

71



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**APLICACION DE LA TEORIA DE RESTRICCIONES  
EN LOS PROCESOS FARMACEUTICOS**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**QUIMICA FARMACEUTICA BIOLOGA**  
P R E S E N T A :  
**ROSARIO LIVERA SABBAGH**



MEXICO, D. F.

2001

298398



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Jurado asignado:**

Presidente Prof. **ERNESTO PEREZ SANTANA**

Vocal Profra. **MARIA DEL SOCORRO ALPIZAR RAMOS**

Secretario Prof. **RAUL LUGO VILLEGAS**

1er. Suplente Prof. **JOSE JESUS ALVARADO PEREZ**

2º. Suplente Prof. **JOSE ALEJANDRO RAFAE VEGA SANCHEZ**

Sitio donde se desarrolló el tema:

**Bibliotecas de la Universidad Nacional Autónoma de México**

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
**RAUL LUGO VILLEGAS**

Sustentante:

  
\_\_\_\_\_  
**ROSARIO LIVERA SABBAGH**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi mamá y a mi papá por todo el apoyo y comprensión que me han dado, por guiarme en el camino de la vida con su amor y ejemplo.

A mi hermana Silvia quien siempre ha estado a mi lado para darme su apoyo incondicional en todo y por ser una excelente compañera y amiga.

A Alex por ser un gran amigo, escuchando y dándome consejos invaluable.

De manera especial a Joaquín Armando quien con su amor, comprensión y apoyo en todo momento me ha dado ánimo y fuerzas para seguir adelante.

A mis mejores amigos: Israel, Hugo, David, Juan, Luis, Arturo y Edgardo que siempre han estado conmigo compartiendo alegrías y tristezas.

A mis profesores de la Facultad de Química, en especial a Socorro Alpizar, Raúl Lugo, Rosa Lorenia, Arturo Rosales, Alicia y Marisol, quienes contribuyeron de manera muy importante en mi formación profesional.

A mis compañeros y amigos de la Facultad: Astrid S., Astrid G., Natalia S., Karla L., Miguel Ángel, Marco, Emma, Angie, Martha, Ivan, Edna, Gerson y Jorge.

A la familia Morales Hernández que me ha brindado su apoyo, amistad y confianza durante años.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi abuelita Cande por darme a mi mamá, por cuidarme y porque ha sido el ejemplo más grande de amor y cariño en mi vida.

**¡Muchas gracias!**

## INDICE

	<b>Pág.</b>
<b>Introducción</b> .....	1
<b>Objetivo</b> .....	3
<b>Capítulo I. La Teoría de Restricciones (TOC)</b> .....	4
Qué es y cuándo surge TOC.....	4
Raíces o bases de TOC.....	5
Evolución de TOC.....	6
Situaciones en las que se puede aplicar TOC.....	8
Partes de TOC.....	9
La meta de las Organizaciones.....	11
Indicadores.....	12
Parámetros convencionales.....	13
Parámetros de Throughput.....	14
<b>Capítulo II. Restricciones Políticas</b> .....	16
Procesos de pensamiento.....	16
Arbol de realidad actual.....	17
Nube.....	18
Arbol de realidad futura.....	19
Arbol de prerrequisitos.....	20
Arbol de transición.....	21
Ejemplo de Arbol de Realidad Actual.....	28
Ejemplo de Diagrama de Resolución de Conflictos.....	29
Ejemplo de Arbol de Realidad Futura.....	32
Ejemplo de Arbol de Prerrequisitos.....	35
Ejemplo de Arbol de Transición.....	36
<b>Capítulo III. Restricciones Físicas</b> .....	50
Los cinco pasos para enfocar.....	52
<b>Capítulo IV. Caso Práctico</b> .....	81
<b>Capítulo V. Conclusiones</b> .....	89
<b>Bibliografía</b> .....	91

## INTRODUCCIÓN

La teoría de restricciones (Theory of Constraints) es una filosofía administrativa que combina conceptos, principios y herramientas que pueden utilizarse para maximizar el desempeño de cualquier sistema. Fue creada por el Dr. Eliyahu M. Goldratt a finales de los años 1970's y es empleada generalmente para identificar, manejar y romper el factor limitante que restringe el desempeño de una organización, con el fin de mejorarla.

La teoría de restricciones (TOC<sup>1</sup>) estudia la causa y efecto de lo que nos rodea con el fin de entenderlo mejor y no solo funciona para remediar aisladamente problemas de producción, de distribución o de administración de proyectos. TOC fue desarrollada para administrar tanto los eslabones por separado como las ligaduras o uniones que hay entre cada eslabón y, por lo tanto, para administrar la cadena completa. TOC es una filosofía que permite que una empresa tenga buenos resultados de manera permanente.

La teoría de restricciones se compone de un conjunto de métodos sustentados en el sentido común y orientados hacia la mejora continua y se divide básicamente en tres partes.

---

<sup>1</sup> TOC son las siglas que utiliza la Teoría de Restricciones para simplificar el nombre de Theory of Constraints.



- **Procesos de pensamiento.** Son una serie de herramientas diseñadas para identificar dónde puede estar una restricción dentro de cualquier sistema complejo, qué hacer al respecto y cómo hacer que el sistema se desarrolle mejor.
- **Herramientas administrativas.** Son utilizadas para mejorar las habilidades gerenciales tales como la comunicación efectiva, trabajo en equipo, empowerment, soluciones ganar-ganar, entre otras.
- **Aplicación de la teoría de restricciones.** Soluciones innovadoras derivadas de la aplicación de los procesos de pensamiento y empleadas en varias áreas de una organización, ya sea en producción, distribución, ventas, administración de proyectos, finanzas, ingeniería, etc.

Utilizando los métodos de la teoría de restricciones, que se basan en el sentido común, podemos identificar mejor los problemas y darles una solución permitiendo una mejora en el sistema. Utilizando una serie de pasos de los procesos de pensamiento que combinan la causa-efecto, nuestra experiencia e intuición, adquirimos un conocimiento mejor de lo que nos rodea. Una vez que tenemos las herramientas para entender porqué pasan las cosas, podemos mejorar.

## **OBJETIVO**

Aplicar la Teoría de Restricciones como una excelente alternativa para el manejo de recursos de manufactura en la industria farmacéutica.

# Capítulo 1. La Teoría de Restricciones (TOC)

## Qué es y cuándo surge TOC

La teoría de restricciones (Theory of Constraints) es una filosofía administrativa que combina conceptos, principios y herramientas que pueden utilizarse para maximizar el desempeño de cualquier sistema. Fue creada por el Dr. Eliyahu M. Goldratt a finales de los años 1970's y es empleada generalmente para identificar, manejar y romper el factor limitante que restringe el desempeño de una organización, con el fin de mejorarla.

La teoría de restricciones (TOC) es el resultado del trabajo de Goldratt acerca de "cómo pensar": si sabemos cómo pensar entonces podemos entender mejor el mundo que nos rodea; y si entendemos nuestro entorno, entonces podemos mejorarlo.

En la década de los 1980's surgieron tres poderosos movimientos que prácticamente pusieron en entredicho todo lo que anteriormente había sido aceptado sin cuestionamiento alguno: TQM<sup>2</sup> (Total Quality Management), JIT<sup>3</sup> (Just In Time) y TOC (Theory of Constraints). Todos tuvieron sus modestos inicios en alguna técnica local, pero han evolucionado vertiginosamente.

---

<sup>2</sup> TQM. Total Quality Management que significa Administración de la Calidad Total.

<sup>3</sup> JIT son las siglas para Just in Time que significa Justo a Tiempo.

## **Raíces o bases de TOC**

Goldratt no inventó la lógica. La lógica clásica ha existido de forma estructurada desde los tiempos de Aristóteles, alrededor del año 300 a. c. Pero en los últimos 2300 años, la lógica ha estado en el dominio de filósofos y de la discusión intelectual. Desde los años 1950's, la lógica ha tenido una aplicación práctica en la construcción de programas computacionales. Sin embargo, estas aplicaciones no son consideradas la línea central de la lógica. Al hablar de lógica, la mayoría de la gente sigue pensando en términos del silogismo Aristotélico.

Goldratt probablemente será recordado por haber ideado un método efectivo para optimizar la producción manufacturera "tambor-amortiguador-cuerda" y por defender el cambio de la contabilidad de costos tradicional a la contabilidad de "throughput" para maximizar el aprovechamiento de la compañía. Pero la historia puede demostrar que su mayor contribución es hacer la lógica relativamente fácil de usar casi por cualquiera para mejorar la manera en la que la gente piensa.

La teoría de restricciones estudia la causa y efecto de lo que nos rodea con el fin de entenderlo mejor.

## **Evolución de TOC**

La evolución de cualquier teoría es generalmente un proceso inductivo, cuando se tiene más información, la teoría se redefine o modifica. La teoría de restricciones no ha sido diferente en este aspecto. Cuanto más aprendía Goldratt acerca de los sistemas de producción, más se daba cuenta que las restricciones de un sistema tenían sus raíces en políticas y no tanto en recursos físicos. Si existía una restricción física, generalmente era resultado de una política anticuada o que inadvertidamente causaba la restricción.

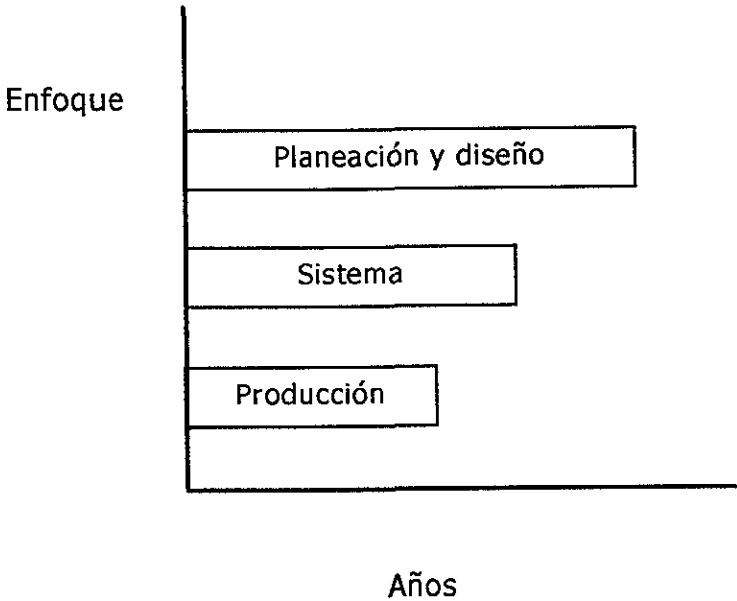
Goldratt empezó a aplicar sus ideas acerca de la teoría de restricciones a finales de los 1970's. En un principio la aplicó en la programación de la producción, después empezó a atacar los métodos de producción de costos y luego a las ventas. Actualmente TOC se enfoca más en la eliminación de las fricciones interpersonales.

Goldratt ha explicado ampliamente cómo identificar, explotar y romper las restricciones de producción en sus libros *La meta* y el *Síndrome del pajar*. Sin embargo, en ninguno de estos dos libros le dio mucha importancia a las restricciones de tipo político que pueden tener mayor influencia en el éxito del sistema que las restricciones físicas. A principios de los 1990's Goldratt comenzó a prestarle mayor atención a la identificación y ruptura de las restricciones políticas y no solamente a las restricciones orientadas a la producción. En el libro *No fue la*

*suerte*, secuela de *La meta*, Goldratt introduce "los procesos de pensamiento" que sirven para identificar y manejar las restricciones de tipo político.

Inicialmente se había percibido que lo que la teoría de restricciones abarcaba era demasiado estrecho, pero actualmente el enfoque principal de la teoría de restricciones no son los cuellos de botella que se dan en la fábrica. No se trata solamente de una técnica de producción mecánica optimizada, se trata de toda una nueva filosofía administrativa.

En 1997 Goldratt publica su libro *Cadena Crítica* que está enfocado a la planeación de ambientes donde se realizan multiproyectos. Es por lo anterior que Goldratt se enfoca cada vez más a soluciones globales más que puntuales.



## **Situaciones en las que se puede aplicar TOC**

Se tiene la percepción de que TOC solamente sirve para resolver problemas tácticos y urgentes, y no para definir el rumbo de las organizaciones a largo plazo. La teoría de restricciones no solo funciona para remediar aisladamente problemas de producción, de distribución o de administración de proyectos, TOC fue desarrollada para administrar tanto los eslabones por separado como las ligaduras o uniones que hay entre cada eslabón y, por lo tanto, para administrar la cadena completa. TOC es una filosofía que permite que una empresa tenga buenos resultados de manera permanente.

Si formamos parte de un sistema, cualquiera que éste sea, podemos adaptar los principios y conceptos de la teoría de restricciones para ayudarnos a alcanzar la meta de nuestro sistema ya que estos principios y conceptos se aplican igual a cualquier tipo de sistema específico.

## Partes de TOC

La teoría de restricciones se compone de un conjunto de métodos sustentados en el sentido común y orientados hacia la mejora continua. TOC se divide básicamente en tres partes.

- Procesos de pensamiento.

Son una serie de herramientas diseñadas para identificar dónde puede estar una restricción dentro de cualquier sistema complejo, qué hacer al respecto y cómo hacer que el sistema se desarrolle mejor. Con los procesos de pensamiento podemos responder lógicamente y sistemáticamente a tres preguntas esenciales de cualquier proceso de mejora continua: ¿qué cambiar?, ¿hacia qué cambiar? y ¿cómo causar el cambio?

- Herramientas administrativas.

Son utilizadas para mejorar las habilidades gerenciales tales como la comunicación efectiva, trabajo en equipo, empowerment<sup>4</sup>, soluciones ganar-ganar, entre otras.

---

<sup>4</sup> Empowerment es una palabra en inglés que significa delegar responsabilidades es decir, que designemos alguna o algunas de nuestras actividades a nuestros colaboradores confiando en que las realizarán con éxito.



- Aplicación de la teoría de restricciones.

Soluciones innovadoras derivadas de la aplicación de los procesos de pensamiento y empleadas en varias áreas de una organización, ya sea en producción, distribución, ventas, administración de proyectos, finanzas, ingeniería, etc.

TOC es una mezcla de tres diferentes adelantos pero que están relacionados entre sí:

- 1) TOC es en realidad una nueva filosofía administrativa. En los últimos diez años han surgido nuevas filosofías administrativas nuevas: TQM, JIT, reingeniería, etc. En un principio nadie estaba de acuerdo porque parecía que cada una de ellas tenía un enfoque diferente, confuso. Después de un tiempo, el punto de vista con respecto a estas nuevas filosofías cambia debido a su importante contribución y que además no están en contradicción entre sí; al contrario, en muchas formas se complementan.
- 2) La teoría de restricciones introduce métodos de investigación que son tomados de las ciencias exactas y adaptados para sistemas que contienen seres humanos y no solamente átomos y electrones. Éste adelanto es el más importante de los tres.
- 3) TOC es más conocida por este avance: su amplio espectro de aplicaciones.

## **La meta de las organizaciones**

Toda organización fue creada con un propósito. Si una organización fue creada con un propósito y las organizaciones están hechas de más de una persona, entonces debemos concluir que el propósito de la organización requiere el esfuerzo sincronizado de más de una persona. Si necesitamos los esfuerzos sincronizados, entonces la contribución de una sola persona al propósito de la organización depende fuertemente también del desempeño de los demás.

La meta de una organización manufacturera es ganar dinero ahora y en el futuro. Los medios para lograr esta meta son: compras a buen costo, empleo de buen personal, alta tecnología, realización de productos o servicios de calidad, así como la venta de los mismos, capturar participación del mercado, comunicación y satisfacción de sus clientes. Estos medios son esenciales para manejar un negocio con éxito y le permiten a la compañía ganar dinero.

Es un hecho que todas las compañías buscan mejorar su desempeño. Para lograrlo deben estar seguras de que los cambios que quieren llevar a cabo realmente van a tener como consecuencia una mejora sustancial y además, necesitan emprender *un proceso integral de mejora en toda la compañía que se mantenga a largo plazo.*

Utilizando los métodos de la teoría de restricciones, que se basan en el sentido común, podemos identificar mejor los problemas y darles una solución permitiendo una mejora en el sistema. Utilizando una serie de pasos de los procesos de pensamiento que combinan la causa-efecto, nuestra experiencia e intuición, adquirimos un conocimiento mejor de lo que nos rodea. Una vez que tenemos las herramientas para entender el porqué de las cosas, podemos mejorar.

## **Indicadores**

Los indicadores o mediciones son resultado directo de la meta elegida, no hay forma de seleccionar un conjunto de indicadores antes de haber definido la meta.

Si los inventarios no se han reducido y si la empresa no está vendiendo mas productos, entonces no se puede decir que ha aumentado la productividad.

*Cuando eres productivo, estás logrando algo con relación a la meta.* La productividad es la acción de acercar a la empresa a su meta. Las acciones que acercan a la empresa a su meta son productivas y las que no la acercan a su meta no son productivas. La productividad no tiene sentido alguno si no sabes cuál es la meta de la empresa.

## Parámetros convencionales

Los parámetros convencionales para saber si estamos ganando dinero son:

*La utilidad neta.* Es un parámetro absoluto que nos dice justamente cuánto hemos ganado.

La ecuación es: Utilidad neta = lo vendido – los gastos

*El retorno sobre la inversión (ROI).* Es un parámetro relativo que hace una comparación entre el dinero ganado, con relación al dinero invertido.

*Flujo de efectivo.* Si tenemos suficientes entradas de efectivo, el flujo de efectivo no importa pero, si no tienes suficientes entradas de efectivo, ninguna otra cosa importa.

La meta de la organización es ganar dinero por haber incrementado la utilidad neta, al tiempo que incrementamos el rendimiento sobre nuestra inversión y simultáneamente incrementamos el flujo de efectivo.

Los parámetros convencionales no se prestan muy bien a las operaciones cotidianas de una organización manufacturera.

Existen parámetros que expresan la meta de ganar dinero perfectamente bien, además permiten desarrollar reglas operativas para manejar la planta.

### **Parámetros de Throughput**

*Throughput.* Es la velocidad a la cual el sistema genera dinero a través de las ventas. Es el dinero que proviene del exterior. El throughput es el precio de venta menos la cantidad que se paga a los proveedores por aquellos artículos que entraron en el producto vendido, independientemente de cuándo hayamos comprado esas cosas. Además debemos de restar al precio de venta los servicios subcontratados, comisiones pagadas a los vendedores externos, derechos aduaneros, fletes y transporte. Todas estas cantidades son dinero que no es generado por nuestro sistema.

*Inventario.* Es todo el dinero que el sistema ha invertido en comprar cosas que pretende vender. Es el dinero que está dentro del sistema.

Cuando los almacenes de distribución de productos terminados están llenos, la compañía se encuentra a una gran distancia de sus clientes en cuanto a tiempo. Muchas compañías actualmente sirven a sus clientes a través de una distancia de

tres a seis meses de inventario de productos terminados en un mundo en el que el ciclo de vida de un producto es inferior a dos años.

*Gasto de operación.* Es todo el dinero que el sistema gasta en transformar el inventario en throughput. Es el dinero que tenemos que pagar para que ocurra el throughput.

El dinero pagado a los proveedores no es un gasto de operación, es un inventario. Al estarlos procesando para convertirlos en throughput, parte del material se desperdicia y esta porción desperdiciada tiene que ser eliminada del inventario y catalogada como gasto de operación.

Al comprar una máquina, el precio de compra es inventario. Conforme vamos utilizando la máquina, gradualmente vamos desgastándola, de manera que una porción de su valor debe, de vez en cuando, ser removida del inventario y colocada en gasto de operación. El mecanismo que logra esta tarea es la depreciación.

## **Capítulo II. Restricciones Políticas**

### **Procesos de pensamiento**

Los procesos de pensamiento son el núcleo fundamental de la teoría de restricciones que permiten construir y comunicar el sentido común. Te obligan a verbalizar tus corazonadas, permitiéndote liberar así tu intuición y la habilidad para verificarla. Si no tienes intuición, no habrá método que valga pero, si tienes intuición, puedes equivocarte todavía. La intuición es una condición necesaria para encontrar soluciones, pero dista mucho de ser suficiente. Tienes que tener un método para liberar, enfocar y criticar tu intuición si es que se desea llegar a soluciones prácticas y sencillas.

Originalmente los cinco pasos de los procesos de pensamiento se crearon como una herramienta para resolver problemas, identificar y romper restricciones de tipo político; se utilizaron como una secuencia de cinco herramientas, una tras otra, de principio a fin. Todavía tienen esta aplicación sin embargo, al ir evolucionando ha sido claro que cualquiera de los cinco procesos puede ser empleado como herramienta potencialmente valiosa, independientemente de los otros cuatro.

Existen tres habilidades fundamentales que se esperan de un ejecutivo: enfocarse en el problema nuclear, construir y verificar soluciones que realmente resuelvan todos los efectos negativos sin crear nuevos. Causar un cambio mayor sin crear resistencia, sino todo lo contrario. La determinación de las técnicas gerenciales debe provenir de la necesidad misma, del examen de cómo estoy operando actualmente y luego tratar de averiguar cómo debería operar. Los procesos de pensamiento le dieron a los gerentes de todos niveles una forma estructurada de contestar las tres preguntas necesarias para tener éxito: ¿Qué cambiar?, ¿Hacia qué cambiar?, ¿Cómo causar el cambio?

### **Arbol de realidad actual**

Es la primera de las cinco herramientas de los procesos de pensamiento y sirve para analizar la causa central de un problema. Se dice que si hemos definido bien un problema, ya hemos resuelto la mitad; si esto es verdad entonces el árbol de realidad actual es la etapa más importante del análisis de los procesos de pensamiento. Si desde el principio hemos definido mal el problema, entonces los esfuerzos que realicemos para resolverlo serán completamente inútiles. El árbol de realidad actual sirve para determinar *qué cambiar* mediante un análisis de causa-efecto. Muchos problemas tienen su origen en unas cuantas causas raíces, tal vez solo en una. En la mayoría de los casos no solo existe una sola causa de muchos



problemas, generalmente hay varias causas centrales en la base de un árbol de realidad actual que son la causa de muchos problemas (efectos indeseables<sup>5</sup>). En estos casos, es posible encontrar la causa central del mayor número de efectos indeseables (o los más importantes), y a esta causa central se le considera como el problema central. Desde la perspectiva de la teoría de restricciones, el problema central es generalmente la restricción del sistema y es lo que se necesita cambiar.

## **Nube**

También conocida como diagrama de solución de conflictos, ayuda a resolver o evaporar el conflicto. Frecuentemente se utiliza como una herramienta independiente, pero también puede utilizarse como parte del análisis de cinco etapas de los procesos de pensamiento. La nube está compuesta de seis elementos: un objetivo, dos requerimientos, dos prerrequisitos y una "inyección". El objetivo es común para ambas partes. Los requerimientos son *necesarios* para que ambas partes cumplan el objetivo en común pero no son suficientes por sí solos ni están necesariamente en conflicto uno con el otro. Los prerrequisitos constituyen lo que cada parte en conflicto *quiere* o cree que debe hacer para satisfacer el requerimiento al que está directamente conectado. La inyección es una idea que podemos aplicar a la situación actual para romper el conflicto, es un

---

<sup>5</sup> Los EIDES son efectos indeseables y son los problemas que no queremos que se presenten.

cambio de algún tipo; una inyección efectiva no causaría conflicto entre ninguno de los prerequisites. El propósito central de la nube es encontrarle al conflicto una solución de ganar-ganar. La nube nos da ideas de hacia qué cambiar.

### **Arbol de realidad futura**

Una buena idea tiene potencial de hacer cosas buenas, una inyección puede ser una buena idea, las cosas buenas que queremos hacer a partir de la inyección son efectos deseables. La tercera etapa de los procesos de pensamiento es el árbol de realidad futura cuyas intenciones son dos específicamente: 1) verificar que la inyección en realidad va a producir los efectos deseables y 2) identificar nuevos efectos indeseables que puede ocasionar la inyección, de esta manera podemos evitar que ocurran. El árbol de realidad futura empieza con la inyección o inyecciones generadas en la nube y verifica que la inyección realmente va a darnos los resultados deseados. Este árbol es como un mapa itinerario hacia el futuro, pero solamente es una herramienta para validar, no para implementar. Su función es probar, no producir. Nos ayuda a validar la efectividad de las ideas generadas en la nube antes de gastar tiempo, energía y recursos para implementarlas.

La rama negativa es un componente particular del árbol de realidad futura que merece atención especial por su utilidad independientemente del resto del árbol;

es una advertencia para que tomemos acciones preventivas a tiempo ya que en ocasiones la lógica de causa-efecto del árbol de realidad futura nos lleva a descubrir efectos indeseables que pueden ocurrir si llevamos a cabo nuestra idea generada en la nube.

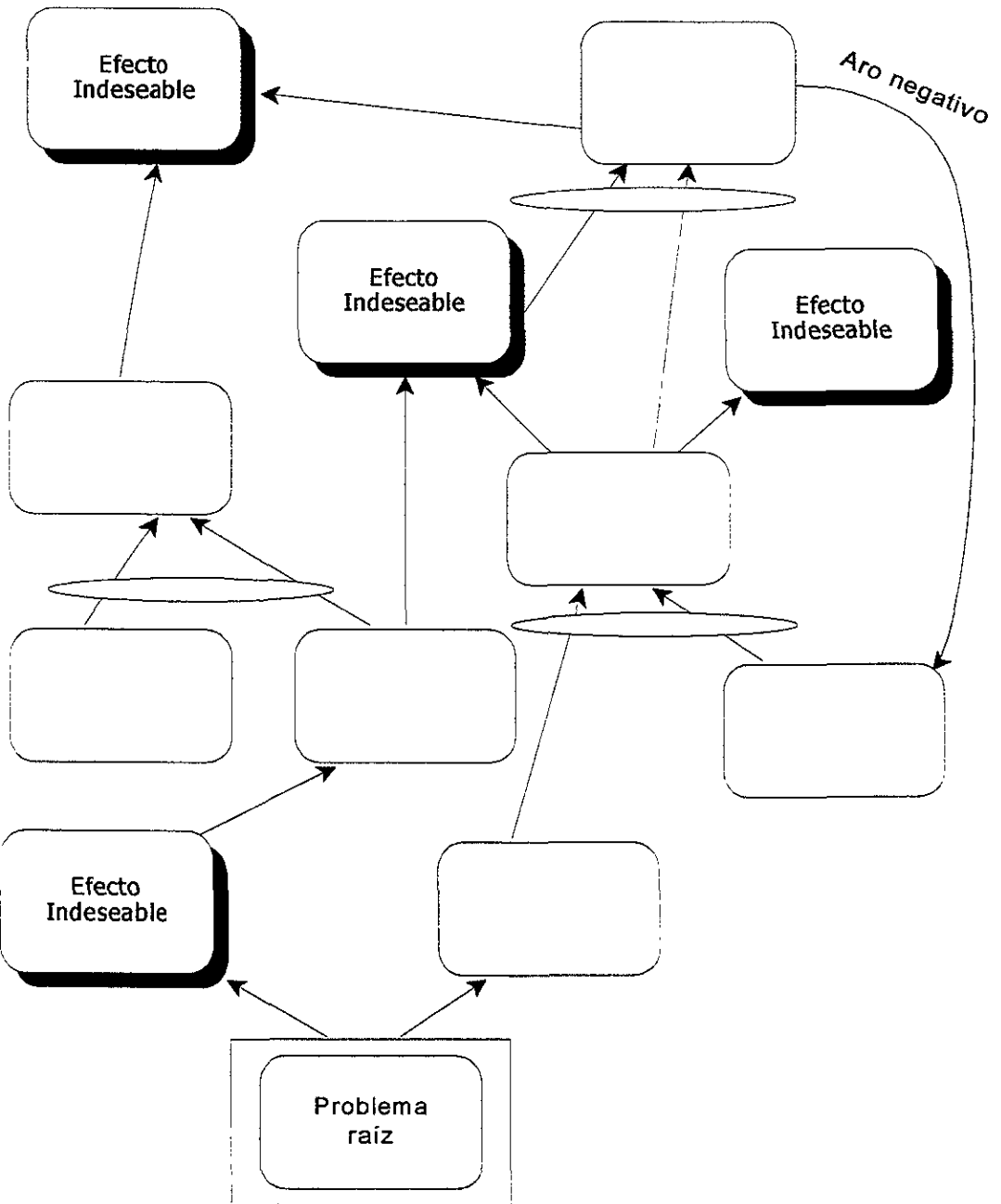
### **Arbol de prerrequisitos**

Las ideas por sí solas no son soluciones. Aunque tengamos las mejores ideas del mundo no sirven de mucho si no sabemos qué hacer para que ocurran. Aquí es donde entra el árbol de prerrequisitos que es la cuarta de las cinco etapas de análisis de los procesos de pensamiento, y la primer etapa de la fase de implementación (cómo causar el cambio). El propósito de éste árbol es identificar los factores que nos estorban o evitan que la idea se lleve a cabo y formas para superarlos. Esta herramienta no nos va a decir todo lo que necesitamos hacer, solamente nos dirá qué nos estorba. El árbol de prerrequisitos contesta dos preguntas críticas en la implementación de la idea: 1) qué obstáculos hay que superar y 2) en qué secuencia hay que superarlos. Con este árbol podemos darnos cuenta qué acciones podemos realizar en forma paralela y cuáles tienen que realizarse de forma secuencial; además sirve como esqueleto para formar el árbol de transición. Es la base para hacer paso a paso un plan de implantación.

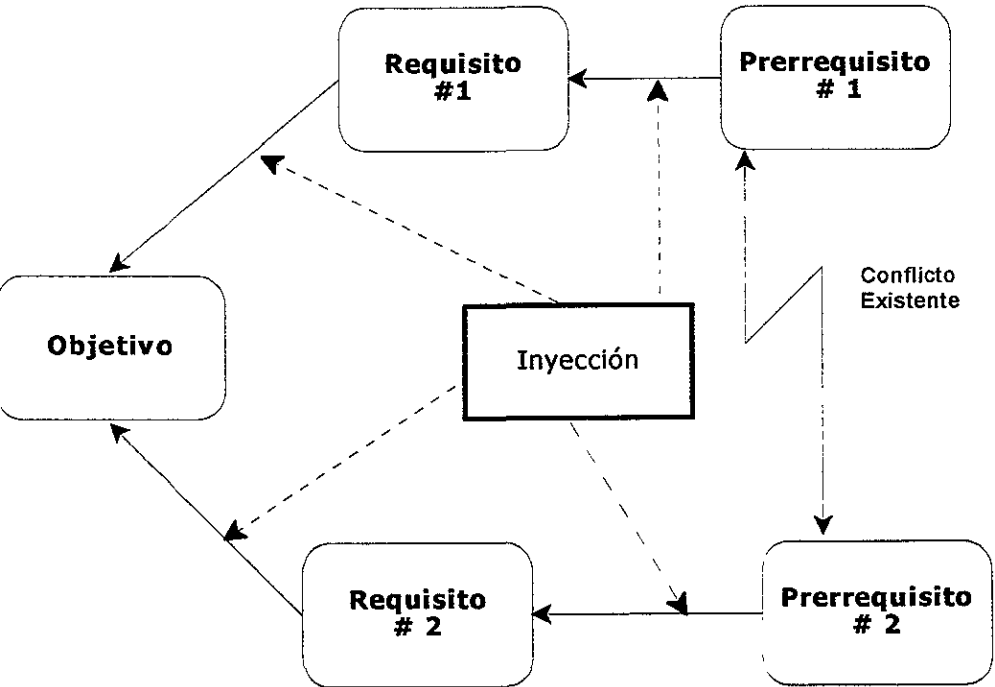
## **Arbol de transición**

Es la última de las cinco etapas de los procesos de pensamiento y el segundo de la fase de implementación. Con este árbol es posible desarrollar procedimientos de implementación paso a paso para cada persona involucrada en el cambio; además con él podemos comunicar claramente la necesidad de el o los cambios que queremos realizar para convencer a las personas de que el cambio es necesario. De esta forma vencemos la resistencia al cambio que es muchas veces la causa por la cual no podemos implementar los cambios deseados. El árbol de transición se compone de acciones, realidades, necesidades y efectos.

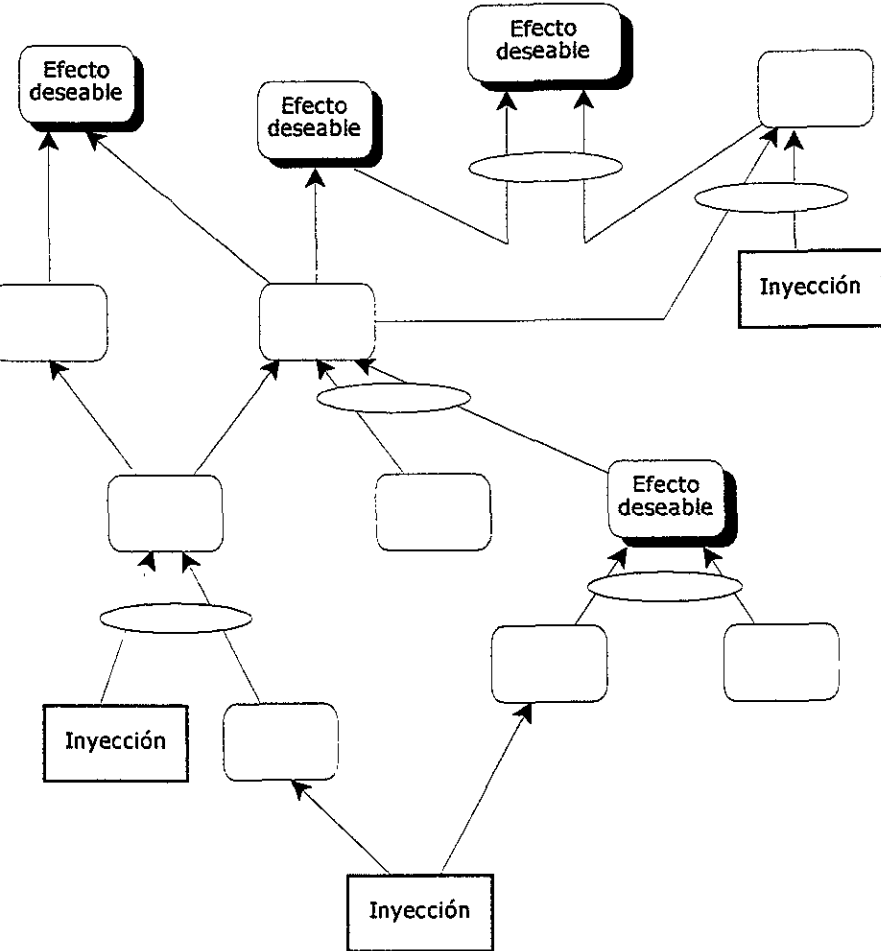
# Arbol de Realidad Actual



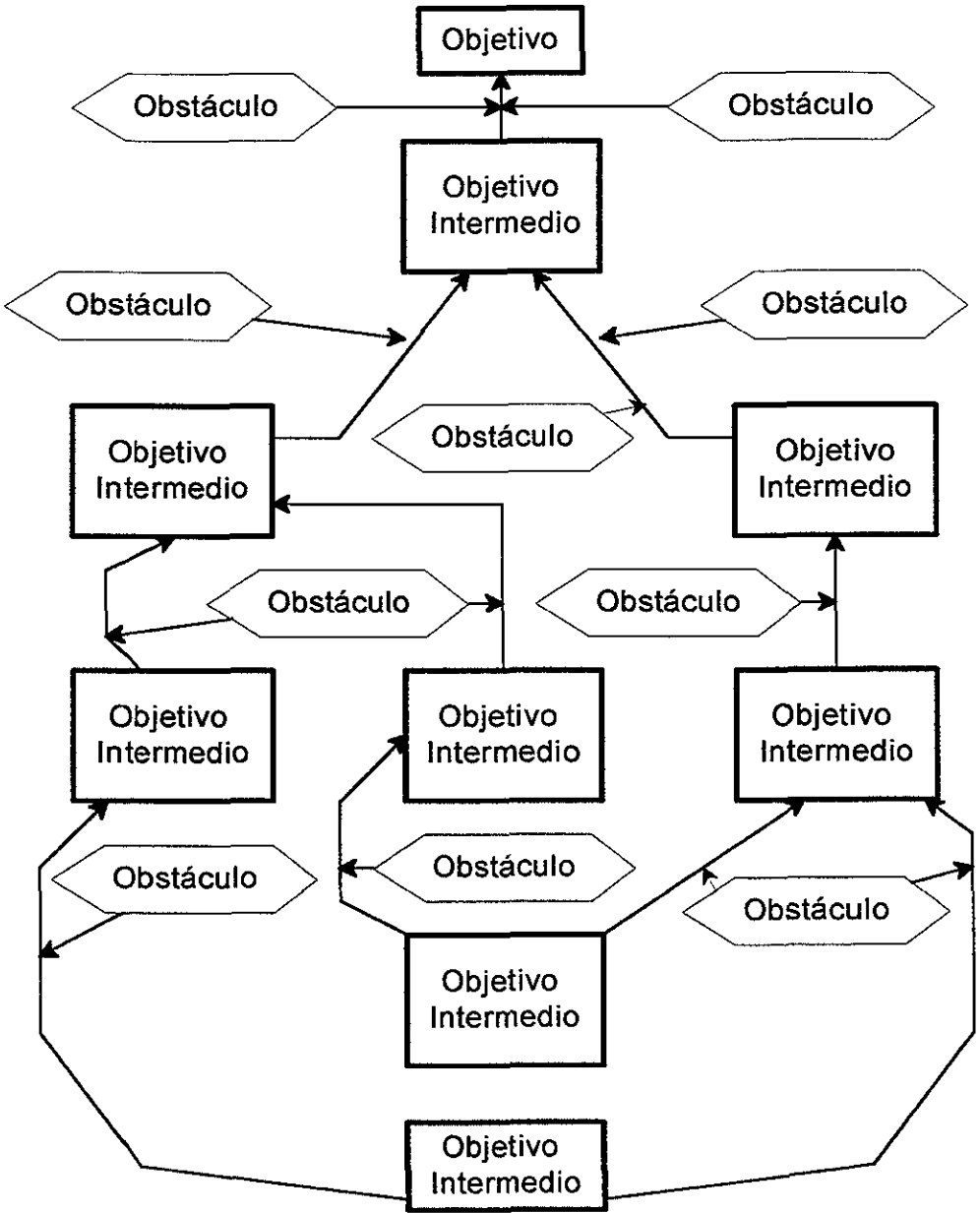
## Diagrama para Solución de Conflictos "Nube"



# Arbol de Realidad Futura

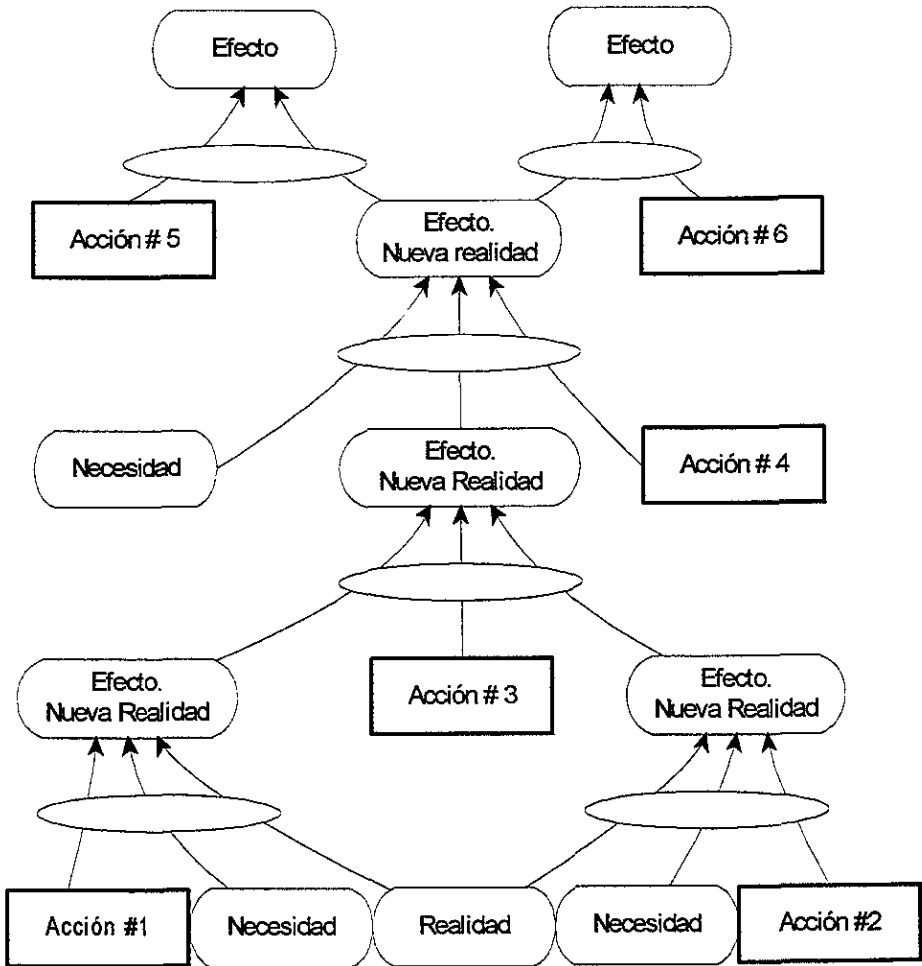


### Arbol de Prerrequisitos





## Arbol de Transición



### Análisis

Identificar el Problema Raíz. ¿Que cambiar? "Arbol de Realidad Presente".

Problema Actual

El opuesto al problema raíz se convierte en el objetivo del diagrama de resolución de conflictos ("nube").

### Estrategia

Encontrar una inyección para romper el conflicto. Proponer ideas para saber hacia que cambiar "evaporar la nube".

Los opuestos de los efectos indeseables se convierten en los objetivos del árbol.

La(s) inyección(es) para romper la nube se convierten en la(s) inyección(es) en la parte inferior del Arbol de Realidad Futura

Estudiar el efecto que tendrían nuestras ideas "Arbol de Realidad Futura"

Las inyecciones se convierten en el punto de partida del "Arbol de Prerrequisitos".

Determinar los objetivos intermedios para implementar la solución "Arbol de Prerrequisitos".

Los objetivos intermedios se convierten en los objetivos del "Arbol de Transición"

### Táctica

Desrrollo de un plan detallado de acción "Arbol de Transición"

Implantar

## Ejemplo de Arbol de Realidad Actual

La figura 1 es un ejemplo de un árbol de realidad actual que hace referencia a la saturación del sistema de emergencias "911" en áreas metropolitanas (solamente se muestran tres páginas). Los efectos indeseables, resaltados por una figura sombreada, indican causas con raíces más profundas. Los árboles de realidad actual se leen del inicio de la flecha hacia la cabeza, utilizando "si... entonces...". Por ejemplo, la conexión entre las entidades #103 y #106 se leen de la siguiente manera:

"**Si** el tiempo de respuesta del '911' es el principal criterio de éxito para muchos departamentos de policías, **entonces** la policía le da prioridad a todas las llamadas referidas por los operadores del '911'".

Es importante hacer notar que mientras estos efectos indeseables pueden ser verificables por evidencia cuantitativa (por ejemplo, el número de identidad 303, página 3), las causas raíz claramente no lo son, ni las interdependencias entre diferentes componentes del sistema (los operadores que reciben las llamadas, los policías que responden, el equipo de comunicación). Es importante hacer notar también que éste árbol de realidad actual tiene dos aros negativos, uno en la página 1 y el segundo en la página 3. Estos aros son particularmente malos porque agudizan muchas de las cosas indeseables que ocurren en esta situación.

En este árbol de realidad actual no hay un solo problema central. Algunas causas raíz que deberán ser atacadas de inmediato son la #102 en la página 1 y las 201, 203, 206 y 211 en la página 2. Éste es un ejemplo típico de un árbol de realidad actual con varias causas raíz que probablemente tengan que tratarse simultáneamente.

### **Ejemplo de Diagrama de Resolución de Conflictos**

La figura 2 es un ejemplo de diagrama de resolución de conflictos: en las negociaciones laborales, tanto el área de administración como el área de producción tienen un objetivo en común: la seguridad laboral. Ambos la quieren, pero cada uno piensa que deben hacerse diferentes cosas para lograr el objetivo. El problema está en que la solución propuesta por una parte está en conflicto con la solución propuesta por la otra parte.

Para alcanzar el objetivo en común se deben satisfacer dos requerimientos: obtener ganancias y realizar trabajo productivo. Estos son requerimientos porque cada uno es *necesario* para la seguridad laboral de cada uno de los lados en conflicto, aunque claramente *no son suficientes por sí solos*. Es importante notar

que estos requerimientos no están en conflicto uno con el otro, pero las acciones que cada parte siente que debe tomar pueden estarlo. En otras palabras, los fines no son el problema, pero los medios sí lo son.

Los "medios" en un diagrama de resolución de conflictos se representan por los prerequisites, que constituyen lo que cada lado *quiere* o cree que debe hacer para satisfacer el requerimiento al que está directamente conectado. El conflicto inevitablemente reside en el nivel de "querer" o una "necesidad". En el ejemplo, la administración siente que es necesario recortar el exceso de empleados para reducir costos y mantener ganancias. Los responsables del área de producción, en cambio, luchan por conservar a los empleados para que puedan realizar trabajo productivo, sin el cual sus propios empleos son inseguros también. El enunciado esencial del conflicto es "despedir gente o no despedirla".

La inyección en nuestro ejemplo es "encontrar otro trabajo (diferente al de la línea primaria de producción), para generar Throughput adicional con el exceso de capacidad de empleados". La característica principal de esta inyección es que constituye una solución de ganar para ambos lados. Este es, de hecho, el propósito del diagrama de resolución de conflictos: encontrarle al conflicto una solución de ganar-ganar.

Por ejemplo, supongamos que el cliente principal de una tienda de máquinas es una compañía de aeronaves, que reduce la demanda de un tipo de partes de máquina. Ahora los operadores que hacían esas partes tienen poco o nada que hacer, aunque otros empleados y equipo están ocupados. La administración puede decidir que se deben despedir a los operadores que están ociosos. Obviamente a los operadores no les agrada esta decisión. Una inyección que evitaría los despidos sería localizar nuevo trabajo que utilice solamente el equipo y los empleados que estén ociosos, por ejemplo: tallar cabezas metálicas para clubes de golf que serán exportadas a Japón y ensambladas allá. *Esta solución fue adoptada por Triton Engineering, Huntington Beach, California.* En este caso la inyección reemplaza el prerrequisito de "despedir gente" y satisface el requerimiento de "obtener ganancias". El prerrequisito de "no despedir gente" permanece en su lugar y ya no existe ningún conflicto entre el prerrequisito "viejo" y el "nuevo". Un beneficio adicional es que se retiene a la gente ya capacitada en caso de que sea necesaria en el futuro. Esto evita que se tenga que localizar y contratar gente capaz y responsable más adelante.

## **Ejemplo de Arbol de Realidad Futura**

A través de la historia han habido muchas llamadas "buenas ideas", pero con el tiempo se ha visto que "no son tan buenas" después de todo. En 1996, por ejemplo, America On Line (AOL), la compañía proveedora del servicio de internet más importante en los Estados Unidos de Norteamérica, decidió que sería una buena idea cambiar su estructura de precios. La administración de AOL pensó que sería una buena forma de hacer crecer su base de clientes aún más de lo que ya era (ocho millones de suscriptores). Su inyección para hacerlo fue cobrar \$19.95 (dólares) mensuales, por suscriptor, con tiempo ilimitado de acceso a la red de internet. Previamente AOL cobraba \$9.95 (dólares) por las primeras cinco horas de cualquier mes, y \$3.00 (dólares) por cada hora extra. La nueva tarifa se implantó el 1º de Diciembre de 1996.

A principios de Enero de 1997, AOL estaba en grandes problemas: era casi imposible que los suscriptores existentes se conectaran al sistema. Había muchas quejas. Algunos suscriptores se cambiaron a otras compañías, quienes aprovecharon la oportunidad para anunciar que ellos no estaban tan saturados como AOL. Los nuevos suscriptores, que contrataron los servicios de AOL en respuesta a la campaña de publicidad acerca de la nueva tarifa, se vieron frustrados y enojados cuando recibían la señal de "ocupado" en lugar de poderse conectar a la red. Lo que AOL no tomó en cuenta fue, en esencia, la combinación

de una restricción de la capacidad y la predisposición de la gente de tomarse su tiempo cuando están conectados a la red de internet cuando no están "en tiempo". Las 260 000 líneas telefónicas de AOL eran suficientes cuando las tarifas por hora hacían que las personas estuvieran conectadas a internet durante períodos cortos de tiempo; sin embargo, ese mismo número de líneas telefónicas era totalmente inadecuado para dar servicio a ocho millones de personas que se sentían libres de estar conectados a la red por un buen rato. El problema de acceso fue tan grande que los abogados de 36 estados demandaron a AOL por vender servicios que sabía que no podía dar y exigieron el reembolso del dinero de los clientes que no podían obtener acceso al servicio que habían pagado. Lo que parecía una buena idea resultó ser un desastre.

¿Cómo pudo pasar esto? Lo que AOL ignoró es que necesitaban verificar que la idea (tarifa mensual) les daría los resultados esperados. AOL pudo haberse beneficiado de un Arbol de Realidad Futura para validar su idea y el árbol pudo parecerse al de la Figura 3. De haber hecho el Arbol de Realidad Futura, AOL se hubiera percatado de que los efectos deseados no serían alcanzados de la manera en que ellos planearon su estrategia.

El Arbol de Realidad Futura de AOL muestra una Rama Negativa pronunciada que crece a partir de la capacidad limitada de atender las llamadas entrantes (entidad 208). La idea básica era prometedora, pero ignorar la Rama Negativa tuvo



consecuencias desastrosas. No solo el crecimiento de la Rama Negativa creó nuevos efectos devastadores, esencialmente evitó que AOL realizara los efectos deseados que buscaba en un principio. Si los administradores de AOL se hubieran percatado de la Rama Negativa, podían haber aplicado una "inyección para cortar la Rama Negativa": una decisión adicional o acción para prevenir el desastre antes de que empezara. La inyección pudo haber sido la siguiente: "instalar suficientes líneas telefónicas nuevas y modems *antes* de implantar la nueva tarifa", para atender las llamadas.

Los administradores de AOL planearon con anticipación un incremento en hardware de \$250 millones de dólares, pero no planearon que estuviera en operación *antes* de implantar la nueva tarifa. Como resultado de los desastres de operacionales, legales y públicos resultantes, AOL desesperadamente agregó \$100 millones más a la inversión total, pero el tiempo para adquirir e instalar el nuevo equipo atrasó el problema hasta finales de la primavera de 1997. Si los \$250 millones originales se hubieran invertido a mediados de 1996, la saturación del sistema nunca hubiera ocurrido y probablemente los \$100 millones no hubieran sido necesarios.

## **Ejemplo de Arbol de Prerrequisitos**

La figura 4 (p.1, p.2) es un ejemplo de un Arbol de Prerrequisitos típico. Muestra como America On Line pudo haber evitado los problemas que tuvo al implantar su nueva tarifa mensual. El objetivo principal (cambio exitoso a un plan de precios competitivo), se encuentra en la parte de arriba de la primera página. Las capas sucesivas de obstáculos y objetivos intermedios se enumeran secuencialmente hacia la parte inferior de la segunda página.

El Arbol de Prerrequisitos se lee de la parte de arriba hacia la parte de abajo (del lado contrario a la flecha), de la siguiente manera: "Para poder [bloque superior], debemos [bloque inferior], porque [obstáculo]." Por ejemplo:

"Para poder hacer que AOL tenga un cambio exitoso a un plan de precios competitivo (bloque 100), debemos implantar el cambio de tarifa (bloque 103), porque los suscriptores existentes no han cambiado a la nueva estructura de tarifas (bloque 101), y los nuevos suscriptores no han contratado los servicios de AOL (bloque 102)."

Es importante hacer notar que el árbol se divide en dos ramas justo debajo de la parte superior. La parte izquierda se refiere a las necesidades de hardware, mientras que la parte derecha se refiere a la campaña de publicidad. También es

importante notar que el cambio de tarifa no se implanta (entidad #103) hasta *después* de que están operando el nuevo hardware y teléfonos. Además la campaña publicitaria para la nueva tarifa no inicia hasta que se fija una fecha para la capacidad operacional (entidad #113). La mayoría de la segunda página está dedicada a identificar la demanda y requerimientos de líneas telefónicas y hardware.

Es claro que el Arbol de Prerrequisitos no muestra cada acción que se tiene que realizar; solamente resalta los obstáculos mayores que se presentan para poder lograr el objetivo y el orden en el cual deben resolverse. Muestra también que mientras los objetivos intermedios solos no son suficientes para lograr el objetivo mayor, éste no se puede alcanzar sin aquellos. Lo que el Arbol de Prerrequisitos nos da es la *base* sobre la cual podemos construir un plan de implementación paso a paso.

### **Ejemplo de Arbol de Transición**

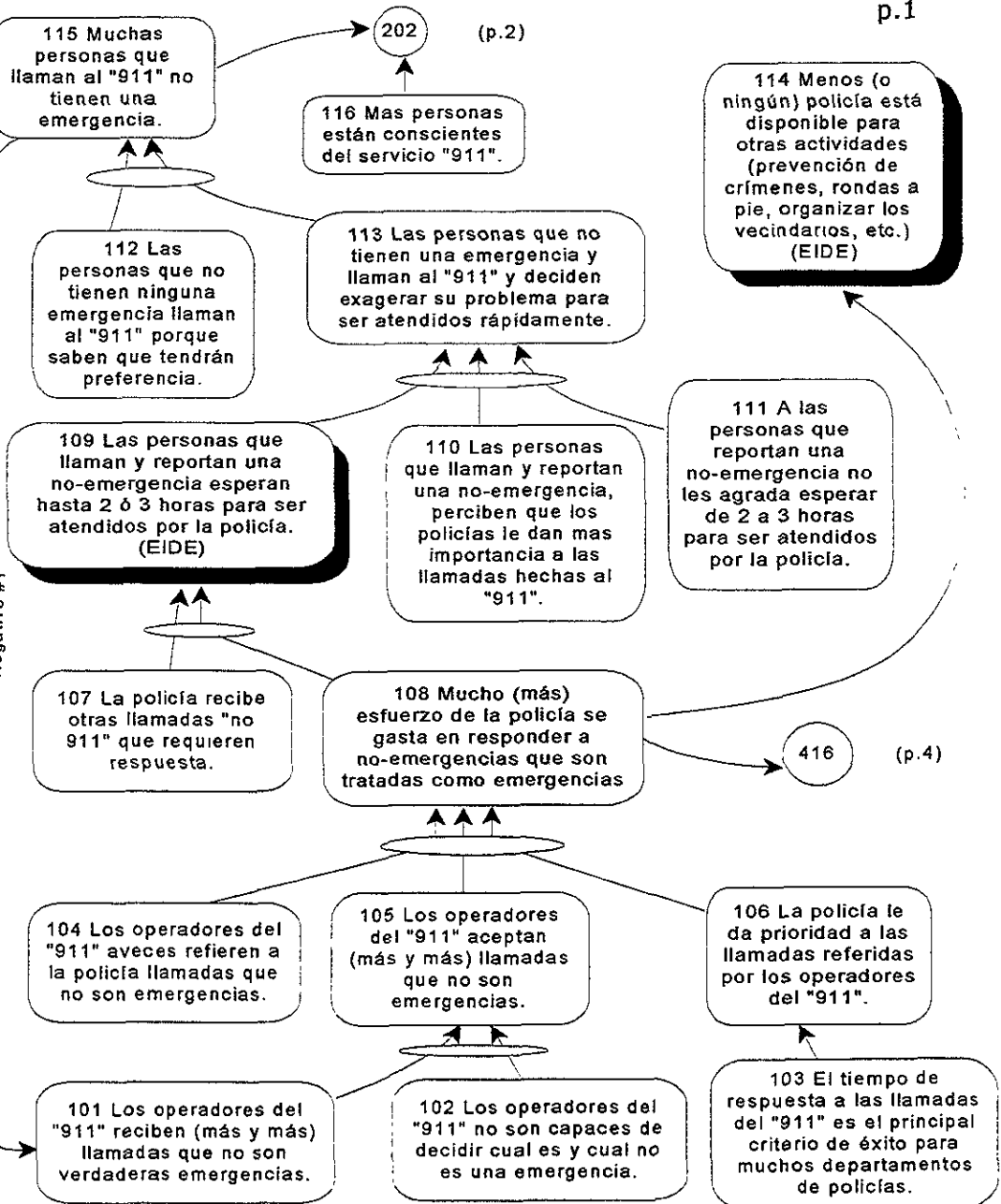
El Arbol de Transición está estructurado como un Arbol de Realidad Futura o como un Arbol de Realidad Actual, y se lee de la misma forma (por ejemplo, "*Si* [primera causa] y [segunda causa], *entonces* [efecto]."*"* Se construye de la parte inferior hacia la parte superior en capas horizontales definidas de causa y efecto,

organizadas en ramas verticales discretas. El Arbol de Transición está compuesto de *acciones, realidades, necesidades y efectos*. En el nivel inferior se combinan una realidad actual, una necesidad y una acción, para producir un efecto (el cual, entonces, se convierte en una "nueva" realidad).

La Figura 5 (p.1, p.2), es la continuación del ejemplo de America On Line. Solamente se muestran dos páginas del Arbol de Transición, pero el objetivo principal (el efecto mas alto del Arbol de Transición), sería el mismo que el objetivo del Arbol de Prerrequisitos: "AOL cambia exitosamente a una estructura de precios competitiva." Es importante notar que en la primera página el Arbol de Transición empieza con dos acciones simultáneas, cada una de las cuales es seguida por un efecto inmediato diferente. Aunque están marcadas como "Acción #1" y "Acción #2", no importa realmente cuál se realice primero, pero ambas deben completarse para producir los efectos (#104 y 105), que son necesarios para poder realizar la tercera acción. Es importante notar también que los efectos #104 y 105 son objetivos intermedios del Arbol de Prerrequisitos precedente.

Este Arbol de Prerrequisitos está de alguna manera "en forma libre"; es decir, a pesar del hecho de que las acciones, necesidades y realidades se repiten en capas sucesivas regulares y consistentes, el árbol no es perfectamente simétrico. No es necesario que lo sea. Debemos notar que en la primera página hay acciones en todos los niveles, pero en la segunda página las acciones están en niveles alternos.

Algunos efectos nos llevan directamente a otros efectos, sin necesidad de acciones adicionales. La cantidad de acciones que se necesitan entre niveles sucesivos de objetivos intermedios del Arbol de Prerrequisitos, varía dependiendo de cada situación individual. Es importante notar también, que en la parte superior de la primera página, el Arbol de Transición se divide en dos ramas separadas, pero relacionadas. Cada una de las ramas indica acciones que se pueden realizar de forma paralela en lugar de secuencialmente.



(Causa Raíz Clave)

Figura 1 a. "Por qué el sistema de notificación de emergencias '911' está en problemas"

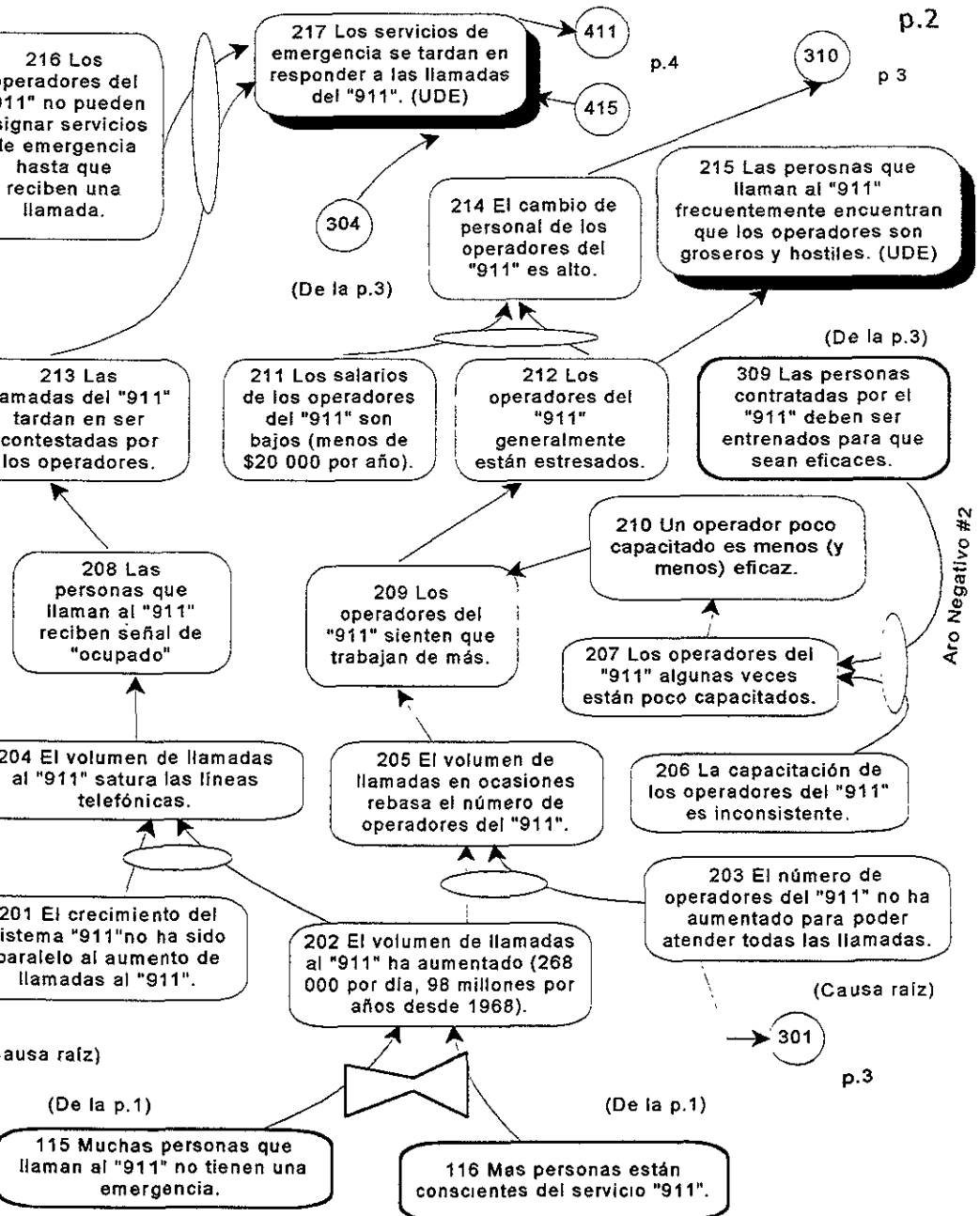


Figura 1b: "Por qué el sistema de notificación de emergencias está en problemas" (Continuación).

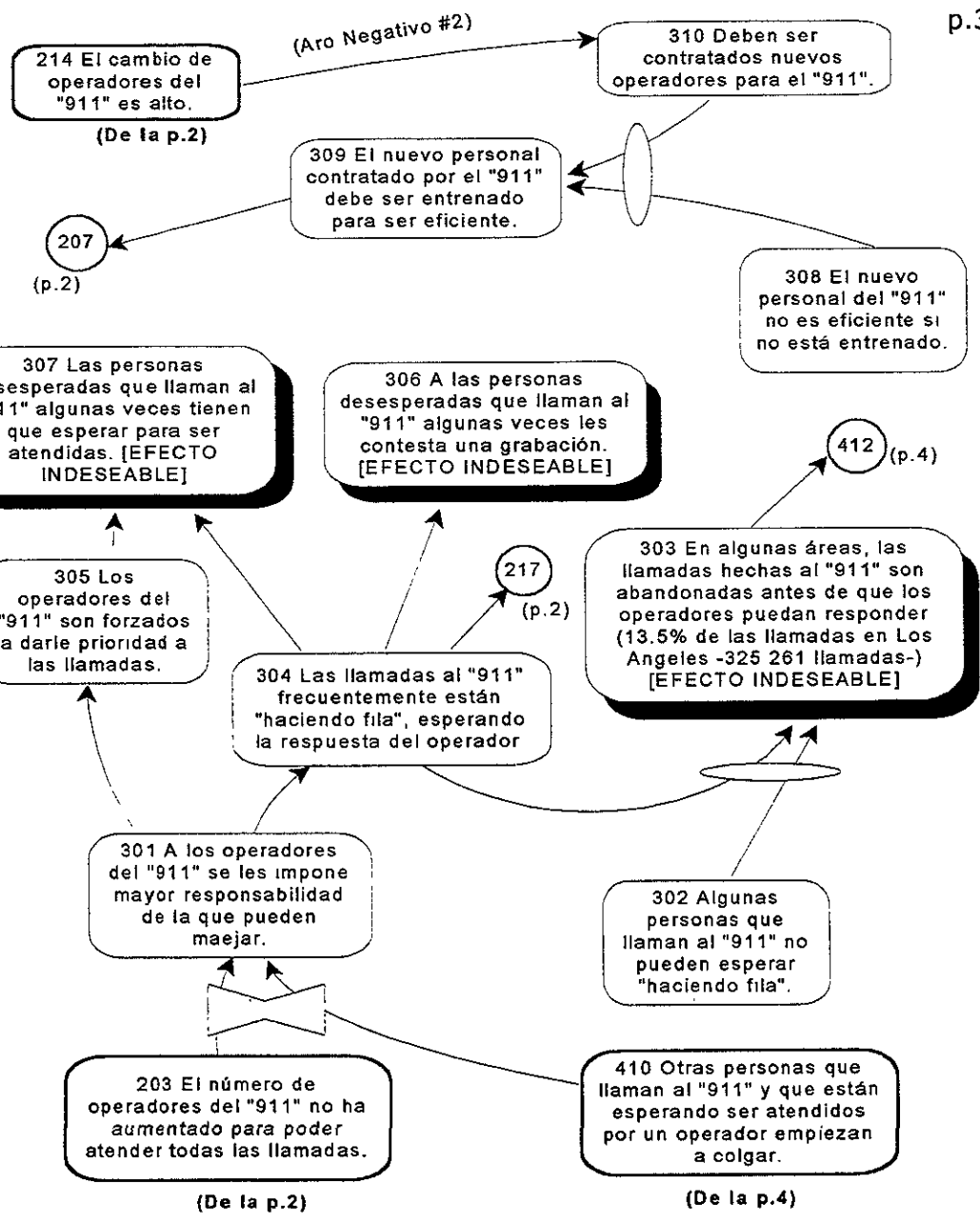


Figura 1c. "Por qué el sistema de notificación de emergencias '911' está en problemas". (Continuación)



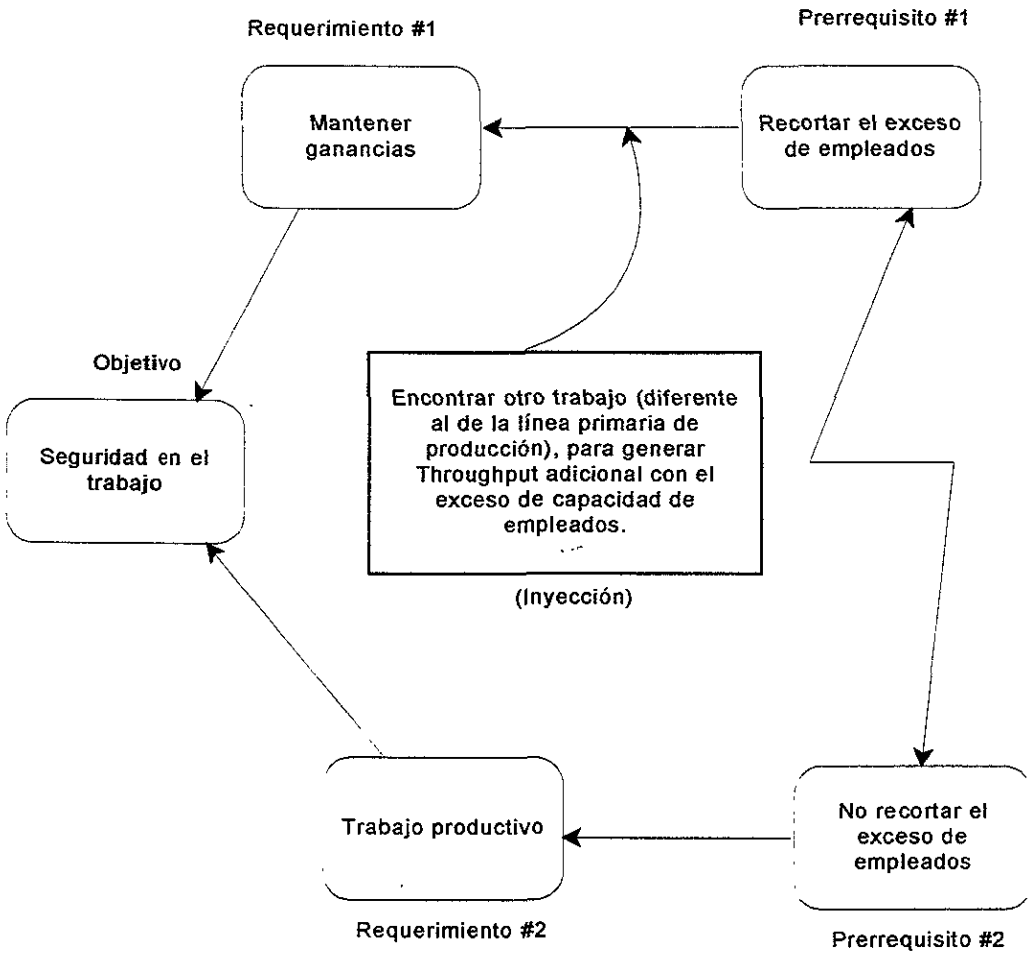


Figura 2. Diagrama de Resolución de Conflictos.  
 "¿Despedir empleados o no despedir empleados?"

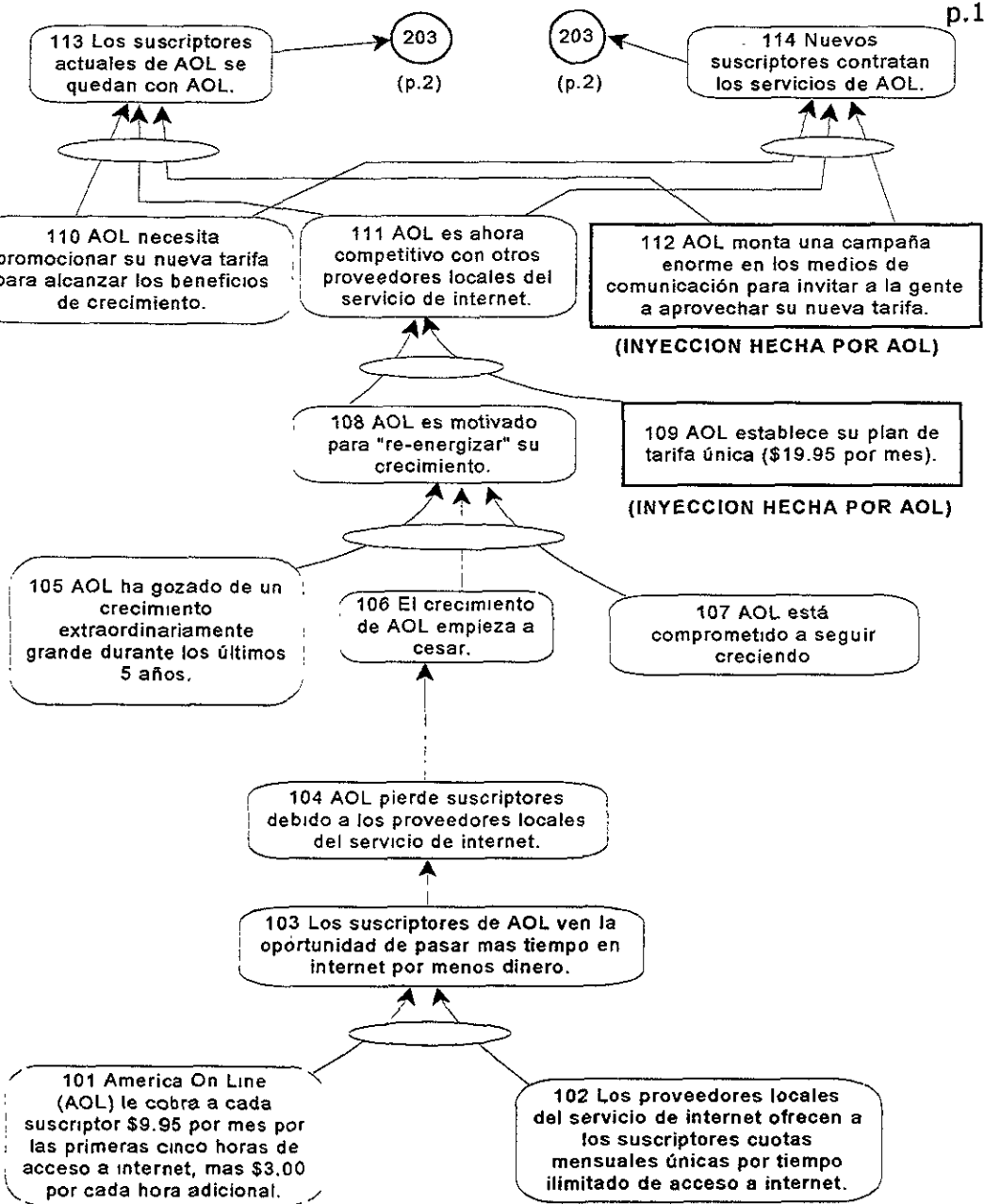
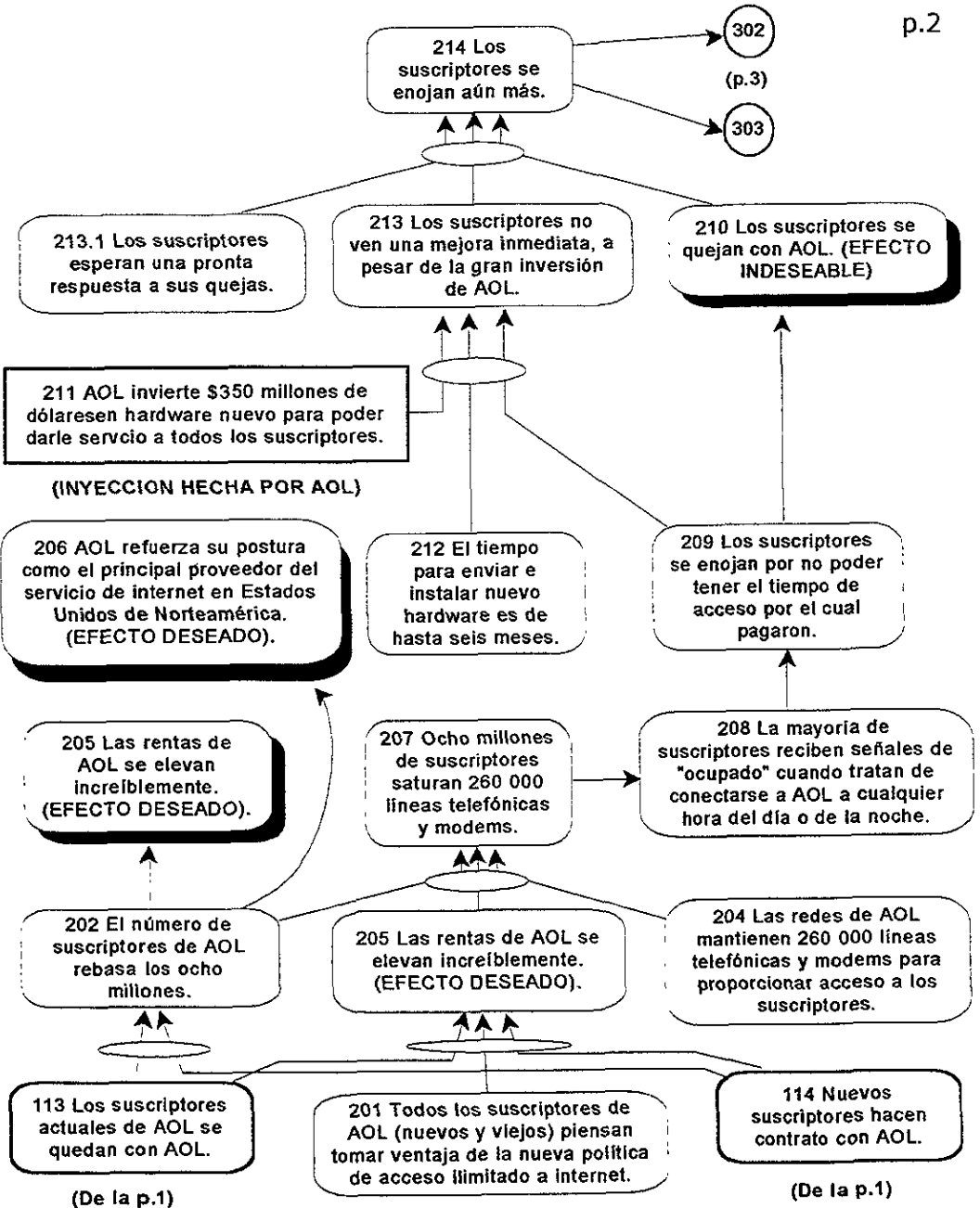
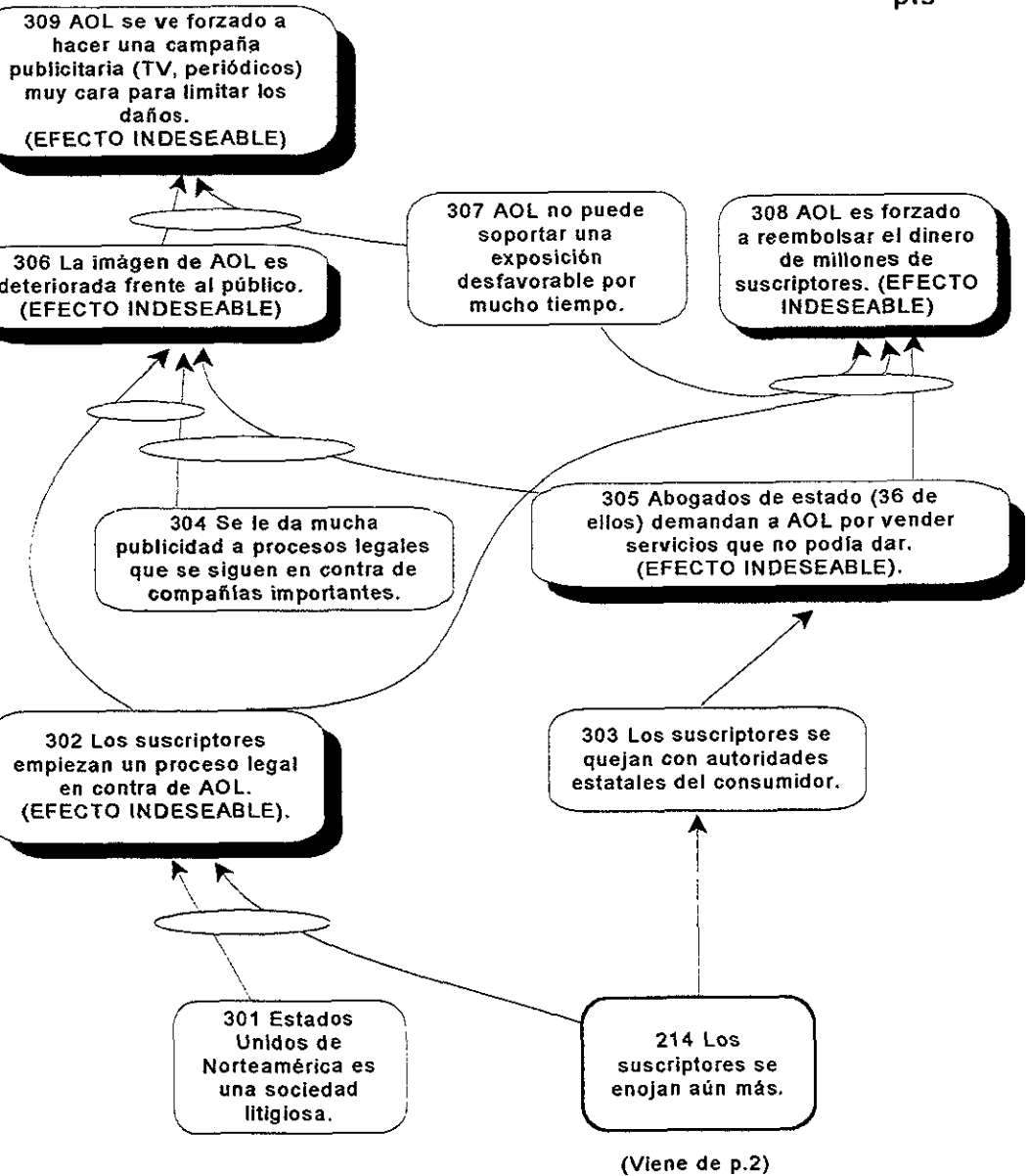


Figura 3a. Arbol de Realidad Futura "Todas las líneas están ocupadas..."



**Figura 3b. Arbol de Realidad Futura.**  
**"Todas las líneas están ocupadas" (Continuación).**



**Figura 3c. Arbol de Realidad Futura.  
"Todas las líneas están ocupadas" (Continuación).**

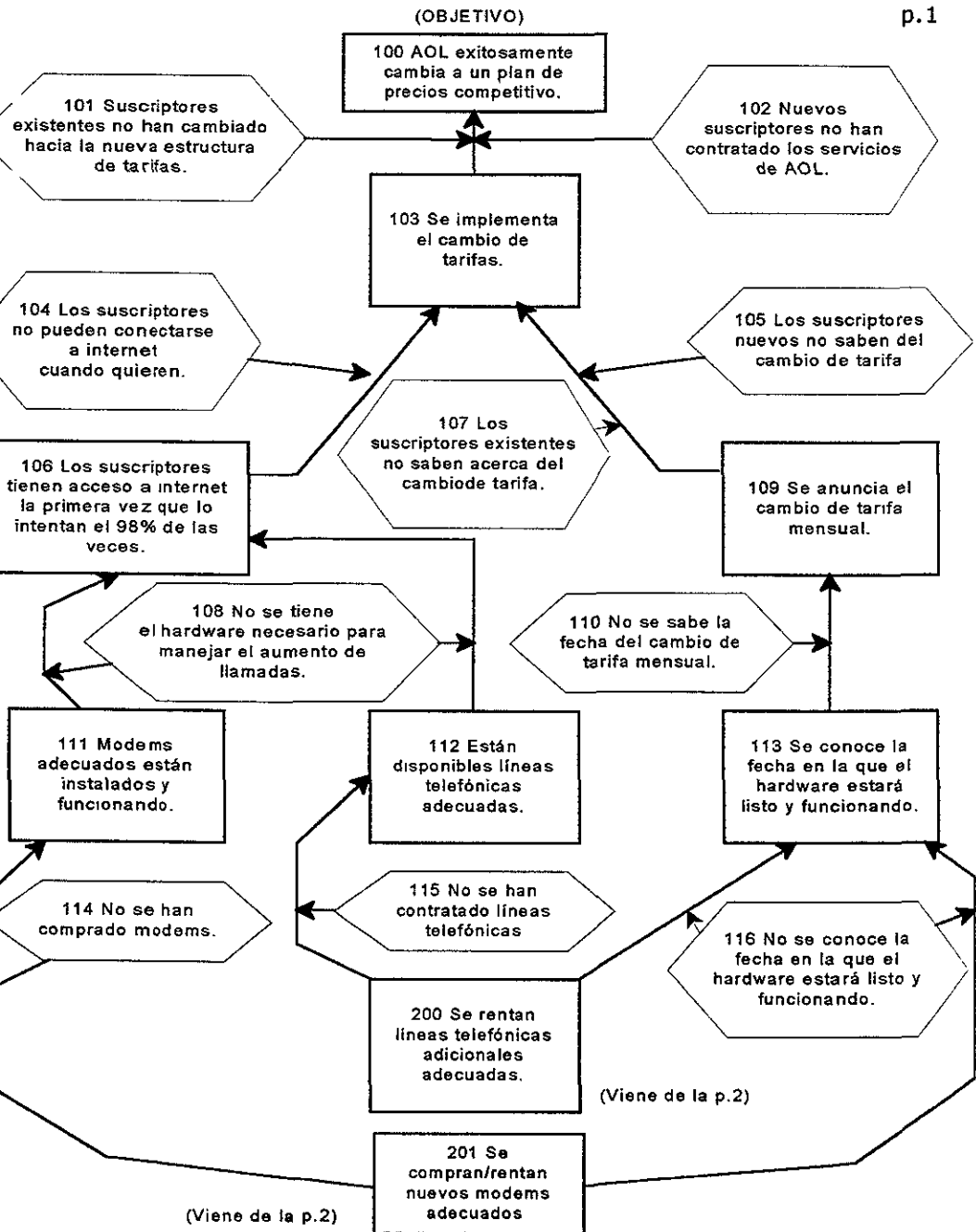


Figura 4a. Implementación de la nueva tarifa mensual de AOL.

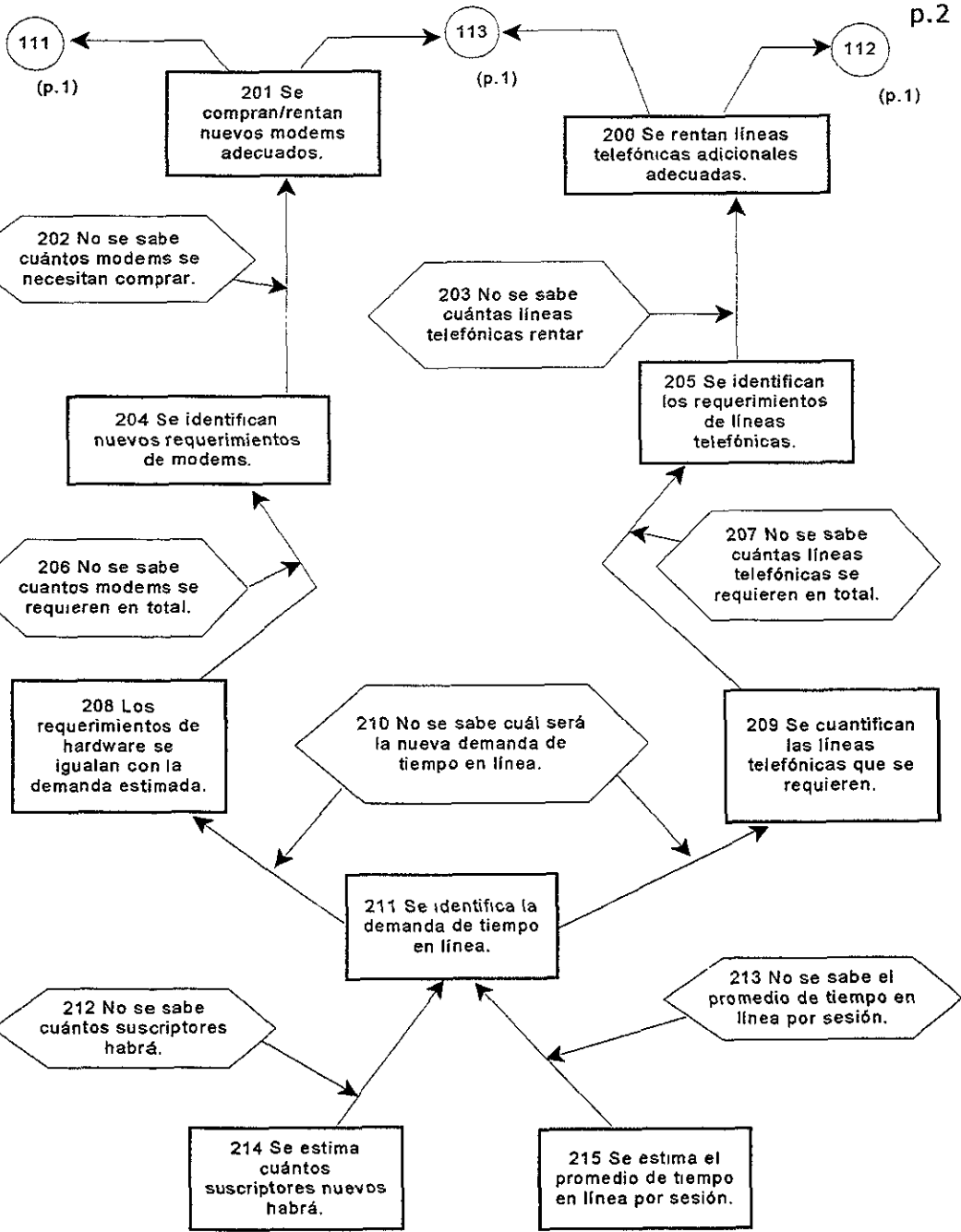


Figura 4b. Implementación de la nueva tarifa mensual de AOL.

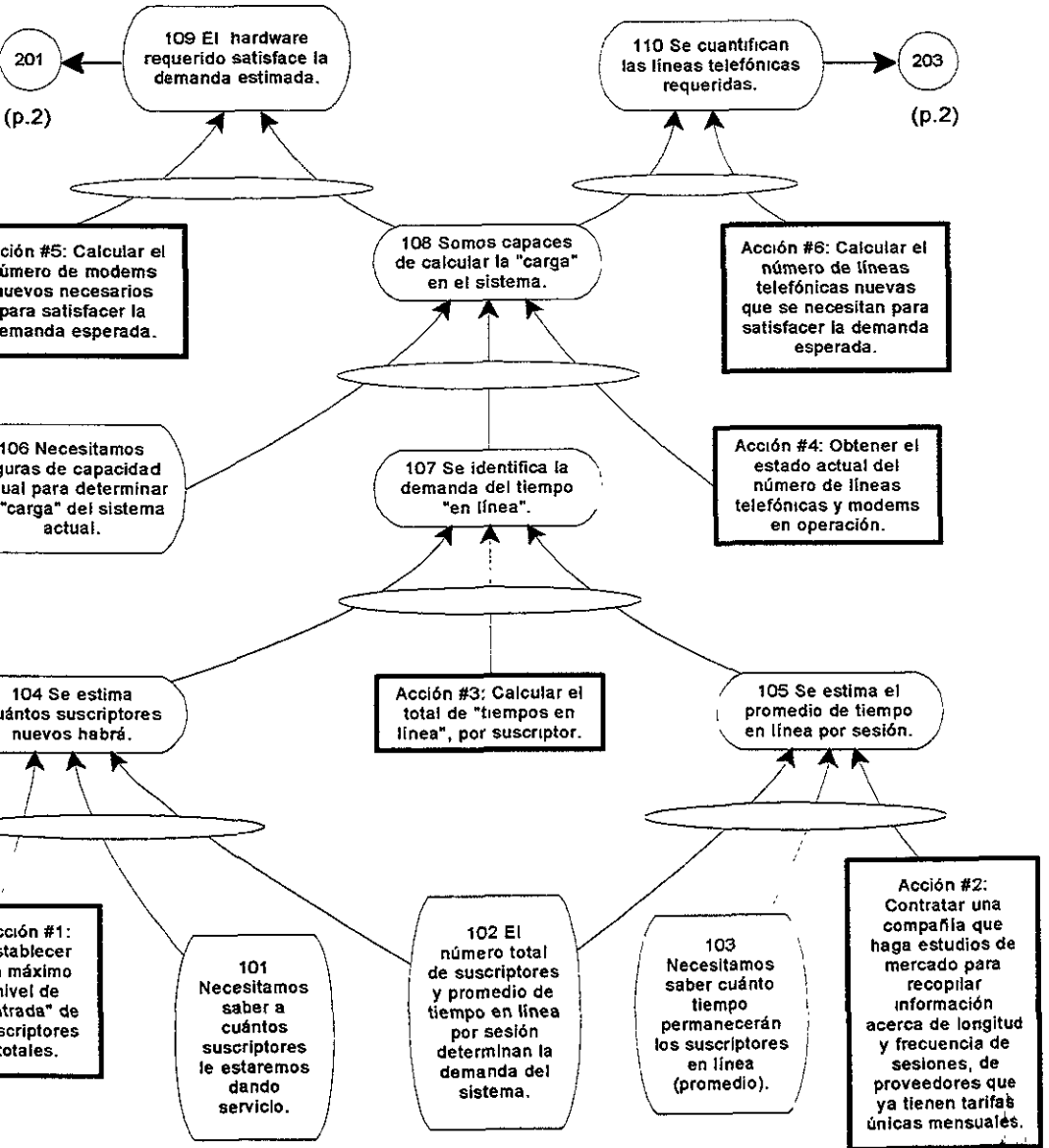
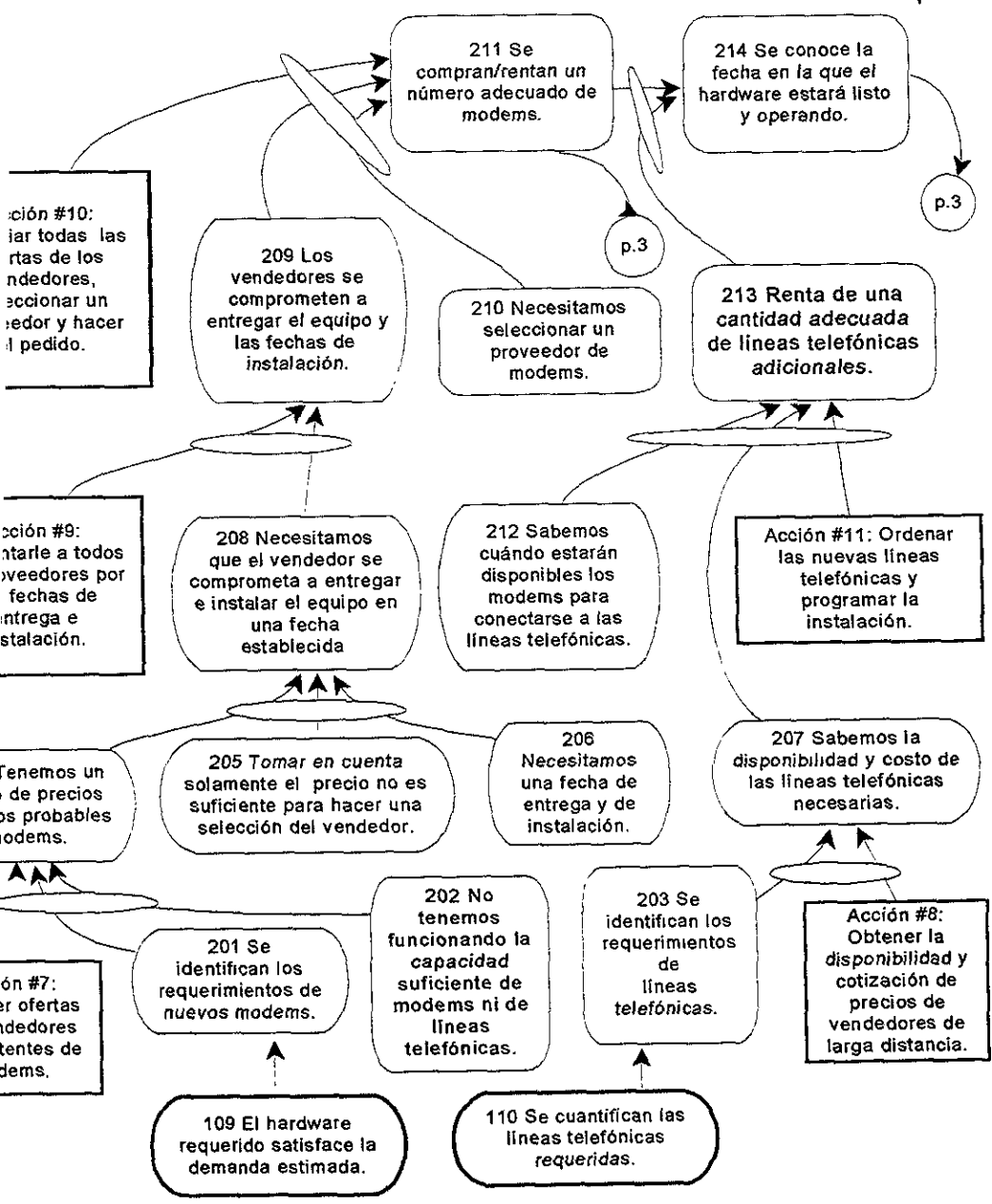


Figura 5a. Arbol de Transición. AOL evitá el desastre.



**Figura 5b. Arbol de Transición.**  
**AOL evita el desastre. (Continuación).**



### **Capítulo III. RESTRICCIONES FISICAS**

En la industria manufacturera, los principales problemas que surgen para poder lograr la meta que, como ya se mencionó anteriormente es ganar dinero, son por ejemplo que los inventarios son muy altos ya que para cumplir con las exigencias de altas eficiencias, se mantiene a toda la gente y a todas las máquinas trabajando todo el tiempo, aún cuando las piezas que están siendo procesadas no sean requeridas para algún pedido. Otro problema es que escasean piezas que se requieren para poder surtir algún pedido y esto puede deberse a que tienen que ser procesadas por alguna máquina que siempre está ocupada en piezas que se necesitan para otros pedidos; como consecuencia de estos problemas no se surten los pedidos a tiempo.

Para poder alcanzar la meta deben realizarse varias actividades, una de ellas es comprar materia prima al mejor precio posible y la obtención de materiales con mayor costo.

Otra actividad que lleva a cabo cualquier empresa es la de emplear a personas; la gente constituye el activo más importante de la empresa, ésta no podría funcionar sin un buen personal de diversas habilidades y profesiones.

La empresa manufacturera debe fabricar productos que cumplan con normas de calidad y los requerimientos del cliente, de otra manera éste se perderá. Por esta razón la calidad es un factor determinante en la operación y generación del beneficio económico necesario para la permanencia y desarrollo de la empresa.

El bajo costo de producción, ganarle a la competencia, penetración en el mercado y la disminución del tiempo de desarrollo de nuevos productos son otros problemas esenciales que debe afrontar una empresa manufacturera para acercarse a la meta.

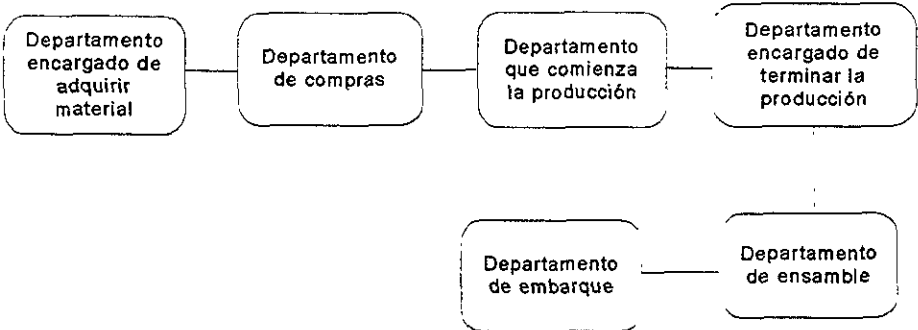
Salvo raras excepciones, las organizaciones actualmente están estructuradas de forma que cada una de las diferentes partes (cada departamento, centro de costos, unidad de negocios, etc.), es inducido a operar casi exclusivamente como una identidad independiente. Cada parte se maneja o administra de acuerdo a sus propios planes estratégicos y tácticos, su propio presupuesto y planes para utilizarlo, sus propias políticas, parámetros de medición y/o procedimientos, muchos de éstos creados aisladamente sin tomar en cuenta el impacto que tienen en otras partes de la organización como un todo. Por lo que no es raro encontrar partes de la organización en conflicto unas con otras, proyectos de mejoramiento que raramente alcanzan los beneficios para los cuales fueron elaboradas, organizaciones desencantadas con la delegación de su gente y gastando enormes cantidades de recursos financieros enseñando a sus empleados cómo resolver

o

conflictos, con poco impacto. Mientras las organizaciones continúen manifestándose como si estuvieran compuestas de partes independientes, cada una tomando su propia dirección e ignorando su conexión inherente a un todo, las organizaciones no serán efectivas para resolver sus conflictos ni obtendrán resultados óptimos de sus objetivos, no importando como los midan, ya sea en dólares, educación, cuidado de la salud, etc.

### LOS CINCO PASOS PARA ENFOCAR

Si vemos a una compañía manufacturera como un todo, como una cadena física, cada eslabón tiene su propio peso y el peso total de toda la organización es la suma del peso de todos y cada uno de los eslabones de la cadena.



Para proteger el throughput de la compañía, se debe tomar en cuenta cada eslabón de la cadena pero también cada una de las uniones entre uno y otro eslabón ya que las uniones son también importantes. Si se quitan todas las uniones, quedan los eslabones, el peso es el mismo pero lo que tipifica a la cadena es la fuerza de la unión entre los eslabones; si una unión se rompe, la cadena entera se rompe y la fuerza de la cadena cae a cero. Es importante hacer notar que lo que determina la fuerza de la cadena no es el eslabón más fuerte, al contrario es el eslabón más débil el que determina la fuerza de la cadena.

Esto implica que una persona encargada de un departamento que no es el eslabón más débil, cuando se le dice que mejore, quiere decir que mejore la fuerza. Si ésta persona hace tres veces más fuerte el eslabón, en realidad no nos interesa porque no es el eslabón más débil, nos interesa la cadena completa. Dicho de otra manera, la mayoría de las mejoras locales no contribuyen a una mejora global es decir, una mejora en toda la organización.

Si se quiere hacer más fuerte la cadena, primero se debe encontrar el eslabón más débil, así el primer paso para enfocar es:

1.- *Identificar* la(s) restriccion(es) del sistema. Esto es, identificar los cuellos de botella del sistema.

Esto lo podemos realizar investigando qué parte(s) escasean con mayor frecuencia y qué recurso es el que las procesa.

2.- Decidir cómo *explotar* las restricciones del sistema es decir, cómo explotar los cuellos de botella.

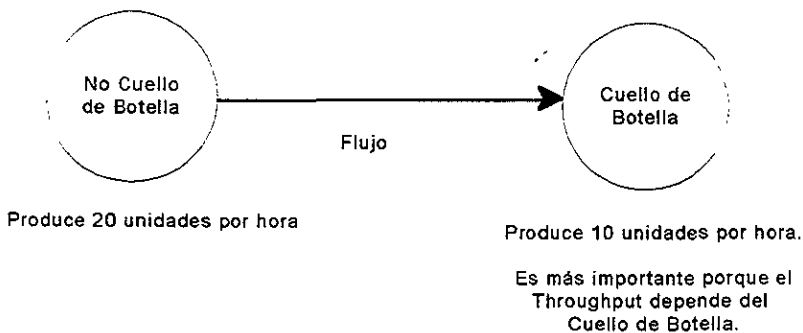
El siguiente paso es hacer más fuerte la restricción. Hay dos casos diferentes: el primero es el caso donde la restricción es física, como un cuello de botella, en este caso hacer más fuerte el eslabón más débil significa ayudar al cuello de botella a hacer más, aprovechando al máximo la capacidad que ya se tiene, por ejemplo: no permitir que se procesen partes defectuosas en el cuello de botella; hacer pasar por el cuello de botella las partes estrictamente necesarias para surtir un pedido actual y no partes que serán utilizadas en un pedido futuro ya que cualquier cosa que no esté dentro de la demanda actual se acumula como inventario; o buscar maquinadores con equipo adecuado para descargar el cuello de botella.

En el segundo caso se encuentra que la restricción es una política errónea y para a hacer más fuerte la restricción se debe reemplazar la política.

El siguiente paso es asegurarse que todo marche al son que tocan las restricciones, es decir:

3.- *Subordinar* todo lo demás a la decisión del paso anterior.

Si un no-cuello de botella puede producir 20 unidades por hora y el cuello de botella solo puede producir 10 unidades por hora, el no-cuello de botella solo debe producir lo que requiere el cuello de botella. Esto es subordinar todo a la decisión anterior. No tiene caso hacer más unidades de un no-cuello de botella si el cuello



de botella solo puede procesar menos porque se acumula inventario frente al cuello de botella, aumentando los costos de manejo de inventario.

El siguiente paso es:

4.- *Elevar* la(s) restriccion(es) del sistema. Elevar los cuellos de botella del sistema y para tener más throughput se deben comprar más máquinas o contratar más gente y regresar a procedimientos viejos "menos efectivos".

Una vez que la restricción se hace más fuerte, toda la cadena se hace más fuerte. Si seguimos ayudando al cuello de botella a producir más, toda la cadena se hace aún más fuerte, pero llega un momento en el que aunque queramos hacer la restricción más fuerte no pasará nada porque lo que antes era el eslabón más débil ya no lo es. Se debe evitar la inercia, regresando al paso 1.



-Si la Restricción se hace más fuerte, toda la cadena se hace más fuerte.  
-Si la hacemos aún más fuerte, toda la cadena se hace más fuerte.  
-Aunque queramos hacer la restricción más fuerte, no pasa nada.

Advertencia:

5.- Si en los pasos anteriores se ha roto alguna restricción, regresar al paso 1, pero no permitir que la *inercia* sea la causa de restricciones en el sistema.

Siempre que se rompe una restricción, cambian las condiciones, al grado que se vuelve muy peligroso extrapolar con base en el pasado. De hecho, aún las cosas que se hayan hecho para elevar la restricción deberán ser reexaminadas.

Este es el proceso para enfocar en el mundo del Throughput y son los pasos de un proceso de mejora continua. En el mundo del Throughput enfocar y el proceso de mejora continua no son diferentes cosas, son una misma.

En una planta manufacturera existen dos tipos de recursos que son:

- 1) Los recursos tipo cuello de botella. Son el tipo de recursos cuya capacidad es igual o menor a la demanda que hay de él.
- 2) Los recursos no cuello de botella. Son los recursos cuya capacidad es mayor a la demanda que hay de él.

Los cuellos de botella no son necesariamente buenos ni malos, son simplemente una realidad, y las partes que escasean con mayor frecuencia probablemente son las que tienen que pasar por un cuello de botella. Además si existe un cuello de botella, seguramente existe una enorme cantidad de productos en proceso frente a él.

Debe asegurarse que el cuello de botella trabaje únicamente con partes buenas y el por ciento de unidades defectuosas sea el mínimo, si se desecha una parte defectuosa antes de llegar al cuello de botella, todo lo que se habrá perdido es una



parte, pero si se desecha después de haber pasado por el cuello de botella, se habrá perdido un tiempo que no se puede recuperar.

El pensamiento global es que tanto la gente como las máquinas estén trabajando todo el tiempo pero en una máquina de la planta que no es cuello de botella no importa que la gente tome descansos y cuándo los toma después de todo, cierto porcentaje del tiempo puede estar sin uso, pero en un cuello de botella es todo lo contrario ya que una hora perdida en un cuello de botella es una hora perdida en el sistema entero.

La capacidad de la planta es igual a la capacidad de sus cuellos de botella. Lo que los cuellos de botella produzcan en una hora equivale a lo que la planta produce en una hora.

Cómo optimizar el uso de cuellos de botella:

1) Asegurarse de que no se desperdicie el tiempo de los cuellos de botella.

Formas de desperdiciar el tiempo de los cuellos de botella:

- a) Dejarlo sin uso durante el descanso para comer.
- b) Que esté procesando partes que ya estaban defectuosas o que van a salir defectuosas debido a descuidos del trabajador o a un mal control del proceso.

c) Hacerlo procesar partes que no se necesitan; esto es, cualquier cosa que no esté dentro de la demanda actual. De esta manera se acumulan inventarios. Solo se debe hacer trabajar al cuello de botella en lo que contribuye hoy al throughput. Esta es una forma de aumentar la capacidad de los cuellos de botella.

2) Descargar parte del trabajo del cuello de botella y pasarlo a recursos que no sean cuellos de botella. Esto se puede hacer de la siguiente manera:

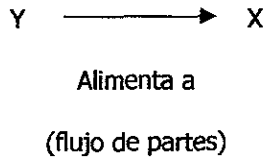
a) Transferir las partes o productos que no necesitan ser procesadas por el cuello de botella a recursos no cuello de botella. Como resultado de esta medida se gana capacidad para el cuello de botella.

b) Si se tienen otras máquinas que hagan el mismo proceso o si se tiene un maquilador con equipo adecuado, se puede descargar el cuello de botella para ganar capacidad y permitir aumentar el throughput.

Las relaciones básicas que existen entre los cuellos de botella y los recursos que no son cuellos de botella son las siguientes:

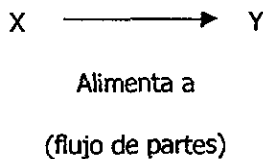
1) Si X es una máquina cuello de botella y la alimentan máquinas que no son cuellos de botella (Y), entonces Y tiene capacidad extra y es más rápida para satisfacer la demanda que X. La máquina X tiene que trabajar todo el tiempo

para satisfacer la demanda, pero Y solamente necesita trabajar una parte del tiempo para mantener el flujo igual a la demanda.

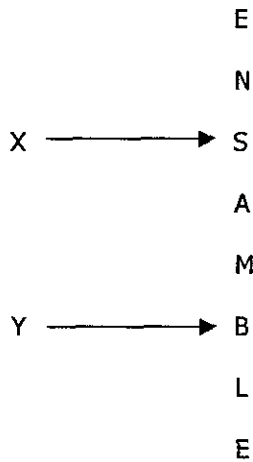


No se debe hacer que Y trabaje con "el trabajo del próximo mes" o liberar mas materiales para que tenga trabajo, una vez que ya satisfizo la demanda actual. Con las horas extra de producción de Y, el inventario frente a X crece porque se está metiendo al sistema más material del que se puede convertir en throughput.

2) Si X alimenta partes a Y y si Y depende exclusivamente de X para alimentarle inventario, la cantidad máxima de horas que puede trabajar Y está determinada por la producción de X. Una vez que Y ha trabajado las horas necesarias para procesar lo que X le manda, Y requiere más inventario que procesar.



3) Se puede dar el caso en el que por un lado, algunas partes no fluyen a través del cuello de botella (X) y su procesado se hace sólo por un recurso que no es cuello de botella (Y) y el flujo es directamente de Y al ensamble. Por otro lado, existen partes que sí pasan por el cuello de botella (X), están en la ruta de X al ensamble, donde se unen con las partes de Y para dar un producto terminado.



Si se mantienen trabajando todas las máquinas tanto en el camino X como en el camino Y, se acumulará exceso de inventario frente al ensamble final y no frente al cuello de botella. El recurso que no es cuello de botella no determina el throughput.

4) En el caso en el cual las máquinas X y Y operan independientemente una de otra y cada una satisface necesidades distintas del mercado:

X → Producto A

Y → Producto B

Como la máquina Y tiene exceso de capacidad, si se hace trabajar al 100% de las horas y la demanda del mercado es menor, se tendrá exceso de productos terminados. En este caso el problema no está en producción, está en la capacidad de mercadotecnia para vender.

En los cuatro casos citados, se puede decir que en ningún caso la máquina Y determina el throughput del sistema. Cuando se activa Y por arriba del nivel de X, se obtiene como resultado un exceso de inventario, no mayor throughput.

De lo anterior se derivan las siguientes reglas:

a) El nivel de utilización de un recurso que no es cuello de botella no está determinado por su propio potencial, sino por algún otro problema del sistema. Con suficiente materia prima, se puede mantener a un trabajador ocupado

siempre, pero no se debe hacer si lo que se quiere es ganar dinero. Hacer trabajar a un empleado y sacarle provecho son cosas diferentes.

b) Hablando con precisión, activar un recurso y utilizar un recurso no son sinónimos. Utilizar significa hacer uso del recurso de modo que mueva el sistema hacia la meta, mientras que activar un recurso significa oprimir el botón de encendido que funciona haya o no beneficios que se deriven del trabajo que hace.

Los cuellos de botella nos van a indicar cuándo alimentar al sistema con más inventario. El inventario total puede ser de longitud o número predeterminado, lo que implica que se puede controlar con precisión.

Se puede reducir el tamaño de los lotes de los no cuello de botella a la mitad, para ganar más dinero. Si se reducen a la mitad el tamaño de los lotes que serán procesados por las máquinas no cuellos de botella, en un momento dado se reduce en un 50% el inventario de productos en proceso de fabricación en la planta. Esto significa que sólo se necesita la mitad de la inversión en inventario de productos en proceso, para mantener trabajando a la planta. Si se coordina con los proveedores se pueden reducir los inventarios a la mitad y se disminuiría el monto de la inversión en cualquier momento dado, lo que a su vez aliviaría la presión en

flujo de caja. Para cosechar totalmente todos estos beneficios, se tiene que lograr que los proveedores aumenten la frecuencia de entrega y reduzcan la cantidad en cada entrega.

Otro grupo de beneficios tiene que ver con el tiempo que permanece una pieza de material dentro de la planta. Si se considera el tiempo total desde el momento en el que el material entra a la planta hasta que sale de ella, como parte de un producto terminado, se puede dividir este tiempo en cuatro elementos:

- 1) Preparación. Es el tiempo que la parte está en espera de entrar a procesamiento, mientras la máquina procesadora se está preparando para trabajar en la parte.
- 2) Tiempo de procesado. Es el tiempo que tarda la parte en ser transformada en una pieza de forma nueva y de mayor valor.
- 3) Tiempo de hacer cola. Es el tiempo que la pieza se pasa formada en fila frente a una máquina procesadora que está ocupada trabajando otras piezas que estaban antes.
- 4) Tiempo de espera. Es el tiempo que pasa la pieza esperando a otra pieza para que ambas puedan ser ensambladas.

Los tiempos de preparación y procesado representan una fracción muy pequeña del tiempo total de la pieza. Sin embargo, los tiempos de hacer cola y de esperar representan la mayor parte del tiempo total que la pieza permanece en la planta.

Para las piezas que pasan por los cuellos de botella, el tiempo de hacer cola es el dominante ya que las piezas permanecen inmovilizadas ante el cuello de botella por largos periodos.

Para las partes que pasan por los no cuellos de botella, el tiempo de espera es el dominante ya que las piezas están inmovilizadas antes del ensamble esperando a las partes que sí pasan por cuellos de botella.

Los cuellos de botella dictan el tiempo consumido, los niveles de inventario y cuánto dinero se genera, es decir el throughput.

Si se reduce el tamaño de los lotes a la mitad, se reduce el tiempo de procesado del lote, se reducen los tiempos de hacer cola y de espera. También entonces se reduce a la mitad el tiempo total que las partes pasan en la planta, el tiempo total de manufactura se condensa y la velocidad de flujo de partes aumenta. Con la mayor velocidad de flujo de partes, los clientes reciben con mayor rapidez los productos terminados.



Con un tiempo de espera mas corto se puede responder a las demandas con mayor rapidez, teniendo una ventaja competitiva en el mercado.

Debemos tomar en cuenta que puede existir algún tipo de perturbación en nuestro sistema; en la teoría de restricciones las perturbaciones son conocidas como Murphy o paranoia y existen dos tipos; uno tiene que ver con los cambios inesperados, como descomposturas de las máquinas, un trabajador que no asiste el día de hoy, o un proceso fuera de control que causa mermas; ésta es la forma en que normalmente vemos a Murphy y Goldratt lo llama "Murphy puro".

Otro tipo de perturbación la encontramos al observar el flujo de un producto específico. Cuando una tarea en particular llega a un recurso no-restricción podemos encontrar que el recurso está ocupado trabajando en otra tarea necesaria y el flujo de nuestro producto en proceso se ve perturbado, nuestra tarea tendrá que hacer cola frente al recurso. A este fenómeno, bien conocido para los que hayan trabajado en una organización, Goldratt lo llama falta de disponibilidad instantánea.

Tenemos que protegernos contra Murphy, para que si algo falla más adelante, la restricción pueda seguir siendo explotada sin interrupción y la manera de hacerlo es acumulando inventario frente al cuello de botella para proteger el throughput; es decir, amortiguando el cuello de botella.

En la teoría de restricciones se utiliza el tiempo como unidad de protección, así al referirnos a un amortiguador en realidad nos referimos a un amortiguador de tiempo. El amortiguador es, pues, un intervalo de tiempo – el intervalo de tiempo al que liberamos la tarea antes del momento en que la hubiéramos liberado si supusiéramos que Murphy no existe. Los amortiguadores se expresan en horas, días, o meses.

La forma tradicional de tratar a Murphy era aceptando su existencia y amortiguando casi todas las tareas con inventario y tiempo pero la teoría de restricciones elige amortiguar sólo si en caso de no hacerlo se pierde throughput.

Los amortiguadores están ahí para proteger el desempeño de las restricciones. Así, siempre que decidamos que una restricción tiene que llevar a cabo una tarea específica a una hora específica, tendremos que liberar el material necesario un amortiguador antes de ese punto en el tiempo.

El amortiguador de tiempo es nuestra protección contra las perturbaciones desconocidas; lo que se desconoce de ellas no es que vayan a ocurrir, su ocurrencia es casi algo dado, lo que no sabemos es cuándo van a ocurrir, dónde van a pegar, y cuánto tiempo va a durar la perturbación, por lo que debido a su naturaleza impredecible no se puede determinar el amortiguador de tiempo con precisión.

Existen tres tipos de amortiguadores: amortiguador de recursos, amortiguador de embarque y amortiguador de ensamble.

1) Amortiguador de recursos. Tenemos que proteger a nuestras restricciones de recursos, puesto que no queremos que se interrumpa su trabajo; esto necesitará un amortiguador de recursos, el origen del amortiguador es el área justo frente a esta restricción de recurso, y contiene inventarios de producto en proceso.

2) Amortiguador de embarque. También tenemos que proteger a las restricciones de mercado, dado que deseamos embarcar a tiempo, esto requerirá de un amortiguador de embarque y el origen del amortiguador es el andén de embarques o la bodega de producto terminado.

3) Amortiguador de ensamble. Para clarificar esto examinemos brevemente un caso en el que una restricción de recursos está alimentando una parte a una operación de ensamble. La operación de ensamble ensambla esa parte con otros tipos de partes que sólo se producen en recursos que no son restricción. No deseamos que la parte alimentada por un recurso restricción espere frente a ensambles a que lleguen partes hechas únicamente por recursos que no son restricción por lo que para garantizar que la parte de una restricción no esperará, tendremos que traer todas las demás partes antes de que se espere que llegue, en otras palabras, tendremos que pre-liberar todas las demás partes provenientes de

no restricciones, por lo que un amortiguador de ensamble y el origen del amortiguador de ensamble se colocará sólo frente a los ensambles que utilicen por lo menos una parte alimentada por una restricción y sólo contendrá partes de no restricciones.

La determinación de la longitud del amortiguador de tiempo es algo que depende del juicio y no es tarea fácil o trivial. Si queremos ser muy cautelosos y escogemos un amortiguador muy largo, podremos enfrentar con seguridad casi cualquier perturbación, pero el tiempo total de manufactura será demasiado largo ya que vamos a liberar materiales mucho mas temprano de cuando podamos usarlos. Los niveles promedio de inventarios de productos en proceso y producto terminado estarán inflados y como resultado se incrementará la necesidad de efectivo, nuestra postura competitiva futura se deteriorará y el costo de manejar inventarios será más elevado. En cambio, si escogemos amortiguadores muy cortos, nuestro tiempo de respuesta promedio será muy rápido, pero debemos estar preparados para expeditar mucho y para tener entregas poco confiables.

Al escoger amortiguadores largos, se impacta directamente en el nivel de inventario relativo al tiempo (productos en proceso y tareas terminadas), por consiguiente, incide indirectamente sobre el throughput futuro y el gasto de

operación. Escoger inventarios cortos produce un impacto directo en gasto de operación (expeditación y control) y, de nuevo, en el throughput actual y futuro (fechas de entrega poco confiables).

La decisión de la longitud de los amortiguadores debe estar en manos de las personas directamente responsables del desempeño general de la empresa.

La cuerda es el programa que nos va a indicar cuándo liberar material. El primer paso para diseñar el programa de producción de la compañía es definir los criterios que deberá cumplir un buen programa. El primer criterio es que el programa debe ser realista, comenzando por reconocer las restricciones del sistema y no debe contener conflicto alguno entre las restricciones.

Cuando estamos diseñado el programa el objetivo es, como siempre, esforzarnos por alcanzar la meta. Así, el programa, una vez que es realista, debe ser juzgado contra los mismos indicadores que usamos para juzgar los resultados: throughput, inventario y gasto de operación. En otras palabras, el desempeño final que el programa indica se juzga con base en que se haya obtenido o no el throughput máximo (máximo en términos de la explotación de las restricciones de la compañía). El inventario de materiales sólo debe existir en la medida en que garantice el throughput; de lo contrario debe declararse como exceso de inventario.

Debemos tener en mente la jerarquía de los indicadores para que cuando se presente una situación que se pueda corregir aumentando el inventario o gasto de operación, se tomen las acciones correctivas sin titubeos. Siempre que se incremente el inventario o el gasto de operación, se debe tener mucho cuidado de no chocar con las condiciones necesarias.

Por ejemplo, si para proteger el throughput se debe incrementar el inventario de materiales (haciendo la liberación antes de lo que sería necesario), el sistema de información podrá hacerlo. Pero si para proteger al throughput necesitamos incrementar la capacidad ya sea comprando una máquina nueva o autorizando que se trabajen horas extras, el sistema de información deberá de tener mucho más cuidado –la compra de una máquina nueva puede violar la condición necesaria de contar con efectivo. Además para tomar ese tipo de decisiones deben de tomarse en cuenta datos como el tiempo de entrega de una máquina o la nueva capacidad que ahora ofrezca tal tecnología.

En cuanto al gasto de operación, al sistema de información se le permite utilizar horas extras sólo dentro de parámetros específicos, y en esos casos la única razón válida para utilizar horas extras es proteger el throughput de la compañía. Cualquier otro incremento en inventarios (como máquinas o accesorios) o en gasto de operación (como la contratación de más personal o la autorización de horas extras especiales) deberá ser dictado por el usuario.

Un punto importante que debemos considerar es que la mayoría de los recursos restricción que enfrentamos en la realidad no son cuellos de botella, sino recursos que no tienen suficiente capacidad de protección.

Haciendo una distinción entre el caso en el que tenemos un cuello de botella y el caso en el que solo tenemos restricción de capacidad debido a la falta de capacidad de protección suficiente: la cantidad necesaria de capacidad de protección que tiene que tener un recurso está en función de la longitud del amortiguador de tiempo. Si no se especifica fecha de vencimiento, la longitud del amortiguador de tiempo no está limitada y por lo tanto, no hay necesidad de capacidad de protección. Así, siempre que trabajemos con un caso en que exista un recurso restricción debido a la falta de capacidad de protección suficiente, estaremos, por definición trabajando con un caso en el que las demandas del mercado son la restricción principal.

El otro caso es el caso en el que sí tenemos un cuello de botella es decir, un recurso que no tiene suficiente capacidad disponible para satisfacer estrictamente la demanda.

Para encontrar el recurso restricción el usuario debe especificar una fecha de corte, una fecha a la que la teoría de restricciones le llama "horizonte del programa".

Para verificar si tenemos o no un cuello de botella, primero tenemos que calcular la carga total colocada sobre cada uno de los tipos de recurso, la carga generada por los pedidos que deban trabajarse durante el "horizonte del programa", es decir, los pedidos cuyas fechas de vencimiento sean antes de la fecha del horizonte del programa. Sin embargo, cuando un pedido deba ser entregado un día después de la fecha del horizonte del programa, no todo el trabajo que se necesita para surtir ese pedido debe hacerse el último día; hasta un pedido que deba ser entregado después del horizonte del programa puede colocar una carga dentro del horizonte.

Aquí debemos aclarar que siempre que hablemos de pedidos, nos referiremos a pedidos en firme más el pronóstico. Se deben considerar todos los pedidos cuyas fechas de vencimiento sean anteriores al horizonte del programa más el amortiguador de embarque, así cualquier pedido cuya fecha de vencimiento sea anterior a la del horizonte del programa más el amortiguador de embarque debe colocar su carga sobre los recursos de la compañía dentro del horizonte.

Una vez que se calcula la carga para cada tipo de recurso, tenemos que calcular su disponibilidad durante el mismo lapso de tiempo futuro (desde el presente hasta el horizonte del programa sin amortiguador de embarque), de acuerdo con los calendarios dados. El número de unidades que la compañía tenga, de cada tipo de



recurso debe tomarse en cuenta cuando se calcula la disponibilidad; si la carga colocada sobre el recurso es superior a su disponibilidad, tendremos un cuello de botella.

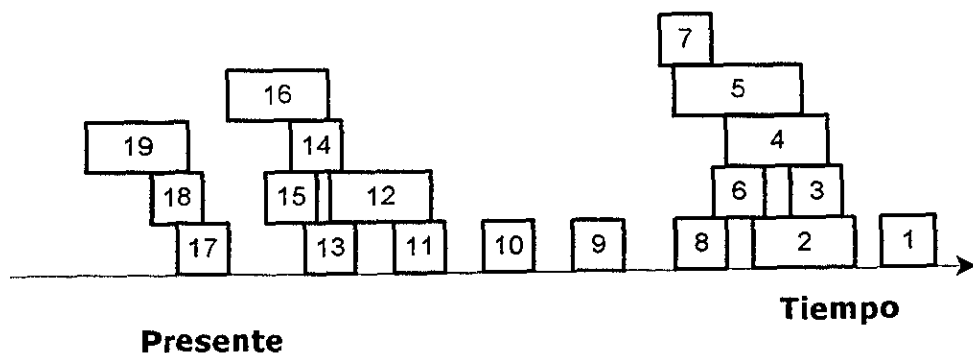
Si al comparar la carga por tipo de recurso, con la disponibilidad de los recursos, encontramos que no uno sino varios recursos tienen menos tiempo disponible del necesario para surtir los pedidos, sólo el recurso que tenga la mayor carencia de capacidad en esta etapa podrá ser declarado como posible restricción.

Identificar un cuello de botella significa que no podemos cumplir con todos los pedidos en sus respectivas fechas de vencimiento; sencillamente no tenemos capacidad disponible suficiente, por lo menos en un recurso.

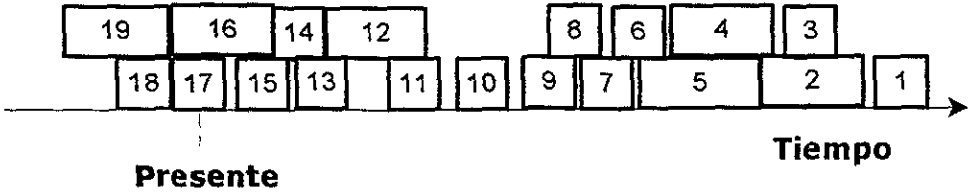
Una vez que hemos calculado la cantidad que nuestro recurso tiene que producir para poder surtir un pedido en particular. Y utilizando el tiempo requerido para producir una unidad y el tiempo de preparación, podemos concluir la cantidad de carga que necesita cada recurso. Lo que queda por hacer es averiguar dónde colocar esta carga en el eje del tiempo –determinar *cuando* tiene que trabajar el recurso para que el pedido dado pueda surtirse, considerando que no haya limitaciones debidas al recurso mismo.

Si tenemos la fecha de vencimiento requerida del pedido y si tenemos la longitud del amortiguador de embarque debemos liberar la tarea del recurso restricción con un amortiguador de anticipación a cuando deba embarcarse; es decir, el recurso restricción debe de terminar su trabajo un amortiguador de tiempo antes de la fecha de vencimiento del pedido.

Lo que se tiene que hacer es repetir el mismo cálculo par todos los pedidos que exijan trabajo del recurso restricción y colocar los "bloques" de trabajo resultantes en el eje del tiempo del recurso. Por cada pedido se tiene que realizar la asignación de las existencias intermedias, y generar los bloques. Si decidimos asignar de acuerdo con las fechas de vencimiento de los pedidos, empezaremos con el pedido más temprano y nos moveremos hacia adelante en el tiempo, lidiando con cada pedido en su turno. Para cada pedido para el cual no haya suficientes existencias, tendremos que generar el bloque de trabajo necesario del recurso restricción.

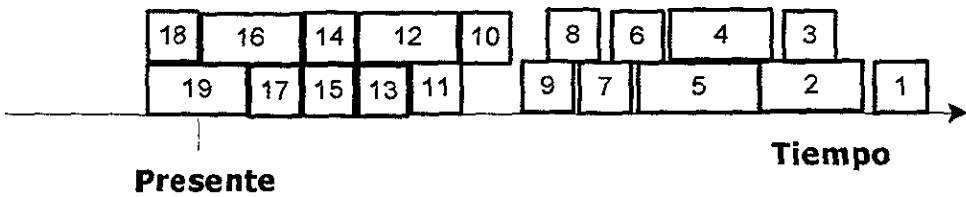


Ahora lo que debemos hacer es nivelar los bloques, asegurándonos que la cantidad de bloques que se requieran hacer al mismo tiempo no exceda el número de unidades disponibles del recurso restricción. Esto quiere decir que siempre que encontremos una acumulación, debemos cambiar los bloques superiores hacia la izquierda, haciéndolos antes de lo estrictamente demandado por las fechas de vencimiento de los pedidos. Esto significa incrementar el inventario pero será mejor que perder throughput ya que no nos servirá de nada mover los bloques hacia la derecha, posponiendo su ejecución.



Puesto que estamos trabajando con un recurso que no tiene suficiente capacidad, será inevitable que el resultado sea que algunos bloques queden del lado equivocado del eje del tiempo. Los bloques de trabajo, inevitablemente se encontrarán en el pasado y obviamente no podemos ordenar a un recurso que haga el trabajo de ayer. Ahora lo que debemos hacer es recorrer todos los bloques hacia la derecha hasta que ningún pedido tenga que trabajarse en el pasado. Toda esta manipulación de los bloques deja a los bloques en sitios

diferentes de su punto de partida original. Puesto que hemos comenzado con un recurso restricción, será obligado que algunos bloques terminen con posterioridad (a la derecha) de su posición original. Esto significa que sus pedidos correspondientes ahora están expuestos. Si el cambio resultante es por más de la mitad del amortiguador, la probabilidad de que la compañía no cumpla la fecha de vencimiento del pedido correspondiente no será alta, pero seguramente Murphy aparecerá. La teoría de restricciones sugiere que pintemos los bloques peligrosos de color rojo.



Una manera de liberar capacidad del recurso restricción es identificar bloques que necesiten procesarse por el cuello de botella y "pegar" los bloques para hacer una sola preparación del recurso, ahorrando tiempo y permitiendo a la restricción satisfacer más pedidos dentro del mismo intervalo de tiempo. Sin embargo, para poder "pegar" los bloques tendremos que mover hacia atrás en el tiempo el bloque posterior para fabricarlo más temprano de cuando se necesitaría, lo que significa que por ahorrar tiempo de preparación, el inventario se incrementará, pero lo haremos si con esto podemos embarcar otros pedidos a tiempo.

Después de pegar los dos bloques, todos los bloques que deberán hacerse después del segundo bloque saldrán ganando ya que se van a trabajar un lapso de tiempo igual al tiempo de preparación ahorrado antes de lo que se había estimado, pero los bloques que estaban entre los bloques que pegamos se trabajarán después ya que su ejecución se pospondrá en la misma cantidad de tiempo que se necesite para hacer el segundo bloque.

La unión de los bloques es más importante cuando los tiempos de preparación son relativamente largos y el sistema de información deberá permitir al usuario probar en línea con varios números hasta quedar satisfecho con los colores de los bloques. Como seguramente no se habrán eliminado todos los bloques rojos se tendrán que utilizar el recurso de las horas extras.

Las horas extras se deberán utilizar únicamente en los casos en los que pelagra el throughput de la compañía y se deberán tomar en cuenta las horas permitidas como máximo por día, por fin de semana y por semana ya que la fatiga de la gente es una consideración mayor. Además, cada hora de tiempo extra no estará incrementando el gasto de operación por lo que debemos colocar las horas extras donde nos sirvan más, antes del primer bloque rojo y tan cercanamente como sea posible a ese bloque ya que mientras más temprana sea la fecha a la cual se dé el tiempo extra, mayor será el incremento en el inventario.

Siempre que se utilizan horas extras no solo se va a beneficiar a los bloques que debían terminarse para el final de esa fecha, sino que todos los bloques que se suponía que se iban a hacer posteriormente se beneficiarán ya que podrán trabajar antes de lo planeado por lo que algunos bloques rojos podrían palidecer e incluso desaparecer. Sin embargo, generalmente con esto no basta y muchos bloques rojos seguirán en nuestra pantalla y lo que debemos hacer es repetir el mismo proceso con el siguiente bloque rojo, que por definición se encontrará a la derecha del bloque rojo original.

Si después de intentar todo lo que se nos ha podido ocurrir con los bloques nos percatamos de que no tenemos capacidad suficiente, definitivamente vamos a fallar en algunas fechas de vencimiento y será mejor informarle al cliente con algunas semanas de anticipación las malas noticias en lugar de disculparnos después del hecho.

Una vez terminado este paso debemos subordinar todo lo demás a la decisión anterior, haciendo que las acciones de todos los demás recursos apoyen lo que ya hemos decidido es decir, todas las demás actividades tienen que marchar a ese compás. Toda la compañía tendrá que marchar al compás del tambor.

Ahora tenemos que fijar las fechas de todas las demás actividades. Las fechas para la liberación de materiales, de manera que lleguen a tiempo al recurso restricción y

como ya se había establecido, los materiales deben ser liberados a operaciones un amortiguador de recurso antes de la fecha en que deban ser consumidos por la restricción. Para determinar esas fechas de liberación de materiales solo tenemos que restar el amortiguador del recurso a las fechas que ya fueron establecidas con el tambor.

Como no queremos que retengan el inventario que ya decidimos liberar porque queremos que se acumule antes de la restricción, las fechas de liberación de materiales son las fechas que le damos a las no restricciones para realizar las operaciones.

Es importante hacer notar que a menos que haya mucho exceso de inventario en el piso, no tiene caso darle programas a los diversos centros de trabajo, basta con controlar firmemente la liberación e indicarle a la gente que trabaje con los materiales que les lleguen. Sin embargo, los recursos restricción sí deben tener una lista con la secuencia que rigurosamente deberán seguir es decir, la lista del tambor.

## Capítulo IV. CASO PRÁCTICO

Nuestra organización es una compañía farmacéutica en la cual se fabrican tres diferentes tipos de tabletas y en la cual se trabajan estrictamente ocho horas al día y cinco días a la semana. Queremos saber si es posible fabricar la cantidad que se requiere para cubrir la demanda semanal y si no es así, entonces en qué orden debemos fabricar nuestros productos para obtener el mayor throughput.

El producto A corresponde a un lote de tabletas de acetaminofén que se fabrican por granulación vía húmeda, la demanda semanal del mercado es de 50,000 tabletas. El costo de las materias primas para fabricar este lote es de 1 UD/ Lote<sup>6</sup> y el precio de venta del lote es de 130 UD/ Lote.

El producto B son tabletas de metronidazol que se fabrican por granulación vía húmeda, la demanda semanal del mercado es de 100 000 tabletas. El costo de las materias primas para fabricar este lote es de 3 UD/ Lote y el precio de venta del lote es de 250 UD/ Lote.

---

<sup>6</sup> Para simplificar los cálculos se utilizaron Unidades de Dinero (UD) en proporción a los precios reales.



El tercer producto que denominaremos C son tabletas de ácido acetil salicílico que se fabrican por compresión directa y la demanda semanal del mercado es de 150 000 tabletas. El costo de las materias primas para fabricar este lote es de 2 UD/ Lote y el precio de venta del lote es de 80 UD/ Lote.

Las formulaciones son las siguientes:

A. Tabletetas de Acetaminofén

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad por tableta</b>	<b>Cantidad por lote de 50,000 tabletas</b>
Acetaminofén	300 mg	15 Kg
Polivinilpirrolidona	22.5 mg	1.125 Kg
Lactosa	61.75 mg	3.0875 Kg
Alcohol SD3A-200 grados	4.5 mL	225 L
Ácido esteárico	9 mg	450 g
Talco	13.5 mg	675 g
Almidón de maíz	43.25 mg	2.1625 Kg
Peso Total	454.5mg	22.725 Kg

B. Tabletetas de Metronidazol

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad por tableta</b>	<b>Cantidad por lote de 100,000 tabletas</b>
Metronidazol	250 mg	25 Kg
Almidón de maíz	135 mg	13.500 Kg
Lactosa Anhidra	105 mg	10.500 Kg
Aerosil 200	1.0 mg	100 g
Estearato de magnesio	4.0 mg	400 g
Solución de PVP al 5% en etanol	0.5 mg	50 g
Total	495.5 mg	49.550 Kg

### C. Tabletas de Ácido acetil salicílico

Componentes	Cantidad por tableta	Cantidad por lote de 150,000 tabletas
Acido acetil salicílico	100 mg	15 Kg
Lactosa anhidra	85.10 mg	12.765 Kg
Avicel pH 101	41.10 mg	6.165 Kg
Sorbitol	43.70 mg	6.555 Kg
Color amarillo	0.67 mg	100.5 g
Sabor limón	0.40 mg	60 g
Estearato de magnesio	1.50 mg	225 g
Sacarina sódica	0.92 mg	138 g
Total	273.39 mg	41.0085 Kg

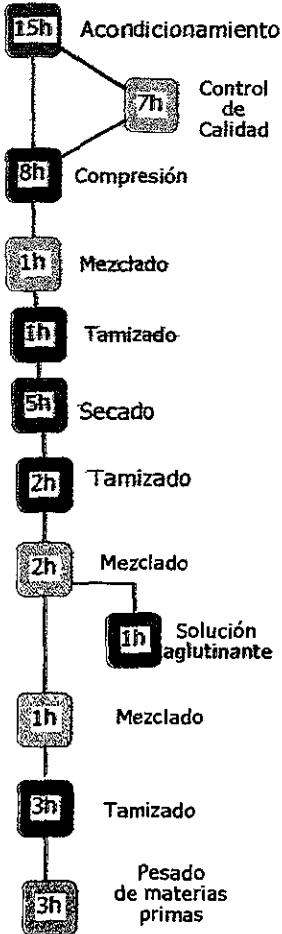
Las operaciones que se realizan en cada uno de los tres procesos de manufactura se presentan en el diagrama 1.

Lo primero que debemos hacer es *identificar la restricción* del sistema y para hacer esto debemos calcular el tiempo total requerido por semana de cada uno de los recursos de nuestra planta.

Equipo	A	B	C	Total
<b>Pesado</b>	3	2	2	7
<b>Tamizado (Tamiz Oscilante)</b>	6	8	3	17
<b>Mezcladora Planetaria</b>	4	6	0	10
<b>Mezcladora de Pantalón</b>	0	0	3	3
<b>Secado (Horno)</b>	5	7	0	12
<b>Compresión (Tableteadora)</b>	8	14	19	41
<b>Control de Calidad</b>	7	10	12	29
<b>Acondicionamiento en línea 1</b>	0	19	0	19
<b>Acondicionamiento en línea 2</b>	15	0	11	26

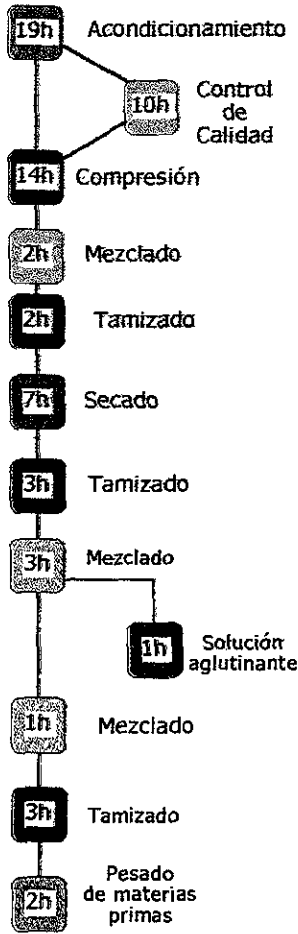
**DIAGRAMA 1. OPERACIONES REALIZADAS PARA FABRICAR  
LOS PRODUCTOS A, B y C**

**PRODUCTO A**  
Tabletas de Acetaminofén  
Granulación vía húmeda  
50,000 tabletas por lote  
130 UD / Lote



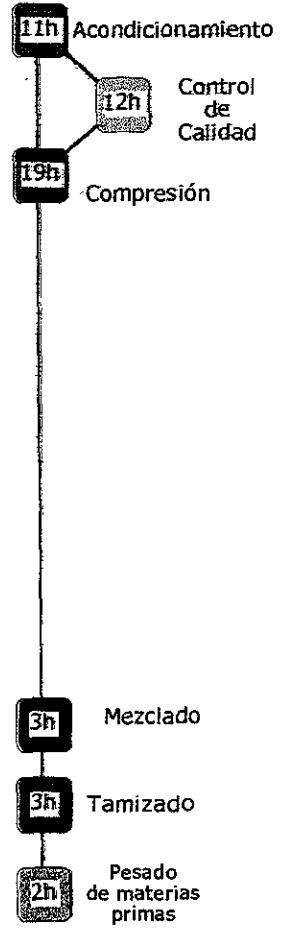
Materias primas  
1 UD / Lote

**PRODUCTO B**  
Tabletas de Metronidazol  
Granulación vía húmeda  
100,000 tabletas por lote  
250 UD / Lote



Materias primas  
3 UD / Lote

**PRODUCTO C**  
Tabletas de Ácido acetil salicílico  
Compresión directa  
150,000 tabletas por lote  
80 UD / Lote



Materias primas  
2 UD / Lote

UD = Unidad de Dinero

Nuestra compañía trabaja únicamente 8 horas al día, 5 días de la semana (de lunes a viernes), en total hay disponibles 40 horas por semana, por lo que podemos advertir que la restricción es la máquina tableteadora ya que se requieren 41 horas por semana para poder producir los productos A, B y C necesarios semanalmente.

Debemos calcular el throughput que puede ser generado por cada producto con la finalidad de saber cuál de éstos nos permitirá ganar más dinero y poder decidir en qué orden fabricar los productos ya que no podremos satisfacer la demanda del mercado debido a que no tenemos suficientes horas disponibles en la tableteadora.

La fórmula para calcular el throughput es la siguiente:

$$\text{Throughput} = \text{Precio de venta} - \text{Precio de materias primas} - \text{Gasto de Operación}^7$$

$$\text{Throughput}_{\text{Producto A}} = 130\text{UD/Lote} - 1\text{UD/Lote} = 129\text{UD/Lote} = 0.00258 \text{ UD/tableta} - \text{G.O.}$$

$$\text{Throughput}_{\text{Producto B}} = 250\text{UD/Lote} - 3\text{UD/Lote} = 247\text{UD/Lote} = 0.00247 \text{ UD/tableta} - \text{G.O.}$$

$$\text{Throughput}_{\text{Producto C}} = 80\text{UD/Lote} - 2\text{UD/Lote} = 78\text{UD/Lote} = 0.00052 \text{ UD/tableta} - \text{G.O.}$$

---

<sup>7</sup> No se tomará en cuenta el gasto de operación en los cálculos para simplificarlos y el Gasto de Operación se indicará como G.O.

Podemos observar que el producto que genera mayor throughput es el producto B; en segundo lugar está el producto A y el que genera menor throughput es el producto C.

El throughput total que podremos obtener si fabricamos los productos en éste orden se calcula a continuación:

Como el producto B requiere de 14 horas de la restricción y el producto A requiere 8 horas por semana, sobran únicamente 18 horas de la tableteadora para fabricar el producto C.

$$40 \text{ horas/semana} - 14 \text{ horas}_{\text{Producto B}} - 8 \text{ horas}_{\text{Producto A}} = 18 \text{ horas}_{\text{Producto C}}$$

Tenemos que calcular cuántas tabletas de ácido acetil salicílico podremos fabricar en estas 18 horas. Lo primero que tenemos que saber es el tiempo que se requiere para fabricar una sola tableta:

$$\frac{19 \text{ horas por lote}}{150,000 \text{ tabletas por lote}} \times \frac{60 \text{ minutos}}{\text{hora}} = 0.0076 \text{ minutos/tableta}$$

Conociendo este dato podemos calcular cuántas tabletas se pueden fabricar en 16 horas:

$$\frac{18 \text{ horas disponibles}}{0.0076 \text{ minutos/tableta}} \times \frac{60 \text{ minutos}}{\text{hora}} = 142,105 \text{ tabletas}$$

El throughput que genera esta cantidad de tabletas del producto C es el siguiente:

$$\text{Throughput}_{142,105 \text{ tabletas}} = 142,105 \text{ tabletas} (0.00052 \text{ UD/tableta}) = 73.89 \text{ UD/Lote} - \text{G.O.}$$

En total podemos fabricar 100 000 tabletas de B, 50 000 tabletas de A y 142 105 tabletas de C obteniendo el siguiente throughput:

$$\text{Throughput total} = (\text{Throughput}_{\text{Producto A}} + \text{Throughput}_{\text{Producto B}} + \text{Throughput}_{\text{Producto c}}) - \text{G.O.}$$

$$\text{Throughput total} = (129 \text{ UD}_{\text{Producto A}} + 247 \text{ UD}_{\text{Producto B}} + 73.89 \text{ UD}_{\text{Producto c}}) - \text{G.O.}$$

$$\text{Throughput total} = 449.89 \text{ UD} - \text{G.O.}$$

Estos resultados los podemos lograr únicamente si *explotamos* la restricción al máximo es decir, no dejar a la máquina tableteadora sin trabajar durante la jornada de trabajo.

El siguiente paso es *subordinar* todo a la decisión anterior, haciendo trabajar a las máquinas no-restricción únicamente para fabricar la cantidad de tabletas que demanda el mercado. Además de que la logística y planes de la producción deben tomar en cuenta que la restricción debe estar trabajando siempre y obviamente debe contar con los insumos necesarios para hacerlo.

Para *eleva*r la restricción podemos utilizar una tableteadora vieja que está parada en el almacén desde hace un año y que no se usa por su "baja eficiencia" pero que en este caso puede ser de gran utilidad para quitarle carga a la restricción.

Una vez que hemos resuelto nuestro problema de falta de equipo para tabletear debemos regresar al paso 1 evitando así la *inercia* y buscando la nueva restricción del sistema. Esto se debe a que si monitoreamos constantemente nuestro sistema, al elevar la restricción, un recurso cuello de botella puede dejar de serlo y la restricción puede encontrarse en otra parte del proceso.

De ahí la importancia de tomar la teoría de restricciones no como una herramienta más para el control de la producción, sino como un sistema de control integral.

## **Capítulo V. Conclusiones**

La teoría de restricciones es una combinación de principios, conceptos y herramientas basados en el sentido común, empleadas para identificar, manejar y romper el factor que limita el mejoramiento de una organización. En los sistemas de producción se tienen restricciones en políticas administrativas y en recursos físicos (esta última generalmente resultado de una política errónea).

La teoría de restricciones permite transitar de la cultura de "ganar-perder", en la que si uno gana otro pierde, a otra de "ganar-ganar" en la que ambas partes ganan. Para lograr esto utiliza los procesos de pensamiento que son las siguientes herramientas: árbol de realidad actual, árbol de realidad futura, árbol de transición, árbol de prerrequisitos y el diagrama de resolución de conflictos, que permiten construir y comunicar el sentido común y contestar las tres preguntas necesarias para tener éxito: ¿qué cambiar?, ¿hacia qué cambiar? y ¿cómo causar el cambio?

Además, la teoría de restricciones cuenta con un método efectivo para optimizar la producción manufacturera llamado tambor-amortiguador-cuerda, que es una técnica de producción de inventarios diseñado para aumentar la velocidad del flujo



de los productos fabricados mediante un procedimiento de producción mientras simultáneamente se minimiza el inventario, asegurando que la línea siempre tenga algo que hacer es decir, que no esté ociosa.

La fuerza de TOC está en el hecho de que trata al sistema como un todo y no como un conjunto de departamentos o partes de la organización que están compitiendo una con otras por tener mayores eficiencias sino que todos trabajan en conjunto para lograr la meta de la empresa que es la de ganar dinero.

Los principios y conceptos de la teoría de restricciones tienen amplia aplicación en la mayoría de los sistemas pero algunos conceptos están limitados. La medida de throughput de la teoría es muy difícil de aplicar en organizaciones en las que la meta es otra diferente que la de ganar dinero.

Las herramientas no pueden sustituir el liderazgo efectivo o la disposición de la gente para actuar ni proveen a las personas de motivación para mejorar las cosas y son inútiles si las personas que tratan de aplicarlas no saben suficiente acerca de cómo trabaja su sistema.

TOC no es sustituto de las herramientas de mejoramiento de procesos que utiliza una empresa, en cambio es un acelerador de poder, que puede hacer a esas herramientas más efectivas; no es una herramienta o proceso aislado.

## BIBLIOGRAFIA

1. Dettmer, William. An Introduction to the Theory of Constraints Thinking Process. [www.goalsys.com](http://www.goalsys.com), Enero 2000.
2. Dettmer, William. Local decision Rules for projects. [www.goalsys.com](http://www.goalsys.com), Enero 2000.
3. Dettmer, William. Quality and I. [www.goalsys.com](http://www.goalsys.com), Enero 2000.
4. Dettmer, William. Realizing Quantum Improvements in CRT Quality. [www.goalsys.com](http://www.goalsys.com), Enero 2000.
5. Dettmer, William. Theory of Constraints. "The Missing Link" Between Quality and Profitability. [www.goalsys.com](http://www.goalsys.com), Enero 2000.
6. Goldratt, Eliyahu. Critical Chain. Capítulo 11. 1998. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Febrero 2000.
7. Goldratt, Eliyahu. El Síndrome del Pajar. 4ª Edición. Ediciones Castillo. México. 1999. 283pp.
8. Goldratt, Eliyahu. Empowerment. 1998. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Marzo 2000.
9. Goldratt, Eliyahu. La Meta. 8ª Edición. Ediciones Castillo. México. 1999. 408pp.
10. Goldratt, Eliyahu. Late Night Discussions. Number 1. 1991. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Marzo 2000.
11. Goldratt, Eliyahu. Late Night Discussions. Number 2. 1991. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Marzo 2000.
12. Goldratt, Eliyahu. Late Night Discussions. Number 3. 1991. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Marzo 2000.
13. Goldratt, Eliyahu. Late Night Discussions. Number 4. 1991. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Marzo 2000.
14. Goldratt, Eliyahu. Late Night Discussions. Number 5. 1991. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Marzo 2000.

15. Goldratt, Eliyahu. Late Night Discussions. Number 6. 1991. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Marzo 2000.
16. Goldratt, Eliyahu. Late Night Discussions. Number 7. 1991. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Marzo 2000.
17. Goldratt, Eliyahu. Late Night Discussions. Number 8. 1991. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Marzo 2000.
18. Goldratt, Eliyahu. Late Night Discussions. Number 9. 1992. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Marzo 2000.
19. Goldratt, Eliyahu. Late Night Discussions. Number 10. 1992. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Marzo 2000.
20. Goldratt, Eliyahu. Late Night Discussions. Number 11. 1992. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Marzo 2000.
21. Goldratt, Eliyahu. Late Night Discussions. Number 12. 1992. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Marzo 2000.
22. Goldratt, Eliyahu. No Fue la Suerte. 1ª Edición. Ediciones Castillo. México. 1995. 250pp.
23. Houle, Dale. Introduction to The Theory of Constraints. 1998. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Enero 2000.
24. Remington. Farmacía. 19ª Edición. Editorial Médica Panamericana. Vol. II. Argentina. 1998. pag. 2470-2509.
25. Rozemberg, Dino. Ganar-ganar es posible. 1997. [www.goldratt.com](http://www.goldratt.com), Enero 2000.