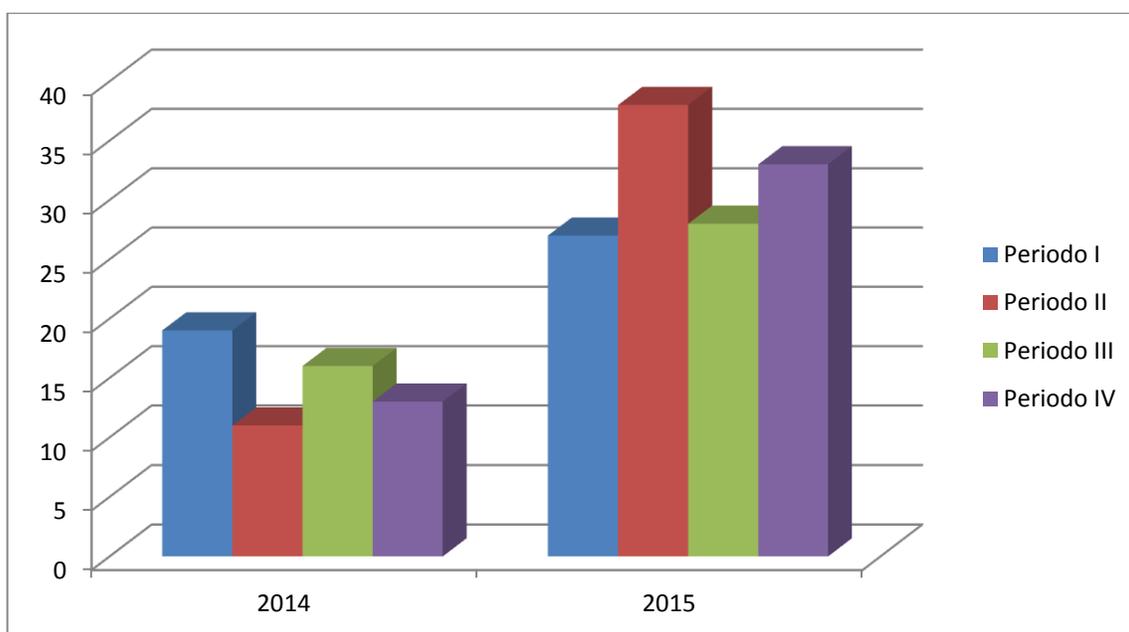
Gráfica 2. Cilindros Recuperados en el Periodo II (2014 vs 2015).
Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica 3. Cilindros Recuperados en el Periodo III (2014 vs 2015).
Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica 4. Cilindros Recuperados en el Periodo IV (2014 vs 2015).
Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica 5. Cilindros Recuperados Total en los Cuatro Periodos (2014 vs 2015).
Fuente: Elaboración Propia.

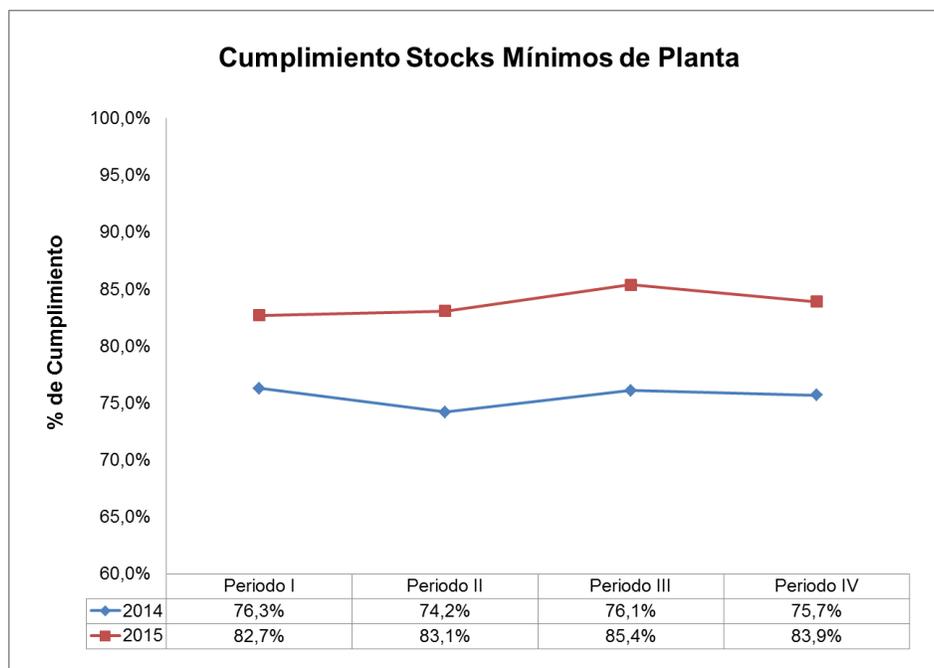
ii. RESULTADO STOCKS MÍNIMOS DE INVENTARIO

Al mejorar la condición de recolección y recuperación de cilindros se obtienen resultados de mejora en cuanto al control de stocks y en los porcentajes de cumplimiento de stocks mínimos definidos para la planta; esto gracias a la disponibilidad de cilindros que se genera producto del modelo de recolección y recuperación de envases. A continuación se presenta la tabla y gráfica con los resultados de stocks mínimos requeridos en planta.

Cumplimiento Stocks Mínimos de Planta				
Año	Periodo I	Periodo II	Periodo III	Periodo IV
2014	76,3%	74,2%	76,1%	75,7%
2015	82,7%	83,1%	85,4%	83,9%

Tabla 5. Cumplimiento Indicador Stocks Mínimos en Planta.

Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica 6. Cumplimiento Indicador Stocks Mínimos en Planta.

Fuente: Elaboración Propia.

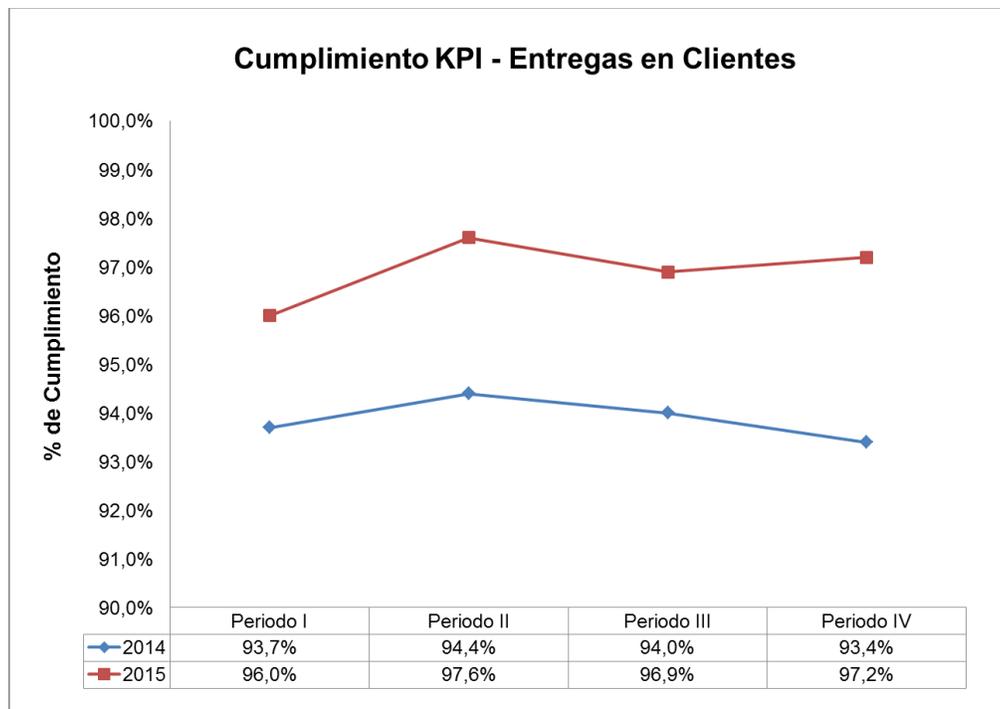
iii. RESULTADO KPI DE ENTREGA DE CILINDROS

De igual manera que en el punto anterior existe una mejora en el Key Performance Indicator (KPI) correspondiente al control de entrega de cilindros a los clientes. Esto quiere decir que al mejorar la disponibilidad de envases y mantener los cilindros requeridos para las entregas es posible no incumplir pedidos que en ocasiones se posponen por falta de envases.

Cumplimiento KPI - Entregas en Clientes				
Año	Periodo I	Periodo II	Periodo III	Periodo IV
2014	93,7%	94,4%	94,0%	93,4%
2015	96,0%	97,6%	96,9%	97,2%

Tabla 6. Cumplimiento KPI – Entregas en Clientes.

Fuente: Elaboración Propia.



Gráfica 7. Cumplimiento KPI – Entregas en Clientes.

Fuente: Elaboración Propia.

iv. RESULTADO BENEFICIO ECONOMICO

Partiendo del principio básico de que al no tener cilindros disponibles para el normal funcionamiento de los procesos de llenado de cilindros la empresa debe realizar inversiones en activos para solventar esta ausencia; el recuperar cilindros con los que no se contaban permite reducir la compra de activos y por ende reducir las inversiones dirigidas a estos elementos.

Número de Cilindros Recuperados		
Periodo	2014	2015
Periodo I	19	27
Periodo II	11	38
Periodo III	16	28
Periodo IV	13	33
Total	59	126
Mejora		67

Costos Asociados al Modelo en los Cuatro Periodos	
Concepto	Costo
Transporte Adicional 1 Camión	\$ 10.554.000
Personal Adicional en Área de Inventarios	\$ 5.328.000
Total	\$ 15.882.000

Costos por Nueva Adquisición de Activos	
Concepto	Costo
Compra de Cilindro Nuevo	\$ 547.000
Compra de Válvula Nueva	\$ 97.600
Compra de Tapa Nueva	\$ 86.400
Total por Envase	\$ 731.000
Total por Cilindros Recuperados	\$ 48.977.000

BENEFICIO ECONÓMICO	\$ 33.095.000
----------------------------	----------------------

Tabla 7. Beneficio Económico.

Fuente: Elaboración Propia.

b. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS

A continuación se presentará la evaluación y el correspondiente análisis de los beneficios encontrados por la aplicación del nuevo modelo de logística inversa para la recolección y recuperación de envases; propuesto en esta investigación.

i. EVALUACIÓN CILINDROS RECUPERADOS

Como se observa en la tabla 4 y en las gráficas de la 1 a la 5, a través de la aplicación del modelo de logística inversa para la recolección y recuperación de envases propuesto en esta investigación fue posible recuperar 126 cilindros en un periodo de dos meses y con la poca experiencia que se tiene sobre este nuevo modelo.

Al comparar los cilindros recuperados correspondientes al año 2014 en los mismos periodos seleccionados para las pruebas del modelo se evidencia que con el nuevo modelo se logran recuperar más del doble de cilindros que el año pasado, es decir que tras la implementación del nuevo modelo se lograron recuperar 67 cilindros más que el año pasado para ser más exactos.

Es importante aclarar que los cilindros recuperados están dentro del orden de 90 días en adelante en las instalaciones del cliente, por lo tanto los cilindros corresponden a envases que en ocasiones se dan por perdidos en la empresa por su largo tiempo con el cliente, sin embargo el modelo plantado permite y establece una logística inversa que no solo se enfoca en la recuperación de los envases sino además en la recolección de aquellos que están dentro de las condiciones normales de rotación según consumos; además está directamente relacionado con la logística directa de entregas de la organización.

En las gráficas se evidencia que en el segundo periodo se presenta la más alta recuperación de cilindros, luego de entrevistar a las personas encargadas de realizar las pruebas tanto del área de inventarios como del área comercial se encontraron algunas razones por las cuales fue viable recuperar los cilindros:

- La mayoría de los clientes tienen cilindros en sus bodegas hace mucho tiempo y no notaban la importancia de retornar los cilindros.
- Al explicarle a los clientes la clasificación física y química de los gases y al exponerle el alto riesgo que se está presentando en sus instalaciones al almacenar en un mismo sitio cilindros inflamables y oxidantes juntos o cilindros vacíos con cilindros llenos en las mismas áreas; estos evidenciaron que por seguridad de sus compañías es indispensable mantener la cantidad necesaria para sus procesos y se percataron del grave error cometido por no darle importancia a la devolución de los cilindros a su proveedor de gases.
- Luego de que el área comercial gestionara conciliaciones con algunos de los clientes sobre los pagos o posibles arriendos en los que ellos debían incurrir por la pérdida de los activos de la compañía o por la retención innecesaria de cilindros; los clientes se enfocaron en la búsqueda de los envases y muchos de ellos lograron recuperar estos cilindros y retornarlos a la compañía.
- Los clientes se encontraron muy satisfechos con el tema de las recolecciones al evidenciar que por parte de la compañía existe un interés en controlar los cilindros y entienden que al mejorar esta rotación de cilindros ellos se ven beneficiados por una mejora en sus entregas futuras ya que la compañía puede mejorar la disponibilidad de envases.

Los cilindros recuperados se convierten en el resultado concreto de que con la correcta implementación del modelo de logística inversa propuesto en esta investigación es posible mejorar la disponibilidad de envases para los procesos de llenado de gases de la compañía.

ii. EVALUACIÓN STOCKS MÍNIMOS DE INVENTARIO

En la tabla 5 y gráfica 6 se observa de manera muy clara como existe un incremento en el indicador de stocks mínimos requeridos en planta que controla la compañía debido a que al mejorar la recuperación de envases se mejoran la disponibilidad de envases.

Los cilindros recuperados a pesar de ser de un gas específico pudieron ser cambiados a otros gases respetando las normas para cambio de gases. Esto permitió que cilindros de gases inertes que se requerían para mejorar el stock mínimo de otro tipo de gases se pudieran pasar al gas requerido para nivelar el stock mínimo. Por ejemplo algunos cilindros de argón pudieron usarse en mezclas de argón las cuales se encontraban por debajo del stock mínimo establecido.

Durante el año 2014 el promedio de este indicador fue del 75% de cumplimiento. Con la implementación del modelo TO-BE la disponibilidad de inventario mejoró en 8 puntos en promedio con respecto al año pasado durante las mismas fechas en los periodos seleccionados, de mantenerse esta tendencia que es lo esperado, se daría cumplimiento a la meta del indicador de stock mínimo teniendo en cuenta que la meta establecida por la compañía la es del 80% (el stock mínimo no es igual a los requerimientos diarios; es superior).

iii. EVALUACIÓN KPI DE ENTREGA DE CILINDROS

Este indicador es vital para las operaciones de la compañía, de hecho hace parte del Balance Score Card de la compañía. Con la implementación del modelo propuesto se logró incrementar este indicador en más de 3 puntos en promedio con respecto al año pasado durante las mismas fechas en los periodos seleccionados, esto se puede observar fácilmente en la tabla 6 y en la gráfica 7 mostrados anteriormente.

Este es un crecimiento importantísimo para la compañía puesto que a través de él se logra medir y controlar que las entregas que los clientes realicen cumplan con las cantidades solicitadas y en los tiempos establecidos en la Oferta de Servicio de Productos establecida por la organización.

Este indicador es muy estricto y sensible ya que para efectos de su medición es lo mismo si se incumple o cumple un pedido de cien (100) cilindros que un pedido de un (1) cilindro. Con la implementación del modelo propuesto se logró mejorar la disponibilidad de cilindros llenos lo cual contribuyó al cumplimiento de pedidos pequeños que en ocasiones se incumplían por falta de stock por la complejidad de ciertas mezclas de gases por falta de envases. El modelo permitió recuperar cilindros de este tipo de gases lo cual aportó a la mejora del indicador de entregas.

iv. EVALUACIÓN BENEFICIO ECONÓMICO

Uno de los beneficios más visibles es el beneficio económico generado por la aplicación del modelo de logística inversa propuesto en esta investigación.

En la tabla 7 se muestra como al implementar el modelo TO-BE se genera un beneficio de \$33'095.000 millones (COP) tras la recuperación de 67 cilindros más que el año pasado en los mismo periodos seleccionados para las pruebas, al generar la diferencia entre los costos adicionales asociados a la implementación del modelo y la inversión requerida para la compra de 67 cilindros nuevos.

Para la aplicación de las pruebas del modelo se adicionó un vehículo y dos personas en el área de inventarios, el modelo puede sostener o mejorar este beneficio económico optimizando estos dos recursos dependiendo de lo que el ejercicio logístico requiera durante las recolecciones y recuperación de cilindros en el momento de la planificación.

11. CONCLUSIONES

- Con respecto a la pregunta de investigación, los beneficios tras la utilización de un modelo de logística inversa en la recolección y recuperación de envases usados para el llenado de gases se obtienen a través de la fusión de la logística directa y el modelo de logística inversa planteado en esta investigación usando algunos recursos adicionales y otros recursos existentes que si bien actualmente hacen parte de la compañía no se enfocaban en la recuperación de envases como son las áreas de inventarios y comerciales.
- En cuanto en qué medida se generan estos beneficios, como se observó en el capítulo de Evaluación y Análisis se logró generar un incremento de más del doble de cilindros recuperados en los mismos periodos medidos con respecto al año pasado logrando superar la expectativa de los objetivos específicos planteados; además se generó un beneficio económico de más de 33 millones de pesos en los periodos evaluados y se logró incrementar en 8% y 3% los indicadores de stocks mínimos de inventario en planta y el KPI de entregas a clientes respectivamente.
- Como en cualquier proceso, el planteamiento de optimización del mismo presenta diferentes variables y/o restricciones que hacen parte del modelo de mejora; debido a ello el modelo de logística inversa propuesto presentó y tuvo en cuenta las variables que afectan el modelo con la finalidad de que éste logrará cubrir, minimizar o eliminar aquellas restricciones que detuvieran el proceso. Es fundamental en una evaluación de mejora y optimización tener claras y definidas las variables y restricciones que lo afectan con el fin de plantear el modelo más acertado.
- Si bien el estado del arte directamente relacionado con la logística inversa en la industria de llenado de gases es bastante limitado, el estado del arte presentado referente a logística inversa y modelos de logística inversa permitió contar con un panorama bastante amplio en

cuanto a este tipo de procesos logísticos y logró encaminar la investigación al planteamiento de un modelo que le permitiera a la industria de gases una solución a una problemática latente en este tipo de negocio.

12. OTROS ESTUDIOS

Durante el desarrollo de la investigación logré identificar algunos temas que considero importantes y que pueden ser abordados y desarrollados partiendo de algunos principios aquí presentados.

Una problemática identificada es determinar una vez se inicie la implementación del modelo en condiciones normales de operación una función objetivo que esté enfocada en minimizar los costos asociados a la implementación del modelo tales como el transporte y el recurso humano designado para las tareas de inventarios, con el fin de que durante el desarrollo del proceso estas variables y restricciones permanezcan controladas con el fin de mantener activos los beneficios económicos observados.

Además considero importante investigar si a través de la implementación de los principios usados modelos de Vendor Manage Inventory (VMI) se podría mejorar el control de los activos que se entregan en comodato a los clientes. Si bien el VMI plantea que el inventario en el cliente es administrado por el proveedor, lo cual no es el caso del mercado de gases, si se podría plantear usar algunos principios de esta herramienta logística para controlar el consumo de los gases y calcular el tiempo de retorno de los cilindros y la periodicidad de ejecución de los inventarios en las instalaciones de los clientes de acuerdo a ello.

13. REFERENCIAS

- Rogers, D. S., Larson, P. y Tibben-Lembke, R. S. (1999). "E-commerce reverse logistics". Reverse Logistics Executive Council. www.rlec.org
- Mortiz F, Hans Ronald K, Rommert D, Simme D y P. Flapper. (2000). A characterization of logistics networks for product recovery. Omega 28, The International Journal of Management Science. Elsevier. Pag. 653-666.
- Carrasco, R. y Cueto Ponce, E. (2007).. Caracterización de sistemas de logística inversa para la reutilización de envases de alto valor unitario. XI Congreso de Ingeniería de Organización, pág. 0765-0774. Madrid.
- Tung-Lai Hu, Jiuh-Biing Sheu, Kuan-Hsiung Huang. (2002). A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. Transportation Research Part E 38 (2002) 457–473.
- M.Şükrü Akdoğan. (2012). Drivers of Reverse Logistics Activities: An Empirical Investigation. Procedia - Social and Behavioral Sciences 1640 – 1649.
- Lacoba Rubio, S (2003). El sistema de logística inversa en la empresa: análisis y aplicaciones. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura. Departamento de Economía Aplicada y Organización de Empresas.
- García Arca, J, y Prado J..C. (2004). La logística inversa de los envases y embalajes en el sector alimentario español. VIII Congreso de Ingeniería de Organización. Madrid
- Fraser, J. 1998. Managing value in reverse logistics systems. Transpn Res.-E (Logistics and Transpn Rev.), Vol. 34, No. 3, pp. 217±227, 1998. Londres

- Mier Ortega M.A. (2008). Utilización de métodos cuantitativos para el análisis de problemas de localización en logística inversa. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.
- Mohammed Najeeb S y Walid Abdul K. (2013). Comprehensive performance measurement and causal-effect decision making model for reverse logistics enterprise. *Computers & Industrial Engineering* 68 (2014) 87–103
- Keyvanshokoo, E, Fattahi M, Seyed Hosseini S.M, y R. Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). A dynamic pricing approach for returned products in integrated forward/reverse logistics network design. *Applied Mathematical Modeling* 37 (2013) 10182–10202
- Murphy, P.R. y Poist, R.F. (1989). Management of logistical retromovements: an empirical analysis of literature suggestions. *Transportations research forum*, pp. 177-184.
- Murphy, P.R.; Poist, R.F. y Braunschweig, C.D. (1995). Role and relevance of logistics to corporate environmentalism. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 25, No. 2, pp. 5-19.
- Giuntini, R y Andel, T. (1995). Advance with Reverse Logistics: Part 1. . *Transportation & Distribution*, Cleveland; Feb 1995; Vol. 36, No 2, pp. 73-75.
- Pohlen, T.L. y Farris II, M.T. (1992). Reverse Logistics in plastics recycling”, . *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 22, No 7, pp. 35-47.
- Carter, C.R. y Ellram, L.M. (1998). Reverse Logistics: A review of the literature and framework for future investigation, *Journal of Business Logistics*, Vol. 19, No. 1, pp. 85-102.
- Dowlatshahi, S. (2000). Developing a theory of Reverse Logistics. *Interfaces*, Vol. 30, No 3, May- June, pp. 143-155.

- Carter, C.R. y Ellram, L.M. (1998). Reverse Logistics: A review of the literature and framework for future investigation, *Journal of Business Logistics*, Vol. 19, No. 1, pp. 85-102.
- Dowlatshahi, S. (2000). Developing a theory of Reverse Logistics. *Interfaces*, Vol. 30, No 3, May- June, pp. 143-155.
- Rogers, D.S. y Tibben-Lembke, R.S. (1999). Going backwards: Reverse Logistics trends and practices. Reverse Logistics Executive Council, Pittsburgh, P.A.
- Stock, J.R. (1998). Development and Implementation of Reverse Logistics Programs. Council of Logistics Management.
- Thierry, M.; Salomon, M.; Nunnen, J. y Wassenhove, L. (1995). Strategic issues in Product Recovery Management. *California Management review*, 1995, Winter, Vol. 37, nº 2, pp. 114-135.
- Thierry, M. (1995). An analysis of the impact of Product Recovery Management on Manufacturing Companies. PhD. Thesis, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands.
- Kannan G y Murugesan P. (2011). Selection of third-party reverse logistics provider using fuzzy extent analysis. *Benchmarking*; 18(1):149–67.
- Kannan G, Pokharel S y Sasikumar P. A hybrid approach using ISM and fuzzy TOPSIS for the selection of reverse logistics provider. *Resour Conserv Recycl* 2009; 54(1):28–36.
- Kannan G, Sasikumar P y Devika, M. (2010). A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: a case of battery recycling. *Appl Math Model*; 34:655–70.

- Kannan G y Palaniappan, M, Zhu Q, y Kanna, D (2012).. Analysis of third party reverse logistics provider using interpretive structural modeling. *Int J Prod Res*; 140(1):204–11.
- Kannan D, Diabat A y Shankar K, M. (2012). Analyzing the drivers of end-of-life tire management using interpretive structural modeling (ISM). *Int J Adv Manuf Technol* 2012b; 72(9–12):1603–14.
- Kannan D, Diabat A, Alrefaei M, y Govindan K, Yong G. (2012). A carbon footprint based reverse logistics network design model. *Resour Conserv Recycl* 67:75 –9.
- Stock, J. R. (1998). Development and implementation of reverse logistics program. Oak Brook, IL: Council of Logistics Management.
- Stock JR y Mulki, A (2009). J. P. Product returns processing: an examination of practices of manufacturers wholesalers/distributors and retailers. *J Bus Logist* 2009; 30(1):33–62.
- Richey, G, Daugherty P. J y Genchev S, E. Autry CW (2004).. Reverse logistics: the impact of timing and resources. *J Bus Logist.*; 25(2):229–50.
- Jayaraman V, y Luo Y. (2007). Creating competitive advantages through new value creation: a reverse logistics perspective. *Acad Manag Perspect.* 21(2):56–73.
- Wu CJ,y Cheng WP. (2006). Reverse logistics in the publishing industry: China, Hong Kong and Taiwan. *Int J Phys Distrib Logist Manag.* 36(7):507–23.
- Kumar S, y Craig S. (2007). Dell Inc.'s closed loop supply chain for computer assembly plants. *InfKnowlSystManag*; 6(3):197–214.

- Lau KH, y Wang Y. (2009). Reverse logistics in the electronic industry of China: a case study. *SupplyChainManag.* 14(6):447–65.
- Subramanian N, Gunasekaran A, y Abdurrahman, M, (2014). Factors for implementing end-of-life product reverse logistics in the Chinese manufacturing sector. *Int J Sustain Dev World Ecol*; 21(3):235–45.
- Jayaraman, V, Patterson RA y Rolland E. (2003) The design of reverse distribution networks: models and solution procedures. *Eur J Oper Res* :150(1):128–49.
- Biehl M, Prater E y Realff M, J. (2007). Assessing performance and uncertainty in developing carpet reverse logistics systems. In: *Computers & Operations Research* 34 (2), S. 443-463.
- Bernon M, Rossi S, y Cullen, J. (2011) Retail reverse logistics: a call and grounding framework for research. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 41(5):484–510.
- González-Torre PL, Adenso-Díaz B, y Artiba, H. (2004) Environmental and reverse logistics policies in European bottling and packaging firms. *Int J Prod Econ*; 88(1):95–104.
- González-Torre PL, y Adenso-Díaz, B. (2006). Reverse logistics practices in the glass sector in Spain and Belgium. *Int Bus Rev.* 15 (5):527–46.
- González-Torre P, Álvarez M, Sarkis J, y Adenso-Díaz B.(2010). Barriers to the implementation of environmentally oriented reverse logistics: evidence from the automotive industry sector. *Br J Manag*; 21 (4):889–904.
- Ravi V, y Shankar, R. (2004) Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics. *Technol Forecast Soc*; 72(8):1011–29.

- Ravi V y Shankar, R. (2006) Reverse logistics operations in paper industry: a case study. *J Adv Manag Res*; 3(2):88–94.
- Ravi V, y Shankar, R. Evaluating alternatives in reverse logistics for automobile organizations. *Int J Logist Syst Manag* 12(1):32–51.
- Ravi V, Shankar R, y Tiwari, M K. (2005) Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and Balance Score Card approach. *Comput Ind Eng*; 48(2):327–56.
- Rathore P, Kota S, y Chakrabarti, (2011). A. Sustainability through remanufacturing in India: a case study on mobile handsets. *J Clean Prod*; 19(15):1709–22.
- Narayana, S.A, Elias A. A, y Pati, R. K. (2014). Reverse logistics in the pharmaceuticals industry: a systemic analysis. *Int J Logist Manag* ; 25 (2):379–98.
- Wang X, Gaustad G, Babbitt CW, y Richa, K. (2014). Economies of scale for future lithium-ion battery recycling infrastructure. *Resour Conserv Recycl*; 83:53–62.
- Gül Tekin, Temur, Y. e Ilker, Topcu. (2009) An Axiomatic Design Approach to the Classification of Reverse Logistics Network Design Studies Under Fuzziness. *Supply Chain Management Under Fuzziness Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2014; Volume 313,, pp 639-654. Akc, Ali E, C, etinkaya S, Üster H. Network design for reverse and closed loop supply chains: an annotated bibliography of models and solution approaches. *Networks*; 53(3):231–48.
- Chanintrakul P, Coronado Mondragón AE, y Lalwani, C, (2009). . Reverse logistics network design: a state-of-the-art literature review. *Int J Bus Perform Supply Chain Model* 1(1):61–81.

- Sheriff M, Gunasekaran A, y Nachiappan, S. (2012) Reverse logistics network design: a review on strategic perspective. *Int J Logist Syst Manag*; 12(2):171–94.
- Govindan K, Soleimani H, y Kannan, D.(2015) Reverse logistics and closed-loop supply chain: a comprehensive review to explore the future. *Eur J Oper Res*; 240(3):603–26.
- Pokharel S y Mutha A. (2009) Perspectives in reverse logistics: a review. *Resour Conserv Recycl*; 53(4):175–82.
- Krapp M, Nebel J, y Sahamie, H. (2013) Forecasting product returns in closed-loop supply chains. *Int J Phys Distrib Logist Manag*; 43 (8):614–37.
- Rogers DS, Melamed B, y Lembke, (2012) RS. Modeling and analysis of reverse logistics. *J Bus Logist*; 33 (2):107–17.
- Sarah, A, Rajesh K. y Singh, (2015). A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*. (2015); 97, 76–92.
- Silva Rodríguez, J. D (2013). Diseño de un sistema de logística inversa para la recolección de envases y empaques vacíos de plaguicidas. En *Revista Ingeniería Industrial* año 12 N°1: 29-42.
- Millán Vega, R (2013). An application of routing models for PET pickup for recycling. *Proceedings of the Industrial and Systems Engineering Research Conference* A. Krishnamurthy and W.K.V. Chan, Eds.
- Olivera, A., 2004, Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos. <http://www.fing.edu.uy/inco/pedeciba/bibliote/reptec/TR0408.pdf>
- Taha, H. (2004) *Investigación de operaciones (Séptima Edición)*. Pearson. México.

- Bellini, F. (2004). Recuperado el 2 de Octubre de 2011, Investigación de Operaciones:” extraído de:
http://www.investigacion-operaciones.com/Metodologia_IO.htm
- Hillier F. y Lieberman, J. (2010) Introducción a la investigación de operaciones MC Graw Hill Interamericana 9ª ed, México.
- García, J., y Silva, J. Scribd. Recuperado el 2 de Octubre de 2011, De Administración de operaciones 1, etapas de la evolución de operaciones: <http://es.scribd.com/doc/39783853/Etapas-de-la-Investigacion-de-Operaciones>.
- Ballou, H., (2004). Logística razón de la cadena de suministro Pearson Editorial . 4ta ed. México.
- Aparajit, S. (2005). Demystifying VMI: Vendor Managed Inventory. PGDIE Class of 2005, NITIE, Mumbai: Fuente electronica http://www.coolavenues.com/know/ops/sarang_vmi_1.php3.
- https://www.invima.gov.co/images/pdf/tecnovigilancia/documentos-tecnicos/Normas_Farmacologicas.pdf
- MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución N° 4410 de 2009, Por el cual se expide el reglamento técnico que contienen el manual de buenas prácticas de manufactura de los gases medicinales. 17 de noviembre de 2009.
- MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL. RESOLUCIÓN 2400 DE 1979. MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL. 22 de mayo de 1979. Bogotá.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Norma Técnica Colombiana NTC 1671 "Cilindros de gas para uso médico. Marcado para la identificación". 26 noviembre 2008. Bogotá.

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS ICONTEC Norma Técnica Colombiana NTC 1672 " Cilindros de Gas para Uso Industrial. Marcado para identificación del contenido". Bogotá.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Norma Técnica Colombiana NTC 2699 "Inspección periódica y ensayo de cilindros de acero sin costura". 18 noviembre 2009. Bogotá.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS ICONTEC Norma Técnica Colombiana NTC 3392 "Inspección Periódica y mantenimiento de cilindros para acetileno disuelto". Bogotá.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS ICONTEC Norma Técnica Colombiana NTC 3423 "Conexiones de entrada y salida en cilindros con gases comprimidos". Bogotá.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS ICONTEC Norma Técnica Colombiana NTC 4584 "Llenado de cilindros de alta presión con gases industriales y medicinales no inflamables". Bogotá.