

COMPORTAMIENTOS AUTONÓMICOS EN SIMULACIONES DE SOCIEDADES
ARTIFICIALES CON SISTEMAS DE INVENTARIO, BASADAS EN AUTÓMATAS
CELULARES

Ing. Oscar González Belfort

Trabajo de Grado presentado a la ilustre
Universidad Central de Venezuela para
Optar el Título de Magister Scientiarum
en Investigación de Operaciones

Caracas, Enero de 2003

VEREDICTO

DEDICATORIA

A Dios y a mi familia...

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos

A mi tutor Dr. Michel Torres, por mostrarme el camino...

A los profesores Claudio Rocco, Nestor Carrasquero y José Alí Moreno, por iluminarlo...

A mis panas del postgrado, Yashna, Leopoldo y Luis, por su apoyo incondicional....

A la UCV por brindarme la oportunidad...

RESUMEN

Ing. González Belfort, Oscar Enrique

COMPORTAMIENTOS AUTONÓMICOS EN SIMULACIONES DE SOCIEDADES
ARTIFICIALES CON SISTEMAS DE INVENTARIO, BASADAS EN AUTÓMATAS
CELULARES

Tutor: Dr. Michel Torres. Tesis. Caracas U.C.V.

Facultad de Ingeniería, Departamento de Investigación de Operaciones y Computación 2002, 113 págs.

En este trabajo se presenta un modelo de Inventario basado en Sociedades Artificiales para la reproducción y el estudio de comportamientos observados en los sistemas de producción/distribución reales, y en especial para el estudio de un fenómeno Autonomico conocido como efecto "Bullwhip". Se estudió la influencia a nivel global de estrategias de inventario empleadas a nivel local, basadas en heurísticas comúnmente usadas en la realidad, en situaciones caracterizadas por la presencia de los mencionados fenómenos autonomicos. El algoritmo base de este modelo está fundamentado en el uso de autómatas celulares, la cual es una herramienta poderosa para la reproducción de procesos dinámicos.

Se realizaron diversos experimentos basados en 4 estrategias. La estrategia #0, basada en una heurística muy usada, consiste en realizar un pedido cada vez que la cantidad de inventario en mano sea menor al inventario objetivo o *target*. La estrategia #1, utiliza una heurística muy similar, con la diferencia que ésta considera adicionalmente la cantidad de inventario en tránsito. La estrategia #2, está basada en un trabajo realizado por Marc Lambrecht, Jeroen Dejonckheere, Denis Towill y Stephen Disney, que emplea una regla heurística de reabastecimiento que intenta atenuar los efectos oscilatorios, incorporando en los pedidos sólo una fracción de las discrepancias entre el nivel de inventario actual (en mano y en tránsito), y el nivel de inventario *target*. La estrategia #3, está basada en la estrategia #0, pero incorpora una política de fijación de precio de venta de unidades en función del nivel de inventario.

Los resultados de los experimentos mostraron la ineficiencia de las políticas tradicionales para sortear los efectos Autonómicos y la gran influencia que tienen estas malas políticas sobre el desempeño global de la sociedad.

TABLA DE CONTENIDO

Tabla de Contenido

VEREDICTO	ii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	viii
TABLA DE CONTENIDO	xi
LISTA DE TABLAS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO	4
1.1 Sistemas de Inventario	5
1.1.1 Costos de un sistema de inventario	5
1.1.2 El Problema de Inventario	6
1.1.3 Conceptos Básicos	7
1.1.4 Clasificación de Sistemas de Inventario	10
1.1.5 Modelos de Inventario de un Solo Escalón	11
1.1.6 Esquemas Heurísticos	14
1.2 Autómatas Celulares	17
1.2.1 Introducción	17
1.2.2 Definición	17
1.2.3 Características Básicas y Componentes	17
1.2.4 Clasificación de las propiedades dinámicas de los autómatas celulares	21
1.3 Sociedades Artificiales	22
1.3.1 Introducción	22
1.3.2 Definición	23
1.3.3 Características	23
1.4 Sistemas Autónomos	24
1.4.1 Definición	24
1.4.2 Fenómenos Autonómicos e Inventario (Bullwhip Effect)	24
CAPITULO 2: MODELO PROPUESTO	30
2.1 Fundamentos del Modelo	31
2.1.1 Aspectos Básicos del Modelo	31
2.1.2 Atributos	33
2.1.3 Interacciones	37
2.2 La Herramienta Computacional: M.I.A.C.	41
2.2.1 Requerimiento Mínimos	41
2.2.2 Descripción del Programa	41
2.2.3 Ejecución del Programa	50
CAPITULO 3: OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS	52
3.1 Objetivos Individuales	53
3.1.1 Individuos	53

3.1.2 Quioscos	54
3.1.3 Fábrica	56
3.2 Objetivos Colectivos	57
3.2.1 Eliminación del Efecto “Bullwhip”	57
3.2.2 Coalición de Objetivos Individuales	58
3.3 Estrategias	59
3.3.1 Estrategias Individuales	59
Estrategia Colectiva	60
CAPITULO 4: EXPERIMENTACIÓN	61
4.1 Parámetros Base	62
4.2 Metodología Utilizada	64
4.3 Experimentación	65
4.3.1 Experimentos en Situaciones de Comportamiento Oscilatorio en la Demanda-pedidos (Bullwhip Effect)	65
4.3.2 Experimentación en una Situación Simulada de un Cambio Brusco en la demanda.	67
CAPITULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
5.1 Experimentos en Situaciones de Comportamiento Oscilatorio de Demanda-Pedidos (“Bullwhip Effect”)	70
5.1.1 Experimentos Con Un Solo Quiosco	70
5.1.2 Experimentos Con Dos Quioscos	72
5.1.3 Experimento Con Múltiples Estrategias y Creación de Quioscos	73
5.2 Experimentos en Situación Simulada de Cambio Brusco en la Demanda	74
5.3 Comparación de los Resultados Observados Con la Literatura	74
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	82
APÉNDICES	85
Apéndice 1: Gráficas de Comportamiento Demanda – Nivel de Inventario	86
Apéndice 2: Gráficas Comparativas de Indicadores de Desempeño	92

LISTA DE TABLAS

Indice de Tablas

<i>Tabla 1: Sociedad Artificial-Atributos-Individuos</i>	34
<i>Tabla 2: Sociedad Artificial-Individuos-Inventario</i>	35
<i>Tabla 3: Sociedad Artificial-Atributos-Quioscos</i>	35
<i>Tabla 4: Sociedad Artificial-Atributos-Fábrica-Régimen</i>	36
<i>Tabla 5: Experimentación - Parámetros Base</i>	62
<i>Tabla 6: Experimentación - Parámetros Base-Régimen</i>	63
<i>Tabla 7: Experimentación-Parámetros Base - Parámetros de Estrategias</i>	63
<i>Tabla 8: Experimentación - Indicadores de Desempeño</i>	64
<i>Tabla 9: Experimentación - Modificadores de Parámetros Base</i>	64
<i>Tabla 10: Experimentación – Experimentos Con Un Solo Quiosco</i>	66
<i>Tabla 11: Experimentación – Experimentos Con Dos Quioscos</i>	66
<i>Tabla 12: Experimentación – Experimentos Con Múltiples Estrategias y Creación de Quioscos</i>	67
<i>Tabla 13: Experimentación – Experimentos Cambio Brusco de Demanda - Régimen</i>	67
<i>Tabla 14: Experimentación – Experimentos Cambio Brusco de Demanda</i>	67
<i>Tabla 15: Experimentos Con Un Solo Quiosco -Coeficientes de Variación</i>	70
<i>Tabla 16: Experimentos Con Dos Quioscos – Variación de los Indicadores</i>	73

LISTA DE FIGURAS

Lista de Figuras

<i>Figura 1: Curva Inventario - Tiempo</i>	7
<i>Figura 2: Curva Inventario – Tiempo Con Demanda Estimada y Real</i>	9
<i>Figura 3: Inventario de Seguridad</i>	10
<i>Figura 4: Clasificación de los Sistemas de Inventario</i>	11
<i>Figura 5: Taxonomía de Modelos de Inventario de Un Solo Escalón</i>	11
<i>Figura 6: Modelos de Inventario de revisión continua</i>	12
<i>Figura 7: Modelos de Inventario de revisión periódica</i>	13
<i>Figura 8: Vecindad de von Neumann</i>	19
<i>Figura 9: Vecindad de Moore</i>	19
<i>Figura 10: Círculo y Toroide</i>	20
<i>Figura 11: Cadena de distribución en el juego de la cerveza</i>	25
<i>Figura 12: Ejemplo de demanda en el juego de la cerveza.</i>	26
<i>Figura 13: Modelo - Actores</i>	31
<i>Figura 14: Modelo -Transacciones Alimento-Dinero Entre Actores</i>	32
<i>Figura 15: Interacciones-Individuos</i>	38
<i>Figura 16: Interacciones-Quioscos</i>	39
<i>Figura 17: Interacciones-Fábrica</i>	40
<i>Figura 18: Programa-Componentes Básicos</i>	41
<i>Figura 19: Programa-Componentes-Archivo</i>	42
<i>Figura 20: Programa-Componentes-Parámetros</i>	43
<i>Figura 21: Programa-Componentes-Parámetros-Dimensión de Rejilla</i>	43
<i>Figura 22: Programa-Componentes-Parámetros-Población y Ambiente Art.</i>	44
<i>Figura 23: Programa-Componentes-Parámetros-Inventario</i>	45
<i>Figura 24: Programa-Parámetros-Régimen de Producción/Entrega</i>	48
<i>Figura 25: Programa-Estrategias de Quioscos</i>	48
<i>Figura 26: Programa-Gráficas</i>	49
<i>Figura 27: Programa-Gráficas-Otras</i>	49
<i>Figura 28: Programa-Datos</i>	50
<i>Figura 29: Objetivos-Individuos</i>	54
<i>Figura 30: Obejtivos-Quioscos</i>	55
<i>Figura 31: Objetivos-Fábrica</i>	56
<i>Figura 32: Objetivos-Beneficios Derivados de la Eliminación del Efecto “Bullwhip”</i>	57

INTRODUCCIÓN

Introducción

La mayoría de los modelos de inventario tradicionales basan su estrategia en la minimización de costos de inventario en su búsqueda de optimización, sin tomar en cuenta las complejas interacciones que ocurren en los sistemas reales entre los diferentes actores y las consecuencias que éstas originan.

Un ejemplo de este tipo de interacciones y sus consecuencias, lo encontramos en una simulación llamada el “juego de la cerveza”, desarrollada en los años 60 en la Escuela de Administración Sloan de MIT. Este juego simula un sistema de producción/distribución de una marca de cerveza, donde los jugadores están en absoluta libertad para tomar cualquier decisión [Senge, Peter].

En este juego se producen ascensos y descensos recurrentes en los niveles de inventario de los jugadores, a pesar de la demanda estable de los consumidores. El sistema causa su propia crisis, que no obedece a fuerzas externas ni a errores individuales [Senge, Peter].

Estas oscilaciones recurrentes son muy frecuentes en sistemas de producción/distribución reales y son conocidas con el nombre de efecto “Bullwhip”. El efecto “Bullwhip” puede ser definido como un fenómeno que ocasiona aumentos y descensos recurrentes en los niveles de inventario - pedidos, y que afecta de manera dramática los costes de inventario de cada uno de los actores que intervienen (consumidores, vendedores, fábricas, etc.).

Algunos de los elementos que generan este tipo de oscilaciones en los pedidos e inventarios, en los sistemas de producción/distribución son:

- Cadenas de suministros de etapas múltiples.
- Demora en las entregas de pedidos.
- Información limitada.

- Percepciones y temores.

Los sistemas que presentan este tipo de comportamiento son también conocidos como sistemas Autónomos. Un sistema es autónomo, si está sometido a sus propias leyes, genera reacciones de tipo circular, que se auto-reproducen, lo que hace emerger en el medio una entidad que puede ser considerada distinta al medio [Torres, Michel].

La mayoría de modelos de inventario tradicionales desestiman la complejidad inherente a los sistemas reales, en su búsqueda ciega de “Optimalidad”. El presente trabajo de grado está enmarcado en la construcción de un modelo de inventario basado en una de las herramientas de Computación Emergente, como lo son los Autómatas Celulares, que permita simular una Sociedad Artificial con un sistema de producción/distribución, que reproduzca comportamientos complejos observados en los sistemas reales, así como analizar el impacto de diferentes tipos de estrategias a seguir por parte de los diferentes actores.

CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO

CAPITULO 1: Marco Teórico

En este capítulo se desarrolla el fundamento teórico de los sistemas de inventario, así como el marco conceptual necesario para comprender la herramienta de computación emergente conocida como Autómatas Celulares, y más específicamente un tipo particular de estos como son las Sociedades Artificiales. Finalmente se conceptualiza brevemente los Sistemas Autónomos, y más concretamente un fenómeno autonómico común en sistemas de inventario conocido con el nombre de efecto “Bullwhip”.

1.1 Sistemas de Inventario

Los inventarios existen debido a que, por razones de índole física y económica, es imposible que la oferta y la demanda coincidan [Narasimhan, S.; McLeavey, D.; Billington].

Por tanto uno de los principales problemas de cualquier negocio o industria, es el determinar un nivel de inventario adecuado, el cual permita una operación continua, pero manteniéndolos en un mínimo nivel. Mientras el exceso de inventario implica un capital ocioso que no aporta nada, su deficiencia podría conllevar a interrupciones comerciales que repercutirían en costos adicionales.

1.1.1 Costos de un sistema de inventario

Todo sistema de inventario tiene asociado ciertos costos, pero los de mayor importancia y considerados pertinentes para el presente trabajo son:

Costo de inversión (Costo de las Unidades)

Costo de llevar o mantener (Costos de Almacenamiento)

Costo de preparación (Costo de Pedido)

Costo de agotar existencias (Costo de Escasez)

El **costo de inversión** se refiere al costo por unidad del artículo adquirido. Este costo puede ser constante o se pueden ofrecer descuentos en dependencia del volumen solicitado*.

Cada unidad mantenida en el inventario, conlleva un costo que incluye el interés sobre el capital, así como su mantenimiento y manejo. Este costo es conocido como **Costo de almacenamiento** o de mantenimiento.

El **costo de preparación** se refiere al cargo por efectuar el pedido. Este costo es fijo e independiente del pedido.

Es casi imposible cuantificar los **costos de agotar existencias**. Las existencias se agotan cuando no son suficientes para satisfacer la demanda de un cliente. Este costo incluye la pérdida potencial de los ingresos, así como el más subjetivo pero no menos importante como lo es la pérdida de confianza y aceptación por parte de los consumidores.

1.1.2 El Problema de Inventario

Todo problema de inventario consiste en tomar decisiones de forma tal que logren minimizar el costo total del sistema de inventario. Para lograrlo, es necesario responder a las siguientes preguntas:

- ◆ ¿Cuándo se ordena?
- ◆ ¿Cuánto se ordena?

* En nuestro caso particular no se aplican descuentos por volumen.

Al responder a estas preguntas de forma tal que logren minimizar los costos pertinentes de inventario referidos anteriormente, se estaría resolviendo el problema de inventario. Por lo tanto, el problema de inventario consiste en encontrar los valores de estas variables (Cuándo y Cuánto) que minimicen el costo total.

1.1.3 Conceptos Básicos

A continuación se desarrollaran algunos conceptos y definiciones básicas de inventarios, que se utilizarán a lo largo del presente trabajo.

1.1.3.1 Curva Inventario – Tiempo

También conocida como curva de variación de inventarios en el tiempo. Permite visualizar de una manera simple el problema de los inventarios.

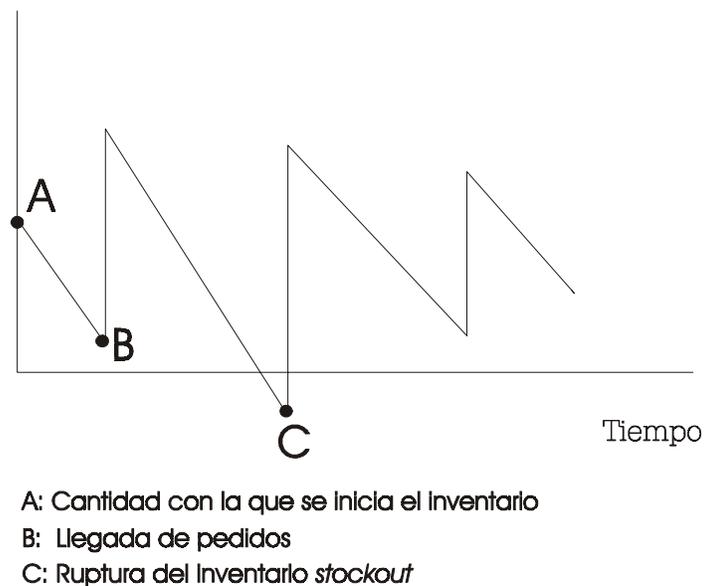


Figura 1: Curva Inventario - Tiempo

En la práctica esta gráfica puede sufrir modificaciones por alguna de las siguientes razones, o ambas inclusive [Diaz M., Angel]:

- ◆ Los pedidos son recibidos progresivamente, como es frecuente en el caso de bienes adquiridos contra fabricación, o con entregas parciales.
- ◆ Acumulación de demandas insatisfechas (*backlogs* o *backorders*) en situaciones donde ocurren rupturas de inventario.

1.1.3.2 Consumo

Es la diferencia entre el número de unidades al comienzo de un período con respecto al número de unidades al final del mismo. En otras palabras es el número de unidades retiradas del inventario en un período de tiempo dado [Diaz M., Angel].

1.1.3.3 Demanda

El concepto de demanda es muy similar al de consumo, pero a diferencia de éste, se refiere a la cantidad de unidades solicitadas y no a las despachadas. Si existe suficiente inventario, de forma que no exista escasez, la demanda es igual al consumo, ya que cada unidad solicitada es despachada. En caso que ocurra una ruptura del inventario (escasez), y durante ese período sean solicitadas más unidades, la demanda será superior al consumo [Diaz M., Angel].

En general, los *inventarios de seguridad* son calculados en función de la demanda y no del consumo, bajo la premisa de que la demanda representa las necesidades reales de los clientes.

1.1.3.4 Tiempo de reposición (Te)

Es el tiempo comprendido entre la detección de la necesidad de compra de un cierto número de unidades y el momento en que éstas llegan físicamente [Diaz M., Angel].

El tiempo de reposición puede descomponerse en dos partes:

- ◆ El tiempo que transcurre desde la detección de la necesidad hasta la emisión de la orden de compra.
- ◆ El tiempo que transcurre desde la emisión de la orden de compra hasta la recepción física*.

1.1.3.5 Inventario de Seguridad (IS)

Estos se generan para atenuar variaciones en los niveles de demanda o para cubrir errores en su estimación [Diaz M., Angel].

En la fig. 2 se observa una curva de inventario – demanda. Si nos ubicamos en el período (1), se aprecia la realización de un pedido que toma en cuenta una estimación de la demanda futura; este pedido será entregado luego de un período de tiempo ($te=1$). Si la *demand real* luego del período (1) aumenta de manera significativa, ocasionaría una ruptura del inventario (escasez), ya que se agotarían los productos antes de la llegada del pedido en el período (2).

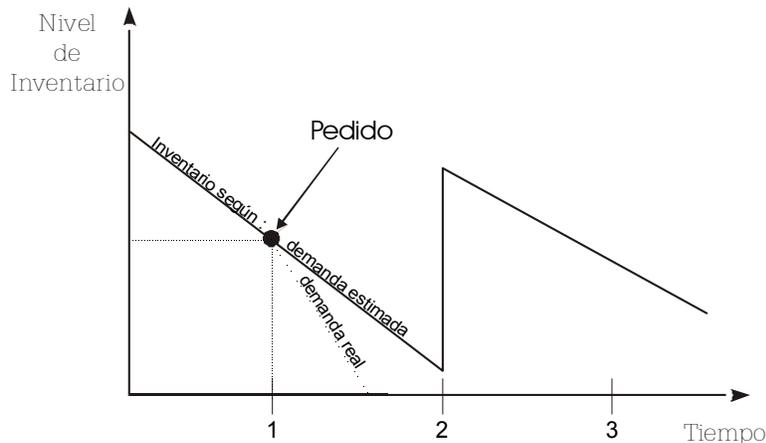


Figura 2: Curva Inventario – Tiempo Con Demanda Estimada y Real

En la fig. 3 se observa el mismo caso, pero incorporando un Inventario de Seguridad, que funciona como un “colchón” evitando así la ruptura del inventario.

* Para los efectos de este trabajo sólo se tomará en cuenta este tiempo.

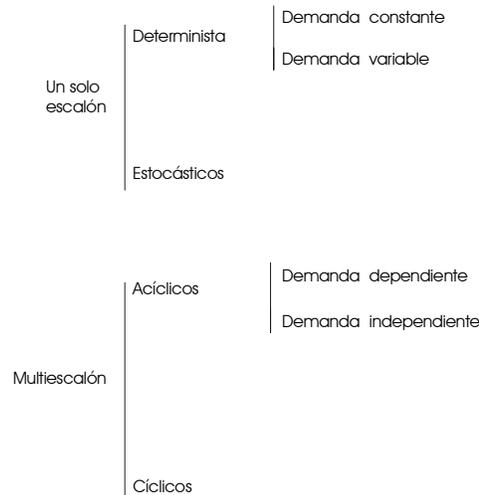


Figura 4: Clasificación de los Sistemas de Inventario

Adaptado de Díaz M., Angel (1999)

Para los efectos del presente trabajo, el enfoque va a estar dirigido a los sistemas de inventario de un solo escalón, ya que para los modelos supuestos se considera que éste se concentra en un solo sitio.

1.1.5 Modelos de Inventario de un Solo Escalón

Los modelos más comunes para optimizar inventario en una localidad, pueden ser clasificados según se considere la demanda, como determinística o estocástica. En la Fig. 5, se muestra la clasificación de los modelos de inventario de un solo escalón según Díaz M., Angel (1999).

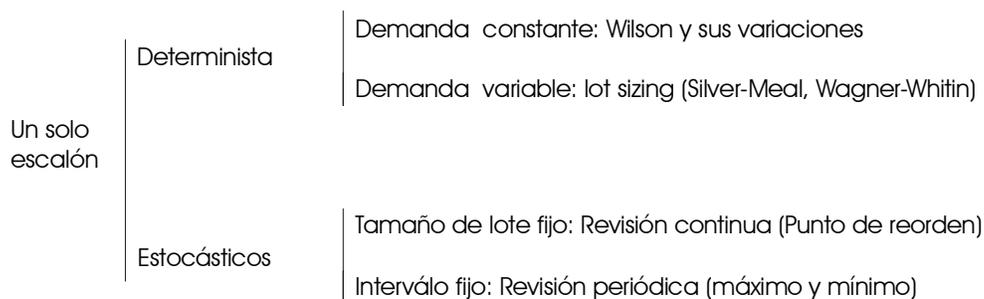


Figura 5: Taxonomía de Modelos de Inventario de Un Solo Escalón

Adaptado de Díaz, Angel (1999)

1.1.5.1 Modelo de revisión continua

Este tipo de modelo considera lo siguiente:

- ◆ Demanda variable y no determinística
- ◆ Disponibilidad de productos no instantánea ($t_e > 0$)
- ◆ Escasez de productos permitida
- ◆ Períodos de reorden son variables

La fig. 6-a muestra el comportamiento de los modelos de inventario con nivel de reorden y tamaño de lote fijo. En este tipo de modelo, se efectúa un pedido de volumen q cada vez que el nivel de inventario llega al nivel de reorden z , este pedido es recibido después de un tiempo de entrega t_e , de esta forma las existencias se agotan de manera irregular de acuerdo con la demanda no determinística.

En la fig. 6-b se observa el comportamiento de los modelos de inventario con nivel de reorden y nivel de orden, en los cuales se hace un pedido de un volumen tal, que el inventario llegue a un nivel de orden Z cada vez que el nivel de inventario pasa el nivel de reorden z y se recibe después de un tiempo de entrega determinado. Por tanto, con este modelo se puede responder satisfactoriamente a las preguntas del problema de inventario:

¿Cuándo? → Cuando el nivel de inventario sea menor al nivel de reorden z .

¿Cuánto? → Una cantidad q o una cantidad tal que el nivel de inventario llegue a un nivel de orden Z .

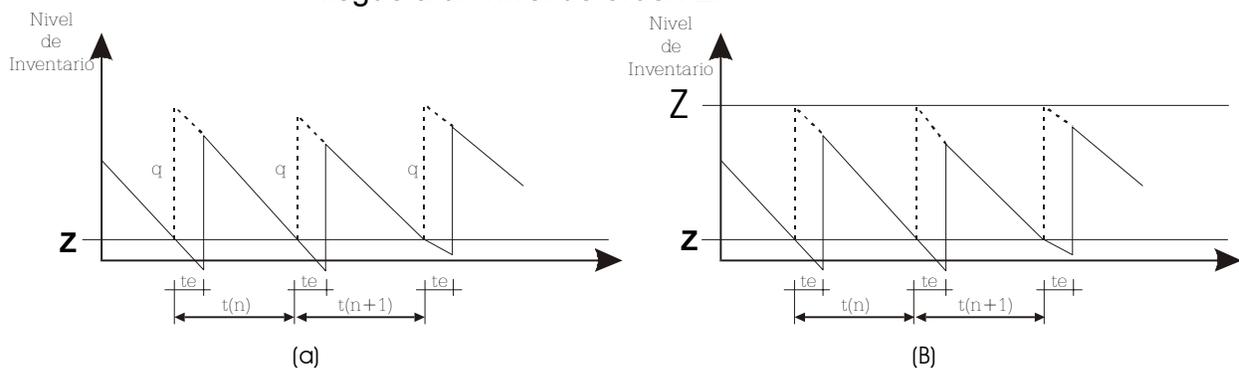


Figura 6: Modelos de Inventario de revisión continua

1.1.5.2 Modelo de inventario con revisión periódica

Este tipo de modelo considera lo siguiente:

- ◆ Demanda variable y no determinística
- ◆ Disponibilidad de productos no instantánea ($t_e > 0$)
- ◆ Escasez de productos permitida
- ◆ Períodos de reorden son constantes

La fig. 7-a muestra el comportamiento de los modelos de inventario con revisión periódica y tamaño de lote fijo, en los cuales se efectúa un pedido de volumen q unidades cada t unidades de tiempo y se recibe después de un tiempo de entrega t_e . En la fig. 7-b se observa el comportamiento de los modelos de inventario con revisión periódica y nivel de orden, que a diferencia de los de tamaño de lote fijo, se efectúa un pedido de tamaño tal, que el inventario llegue a un nivel de orden Z , cada t unidades de tiempo, para ser recibidos luego de un tiempo de entrega t_e .

Se responde entonces a las preguntas del problema de inventario, de la siguiente forma:

¿Cuándo? → Cada período de tiempo t .

¿Cuánto? → Una cantidad q o una cantidad tal que el nivel de inventario llegue a un nivel de orden Z .

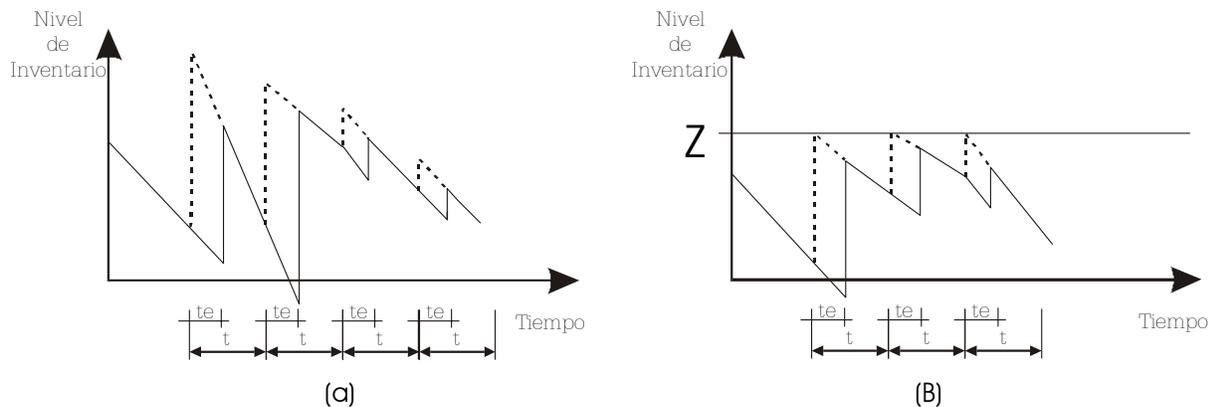


Figura 7: Modelos de Inventario de revisión periódica

1.1.6 Esquemas Heurísticos

En muchos casos prácticos, los modelos matemáticos tradicionales son tan complejos que es prácticamente imposible resolverlos mediante cualquiera de los algoritmos de optimización disponibles. En estos casos la **heurística** puede demostrar ser muy útil, al encontrar buenas soluciones mediante reglas cortas de fácil y rápida ejecución.

En el presente trabajo se diseñaron diversas reglas heurísticas, las cuales van a ser empleadas en lugar de los algoritmos de optimización tradicionales. Estas reglas heurísticas tratarán de reproducir comportamientos utilizados en el ámbito real para manejo del inventario.

1.1.6.1 Heurística 1

La *Heurística 1* está basada en un modelo de inventario de revisión continua, en el cual se realiza un pedido de volumen Q cada vez que la siguiente regla de reabastecimiento se cumple:

$$CEM_t \leq DS_t + IS_t$$

Donde CEM_t es la cantidad en mano o disponible físicamente, DS_t es la demanda suavizada para el período e IS es el inventario de seguridad, calculado así:

$$IS_t = FS * CEM_t$$

Donde FS representa el factor de seguridad, o la fracción de la cantidad de inventario en mano (CEM_t) que es considerada mantener por encima de la demanda actual, con el fin de evitar ciclos de escasez o de ruptura del inventario.

El volumen de pedido Q_t , es calculado de la siguiente forma:

$$Q_t = DS_t + IS_t - CEM_t$$

Esta heurística trata de reproducir una práctica frecuente, que consiste en chequear el inventario actual y compararlo con el inventario objetivo o *target* (*order-up-to level*) y ordenar la diferencia.

1.1.6.2 Heurística 2

La heurística 2 es muy similar a la heurística 1, sólo que en este caso se considera además del inventario en mano, el inventario en tránsito. Se realiza entonces un pedido de volumen Q cada vez que se cumple la siguiente regla:

$$CEM_t + CET_t \leq DS_t T_R + IS_t$$

Donde CET_t es la cantidad en tránsito o solicitudes no recibidas, y T_R es el tiempo de reposición.

El inventario de seguridad es calculado de la siguiente forma:

$$IS_t = FS * (CEM_t + CET_t)$$

El pedido Q es calculado así:

$$Q_t = DS_t T_R + IS_t - (CEM_t + CET_t)$$

Esta heurística trata de reproducir otra práctica común en sistemas de inventario con grandes demoras en la entrega de los pedidos. Esta consiste en chequear el nivel del inventario actual (en mano y en tránsito) y compararlo con el inventario *target*, ordenando la diferencia.

1.1.6.3 Heurística 3

Esta heurística esta basada en un trabajo realizado por Marc Lambrecht, Jeroen Dejonckheere, Denis Towill y Stephen Disney, la cual consiste en realizar un pedido incorporando sólo una fracción de las discrepancias entre el inventario *target* u objetivo y el inventario actual (en mano y en órdenes).

Se realizará un pedido cada vez que:

$$DS_t + \beta (TCEM_t - CEM_t) + \gamma (TCET_t - CET_t) \geq 0$$

Donde β y γ son parámetros de suavizado del modelo, $TCEM_t$ es el inventario en mano *target* (*objetivo*), calculado así:

$$TCEM_t = DS_t * (1 + FS)$$

Y $TCET_t$ se refiere al inventario en tránsito *target*, el cual será calculado así:

$$TCET_t = DS_t * T_R$$

El pedido Q_t será calculado como sigue:

$$Q_t = DS_t + \beta (TCEM_t - CEM_t) + \gamma (TCET_t - CET_t)$$

Esta heurística es un intento por atenuar los efectos perjudiciales del llamado “Bullwhip Effect”, el cual causa oscilaciones recurrentes en los inventario-pedidos, incrementando los costos de inventario. Este efecto será explicado con más detalle más adelante.

1.2 Autómatas Celulares

1.2.1 Introducción

Los autómatas celulares fueron introducidos a finales de los años cuarenta por John von Neumann y Stanislaw Ulam, con el fin de disponer de un modelo más realista que reprodujera el comportamiento de sistemas biológicos. Sin embargo comenzaron a ser usados desde un punto de vista más práctico a finales de los años sesenta, cuando John Horton Conway desarrolló el juego de la vida [Schantten, Alexander].

Muchos nombres distintos se le han dado a esta poderosa herramienta, y algunos conceptos diferentes han sido empleados con el mismo nombre, pero nunca ha sido un concepto tan popularmente usado como ahora.

1.2.2 Definición

Los autómatas celulares pueden ser definidos como sistemas dinámicos discretos, cuyo comportamiento está completamente especificados en término de relaciones de tipo local.

1.2.3 Características Básicas y Componentes

Los autómatas celulares poseen un alfabeto finito el cual define los estados de las celdas. Estos estados evolucionan en el tiempo el cual transcurre de manera discreta y síncrona*, permitiendo el paralelismo. La evolución se efectúa de acuerdo con reglas definidas sobre relaciones de tipo local.

Los autómatas celulares constan de un conjunto n-dimensional de celdas organizadas geoméricamente. El estado de cada celda, viene determinado según el alfabeto del autómata celular, el cual es de carácter finito. La forma como son consideradas las celdas vecinas en la determinación del estado de la celda central, es también una característica del autómata conocida como vecindad.

* Todas la celdas pueden cambiar de estado al mismo tiempo.

Existen entonces cuatro componentes fundamentales que definen a un autómata celular, éstos son: el reticulado n-dimensional, el alfabeto, la vecindad y las reglas de transición.

1.2.3.1 Reticulado

El reticulado está constituido por un conjunto de celdas organizadas en una especie de plano espacial. Este conjunto de celdas constituye el elemento básico de un autómata celular, que funcionan como una especie de memoria que almacena estados. En el caso más simple, cada celda puede tener los estados binarios 1 ó 0. En otras simulaciones más complejas estas celdas pueden tomar muchos más estados. Incluso es posible que cada celda posea más de una propiedad o atributo, y cada una de éstas puede tener dos o más estados.

El ordenamiento más simple de las celdas en el reticulado, es el de una dimensión, lo cual significa que todas las celdas están organizadas en una línea tal como un collar de perlas. Estos poseen la ventaja de ser de muy fácil visualización, ya que los estados en un instante de tiempo pueden ser mostrados en una dimensión, mientras que en otra dimensión, se puede visualizar el comportamiento dinámico del autómata. Los autómatas celulares de dos dimensiones sólo pueden mostrar el estado en un instante de tiempo, sin embargo tiene la ventaja de poder visualizar otro tipo de comportamientos dinámicos imposibles de observar en los autómatas celulares unidimensionales. Existen ordenamientos de más dimensiones, sin embargo la mayoría de los autómatas celulares son construidos en una o dos dimensiones.

1.2.3.2 Alfabeto

El alfabeto constituye un conjunto de valores discretos y finitos sobre el cual se escogen los diferentes estados que van a tomar las celdas. Esta escogencia se realiza de acuerdo con un proceso de transición a la cual se someten las celdas en cuestión, en función del estado de sus celdas vecinas en un mismo instante de tiempo.

1.2.3.3 Vecindad

En los autómatas celulares, una regla define el estado de una celda en dependencia de sus vecindades. Sin embargo son posibles diferentes tipos de vecindades. Si se considera un reticulado de dos dimensiones, son comunes las siguientes:

1.2.3.3.1 Vecindad de von Neumann

Las cuatro celdas, arriba, abajo, izquierda y derecha de cada celda son llamadas vecindad de von Neumann de la celda central (ver fig. 8).

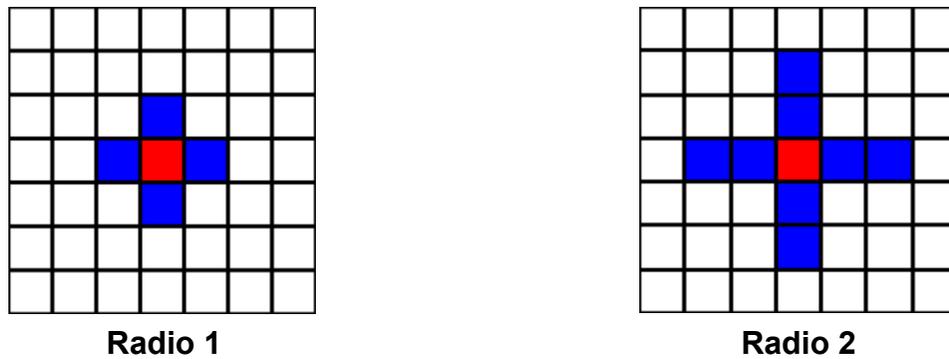


Figura 8: Vecindad de von Neumann

1.2.3.3.2 Vecindad de Moore

La vecindad de Moore es una extensión de la vecindad de von Neumann, incluyendo también las celdas diagonales (ver fig. 9)

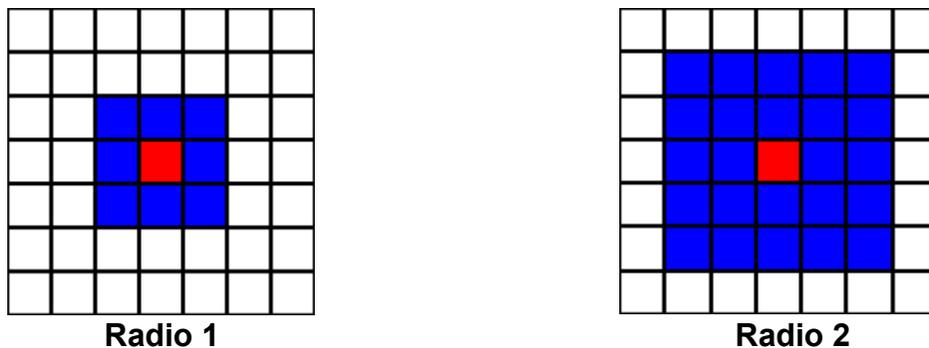


Figura 9: Vecindad de Moore

Debido a que el número de celdas en un reticulado tiene que ser un número finito, ocurre un problema con las vecindades de los bordes. Los efectos de este problema, dependen de las dimensiones del reticulado. Para un reticulado 10X10, por ejemplo, alrededor de 40% de las celdas están en bordes, mientras que para un reticulado 100X100, alrededor de 4%. Dos soluciones comunes a este problema son las siguientes:

- ◆ Bordes opuestos del reticulado son “pegados juntos” (simulando condiciones periódicas de borde). En un reticulado unidimensional, se convierte en un círculo, y en un reticulado bidimensional se convierte en una especie de toroide (ver fig. 10).
- ◆ Las celdas de los bordes son reflejadas, lo que origina propiedades de bordes simétricas.

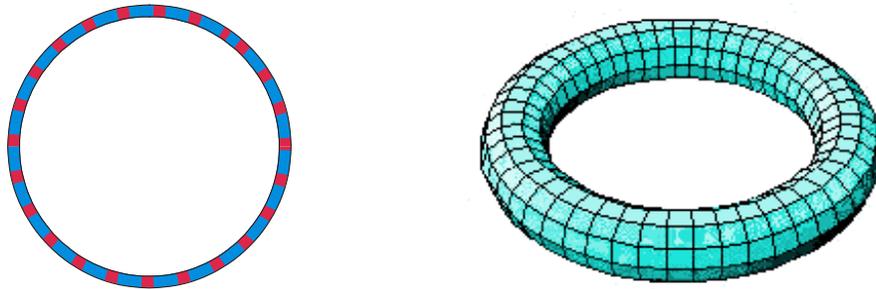


Figura 10: Círculo y Toroide

1.2.3.4 Reglas de transición

Son un conjunto de reglas dinámicas que definen cómo el estado de cada celda cambia en función de su estado actual y el de sus vecinos.

Un ejemplo, a nivel macroscópico, de la dinámica que se origina mediante interacciones locales, es la “ola” en un estadio de fútbol. Cada persona reacciona solamente al estado de su vecindad. Si sus vecinos se levantan, él se levantará, y después de un corto tiempo (latencia) se sentará. Las interacciones locales rigen la dinámica global. Existen tres tipos de clases de reglas fundamentales:

- ◆ Cada grupo de estados de las celdas de la vecindad están relacionados con un estado de la celda central. Considérese un autómata celular de una dimensión, una regla pudiera ser “110 -> x0x”, lo que significa que la celda central cambiará a “0” en el siguiente período, si la celda de la izquierda es “1”, la celda de la derecha es “0” y la celda central es “1”. En este tipo de reglas, cada estado debe ser descrito.
- ◆ Reglas “totalísticas”: El estado de la celda central en el siguiente instante de tiempo, solamente depende de la suma de los estados de las celdas de su vecindad. Por ejemplo: si la suma de las celdas adyacentes es “2” el estado de la celda central cambiará a “1” en cualquier otro caso será “0”.
- ◆ Reglas “legales”: Este tipo de reglas representa un subconjunto de las reglas totalísticas. En muchos casos prácticos no es favorable la generación de patrones desde estados “0”. Por tanto estas reglas incluyen todas las reglas totalísticas menos estas últimas.

1.2.4 Clasificación de las propiedades dinámicas de los autómatas celulares

Numerosos estudios se han llevado a cabo en esta área, sin embargo los resultados de estos estudios sólo conducen a una clasificación cualitativa de los autómatas celulares.

Para el caso particular de los Autómatas Celulares unidimensionales, Wolfram (1983,1986) determinó luego de numerosos experimentos, que éstos poseen comportamientos que se pueden clasificar en cuatro tipos fundamentales:

- ◆ Clase 1 – Punto límite: Luego de un número finito de instantes de tiempo, los autómatas celulares de clase 1 tienden a alcanzar un estado homogéneo (todas las celdas en un mismo estado), desde casi cualquier condición inicial.
- ◆ Clase 2 – Ciclo límite: Crea patrones con estructuras fijas o periódicas. Este tipo de Autómatas Celulares es utilizado ampliamente en el procesamiento de imágenes digitales.

- ◆ Clase 3 – Caótico – atractor “extraño”: Desde casi cualquier condición inicial posible, este tipo de autómatas celulares genera patrones caóticos – aperiódicos. Pequeños cambios en las condiciones iniciales conducen a patrones totalmente distintos.
- ◆ Clase 4 – Comportamiento aún más complejos: Este tipo de A.C.s generalmente “muere” (todos los estados quedan en “0”) luego de un número finito de instantes de tiempo, sin embargo, bajo ciertas condiciones se pueden generar patrones complejos localizados y patrones estables. Este tipo de A.C.s es capaz de realizar cómputo universal.

1.3 Sociedades Artificiales

1.3.1 Introducción

La limitada posibilidad de experimentar en muchas de las áreas de las ciencias sociales, ha llevado a los investigadores al empleo de modelos de simulación, como una herramienta para reproducir las interacciones complejas que ocurren en las sociedades reales. Estos modelos permiten estructurar simples **sociedades artificiales** de agentes computacionales con los cuales es posible experimentar en un ambiente controlado.

Epstein y Axtell en 1966 fueron los primeros en introducir el concepto de **sociedades artificiales**, con la finalidad de modelar procesos sociales. Este modelo está basado en la combinación de autómatas celulares y modelos basados en agentes. Un agente puede ser considerado como una entidad física o abstracta capaz de actuar (obrar) sobre ella misma y sobre el medio, disponiendo de una representación parcial de ese medio, pudiendo comunicarse con otros agentes y, en el cual, el comportamiento, es la consecuencia de sus observaciones, de su conocimiento y de sus interacciones con otros agentes [Torres Michel].

1.3.2 Definición

Una sociedad artificial puede ser definida como un modelo de computadora que consiste en una población de agentes autónomos y un ambiente separado en el cual estos agentes habitan. Estos modelos combinan una herramienta homogénea como lo son los autómatas celulares, con otra heterogénea como lo son los agentes de las sociedades artificiales, los cuales tienen características particulares que los hacen actuar de acuerdo con ellas y con su entorno [Otero, M].

1.3.3 Características

Las **sociedades artificiales** poseen ciertas características y propiedades importantes, que hacen atractivas su empleo en la reproducción de fenómenos sociales.

Algunas de estas características y propiedades se detallarán brevemente a continuación:

1.3.3.1 Enfoque Bottom-up

Este tipo de enfoque permite observar fenómenos sociales a gran escala (Fenómenos Macro), a partir de rasgos locales observables a pequeña escala (Interacciones a nivel Micro).

Mediante este enfoque, las estructuras sociales fundamentales y los comportamientos grupales emergen de operaciones individuales en ambientes artificiales.

1.3.3.2 Población de Agentes

Un agente puede ser considerado como una entidad física o abstracta capaz de actuar (obrar) sobre ella misma y sobre el medio, disponiendo de una

representación parcial de ese medio, pudiendo comunicarse con otros agentes y en el cual el comportamiento, es la consecuencia de sus observaciones, de su conocimiento y de sus interacciones con otros agentes [Torres, Michel].

Estos agentes, que constituyen los individuos de la sociedad artificial, poseen estados y características particulares que los diferencian unos de otros. Estas características y estados pueden cambiar o evolucionar de acuerdo con las interacciones con el ambiente u otros agentes.

1.3.3.3 Ambiente Artificial

El ambiente artificial constituye un medio controlado que permite experimentar con diferentes configuraciones observando las consecuencias y resultados. Este ambiente controlado posee reglas y propiedades que rigen las interacciones con la población de agentes.

1.4 Sistemas Autónomos

1.4.1 Definición

Un sistema es autónomo, si está sometido a sus propias leyes, genera reacciones de tipo circular, que se auto-reproducen, lo que hace emerger en el medio una entidad que puede ser considerada distinta al medio [Torres, Michel].

1.4.2 Fenómenos Autonómicos e Inventario (Bullwhip Effect)

En el área de inventario existe un fenómeno autonómico bien documentado, conocido como “Bulwhip Effect”. El efecto “Bullwhip” (como se referirá en lo subsiguiente) puede ser definido como un fenómeno que ocasiona aumentos y descensos recurrentes en los niveles de inventario - pedidos, lo cual incrementa los costos de inventario.

1.4.2.1 Beer Game – Juego de la Cerveza

El análisis del efecto “Bullwhip” fue iniciado por Jay Foster (1960), quien con sus colegas también diseñó un juego conocido como “Beer Game” o el juego de la cerveza. En el juego de la cerveza, individuos (reales) juegan el papel de entidades discretas dentro de una cadena de suministros de cerveza, en donde sólo el minorista tiene acceso a la demanda verdadera (tal como en la realidad).

Típicamente las cuatro posiciones que pueden asumir los jugadores son: fábrica, distribuidor, mayorista y minorista (ver fig. 11).

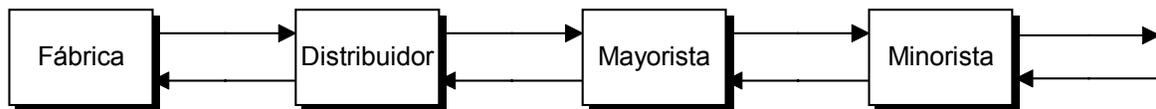


Figura 11: Cadena de distribución en el juego de la cerveza

Basándose en la información de la demanda actual, los minoristas pronostican la demanda futura y realizan pedidos al distribuidor. El distribuidor entonces pronostica órdenes del mayorista, quien a su vez pronostica órdenes del minorista, y así sucesivamente a lo largo de la cadena.

Cada pedido se realiza suponiendo que el pronóstico anterior es correcto. Luego de algunas rondas de pedidos, la inestabilidad se hace presente en el sistema. Las fluctuaciones de la demanda a nivel de los minoristas repercuten dramáticamente a través de la cadena de suministros. Los jugadores responden a esta inestabilidad en la demanda con ajustes frecuentes en sus pronósticos. Por ejemplo, si el distribuidor recibe un incremento en los pedidos de 10 a 15 unidades, éstos entran en pánico duplicando sus pedidos, previniendo quedarse sin inventario en caso que la tendencia continúe. Finalmente, los jugadores

quedan con un exceso de inventario que los obliga a dejar de solicitar pedidos, colocándolos en una posición vulnerable en caso de futuras inestabilidades.

La fig. 12 muestra un ejemplo de lo que podría definirse como un comportamiento típico en el juego de la cerveza, donde a pesar de existir poca inestabilidad en los pedidos provenientes de los minoristas, estas inestabilidades se ven magnificadas a través de la cadena de suministros, a medida que se pierde contacto con la demanda real del sistema.

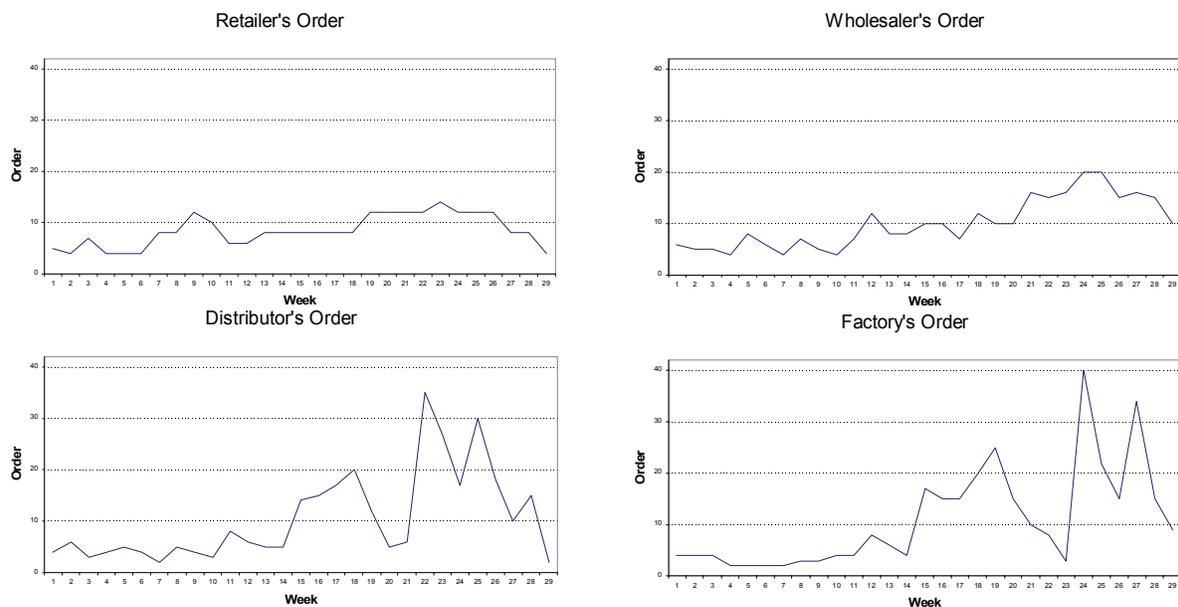


Figura 12: Ejemplo de demanda en el juego de la cerveza.

Fuente: [Hau L. Lee, V. Padmanabhan, Scungjin Whang]

1.4.2.2 Consecuencias del Efecto "Bullwhip"

Las enormes fluctuaciones en los niveles de inventario – pedidos, puede causar numerosos problemas para cualquier sistema de distribución. De acuerdo con estudios realizados por la Universidad de Georgia, los problemas en la cadena de suministros cuestan en promedio entre 9% y 20% sobre su valor global, en un

período de 6 meses*. Estas pérdidas financieras son producto, principalmente, de las siguientes consecuencias del efecto “Bullwhip”:

- ◆ Cantidades excesivas de inventario
- ◆ Pobre calidad de servicio al consumidor
- ◆ Pérdida de ingresos
- ◆ Calidad poco satisfactoria

Como podría esperarse, la incapacidad para pronosticar la demanda resulta en un exceso de inventario. Inversamente, ésta incapacidad para pronosticar la demanda, podría ocasionar una ruptura del inventario. El no tener suficientes artículos en *stock* significa tanto la pérdida de los ingresos como la potencial pérdida del cliente. Incluso, cuando algunas compañías podrían satisfacer pedidos no esperados, manufacturando con una tasa mayor a la normal, por lo general esto resulta en productos de baja calidad, lo que ocasiona a su vez pérdidas adicionales.

1.4.2.3 Causas de Efecto “Bullwhip”

Las principales causas del efecto “Bullwhip” son:

- Cadenas de suministros de etapas múltiples con demoras entre etapas.
- Información limitada entre etapas.
- Percepciones y temores.

Un Sistema con estas condiciones, no está equipado para responder de manera inmediata y acertada a posibles fluctuaciones en la demanda. Por esta razón, los agentes del sistema se ven en la necesidad de predecir cuánto producto van a necesitar en el futuro, manteniendo un exceso de inventario. Las fluctuaciones en la demanda ocasionan temores de exceso o escasez de stock, lo que a su vez

* Reddy, Ram. “Taming the Bullwhip Effect”, Intelligent Enterprise, 2001.

ocasiona el incremento o decremento en los pedidos a sus suplidores. Este tipo de reacciones produce una falta de correspondencia entre la demanda y el inventario.

Existen algunas políticas que pueden acentuar estas discrepancias, éstas son:

- ◆ Acumulación de pedidos: Esta práctica común consiste en reducir los costos de pedidos, retrasando órdenes. Aunque esta política genera beneficios a corto plazo, a largo plazo contribuye a incrementar el efecto “Bullwhip”, causando fluctuaciones en el suministro. Esto ocurre debido a que esta acumulación no responde a la demanda de los consumidores. Adicionalmente, esta política contribuye a un pobre pronóstico, al no obedecer a la demanda real.
- ◆ Juego en situaciones de escasez: Si los consumidores creen que un producto está escaseando, frecuentemente duplicarán sus órdenes con la expectativa que sólo una de las dos sea satisfecha. Desafortunadamente, esta duplicación de órdenes, conlleva a la creencia de que la demanda se ha duplicado, lo cual no es cierto. Si no se posee información sobre la demanda real, las decisiones deberán ser tomadas basándose en demandas irracionales alimentadas por la ansiedad de los consumidores.
- ◆ Precios promocionales: Mientras esta política genera beneficios a corto plazo (debido al incremento de las ventas), usualmente lo hace a expensas de compras futuras. Los consumidores reconocen la reducción temporal de precios, por lo tanto acaparan productos. Esto ocasiona una demanda errática resultando en picos de consumo, generando a su vez fluctuaciones a lo largo de la cadena de suministros.
- ◆ Pronósticos: Cuando las diferencias entre el pronóstico y la realidad son significativas, se crea la potencial escasez o exceso de inventario. Los pronósticos por demandas futuras y los inventarios de seguridad, son continuamente actualizados de acuerdo con las fluctuaciones en la demanda real. La falta de transparencia en la cadena de suministros hace imposible determinar si estos ajustes son debidos a la demanda verdadera o al acaparamiento.

1.4.2.4 ¿Cómo Reducir el Efecto “Bullwhip”?

- ◆ **Aumentando la cantidad de información:** Uno de los principales detonantes del efecto “Bullwhip” es la desconexión de información existente entre producción y la cadena de suministros. Por lo tanto una de las formas de atacar el problema es aumentando la cantidad de información en poder de los actores; de esta manera estarían en capacidad de realizar un mejor pronóstico de la demanda real. Sin embargo esta solución no siempre es viable, ya que requiere una intervención a lo largo de toda la cadena de suministro, algo no siempre posible*.

- ◆ **Cambiando la regla de reabastecimiento:** Muchas reglas de reabastecimiento inducen automáticamente el efecto “Bullwhip”. En condiciones normales, la práctica común es chequear la demanda y ajustar los parámetros de las reglas de reabastecimiento de inventario. Estos ajustes son efectuados, debido a que el decisor reacciona a las variaciones en la demanda del mercado. Los decisores ajustan constantemente los niveles de inventario, inventarios de seguridad y la demanda pronosticada, lo que ocasiona una amplificación en la variación.

- ◆ **Evitar precios promocionales:** La política de la oferta es muy usada debido a que incrementa las ventas a corto plazo, pero a largo plazo tienden a incrementar las fluctuaciones a nivel de consumidor final, generando aun mayores fluctuaciones a lo largo de la cadena de suministros. Por tanto evitar prolongadas reducciones de precios, tienden a reducir las consecuencias asociadas con el efecto “Bullwhip”.

* Para los efectos de este trabajo esta solución será descartada, debido a que implica que cada agente dentro del autómata celular posea información global.

CAPITULO 2: MODELO PROPUESTO

Capítulo 2: Modelo Propuesto

En este capítulo se explica el fundamento del modelo de simulación de sociedades artificiales basado en autómatas celulares, diseñado y desarrollado en el presente trabajo, así como las propiedades de la herramienta computacional elaborada.

2.1 Fundamentos del Modelo

El modelo propuesto, el cual está basado en Autómatas Celulares, representa una Sociedad Artificial con un sistema elemental de producción/distribución. La idea principal de este modelo, es la reproducción de comportamientos observados en los sistemas de inventario reales, permitiendo experimentar diversos escenarios, evaluando su impacto sobre cada uno de los actores y sobre sistema. El presente trabajo ahondará en los fenómenos autonómicos presentes en los sistemas de inventario (Efecto “Bullwhip”), así como en la experimentación con diversas estrategias, bajo dichas condiciones, ejecutadas por parte de los actores involucrados y el estudio de sus efectos sobre el desempeño global.

2.1.1 Aspectos Básicos del Modelo

El sistema de producción/distribución modelado, posee tres actores: individuos, quioscos y la fábrica (Ver fig. 13).

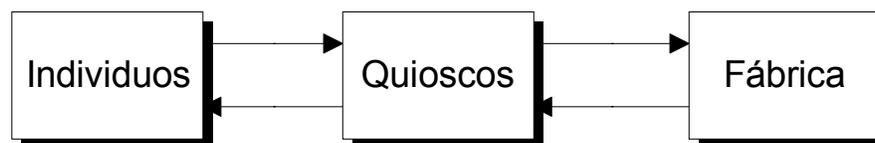


Figura 13: Modelo - Actores

Estos representan el sistema de producción/distribución más elemental, conformado por: consumidores (Individuos), minoristas (Quioscos) y productor

(Fábrica). Existe una interacción directa entre Individuos y Quioscos: estos últimos suministran bienes a los Individuos de la sociedad a cambio de recursos monetarios (Dinero). Mientras que la Fábrica por su parte suministra a los Quioscos los bienes a ser vendidos a los Individuos, también a cambio de recursos monetarios.

Además de estos actores la Sociedad Artificial posee en su ambiente, elementos fundamentales para la simulación del sistema de inventario, como son:

- ◆ Alimento: el cual representa un bien producido por la fábrica, comprado por los quioscos y necesario para la supervivencia de los individuos dentro de la sociedad.
- ◆ Dinero: que representa la unidad monetaria mediante la cual se realizan las transacciones o intercambios dentro de la sociedad.

En la Fig. 14, se puede observar la forma como se intercambian estos recursos dentro de la sociedad.

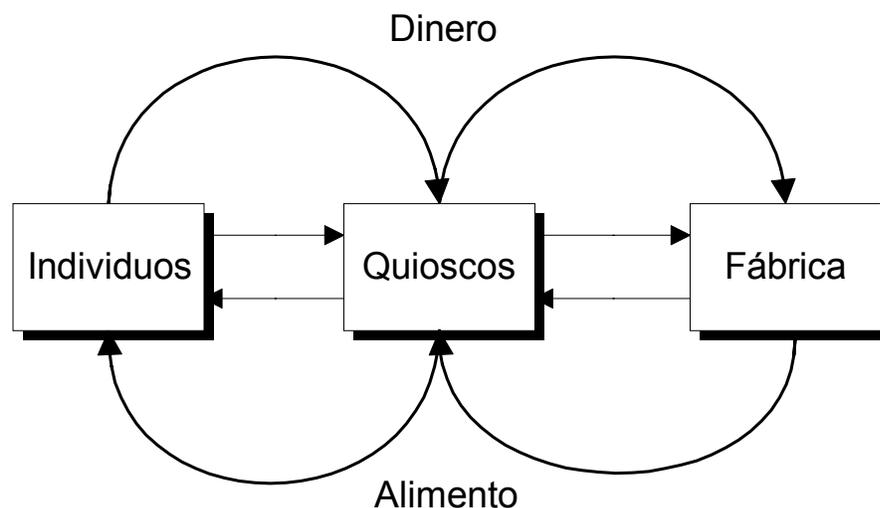


Figura 14: Modelo -Transacciones Alimento-Dinero Entre Actores

2.1.2 Atributos

A continuación se describirán cada uno de los atributos de los actores dentro de la sociedad artificial.

2.1.2.1 Individuos

Cada individuo posee un conjunto de rasgos que lo definen dentro de la sociedad; a continuación se describirá cada uno de sus atributos básicos:

- ◆ **Tiempo de vida:** Especifica la cantidad de iteraciones que un individuo podrá interactuar con el medio. Luego del vencimiento del mismo éste será sustituido por otro individuo nuevo. La inicialización de este atributo está dada por una distribución uniforme entera.
- ◆ **Riqueza:** Representa la cantidad de dinero acumulada por los individuos. La inicialización de este atributo se realiza por medio de una distribución uniforme.
- ◆ **Nivel de Visión:** Determina la capacidad de un Individuo de divisar riqueza, a mayor nivel de visión, mayor es el radio de la vecindad a la cual el individuo puede ver. La inicialización de este atributo está dada por una distribución uniforme entera.
- ◆ **Metabolismo:** representa el consumo de alimento por cada celda del reticulado que un individuo debe desplazarse, según la métrica L_∞ . Se inicializa por medio de una distribución uniforme entera.
- ◆ **Alimento:** Refleja simplemente la cantidad de comida en inventario. Un individuo con una cantidad de comida igual a cero, muere de inmediato, ya que éste es un recurso indispensable para su supervivencia. La inicialización se realiza también por medio de una distribución uniforme entera.

La Tabla 1 muestra los atributos básicos de los individuos, su inicialización y tipo de comportamiento (ver tabla 1).

Atributo	Inicialización	Comportamiento
Tiempo de Vida	Uniforme (Min,Max)	Dinámico
Riqueza	Uniforme (Min,Max)	Dinámico
Nivel de Visión	Uniforme (Min,Max)	Estático
Metabolismo	Uniforme (Min,Max)	Estático
Alimento	Uniforme (Min,Max)	Dinámico

Tabla 1: Sociedad Artificial-Atributos-Individuos

Adicional a los atributos básicos, los individuos también poseen otros atributos relacionados a la forma como manejan su inventario. Estos atributos se explicarán brevemente a continuación:

- ◆ Punto de reorden (z): se refiere al punto (en el nivel de inventario) en el cual los individuos van a realizar sus pedidos. Este atributo posee una inicialización fija.

$$z = Ctte.$$

- ◆ Tamaño de lote de pedido(Q): determina el volumen del pedido realizado por los individuos cada vez que se alcance el punto de reorden. La inicialización de este atributo depende del metabolismo de cada individuo, según la siguiente expresión:

$$Q = Metabolismo \times Is.$$

Donde Is representa el inventario de seguridad del individuo.

- ◆ Factor nerviosismo (Fn): que no es más que un factor de incremento en el tamaño de lote de pedido, que se produce en caso de que el individuo no pueda satisfacer su demanda de alimento en una iteración dada. Su inicialización es fija.

$$Q = Q \times Fn$$

La tabla 2 muestra estos atributos de los individuos, su inicialización, ecuación y comportamiento.

Atributo	Inicialización	Ecuación	Comportamiento
Punto de Pedido	Fija	$z = Ctte.$	Estático
Tamaño de Lote	Fija	$Q = Metabolismo \times Is$	Estático
Factor Nerviosismo	Fija	$Q = QxFn$	Estático

Tabla 2: Sociedad Artificial-Individuos-Inventario

2.1.2.2 Quioscos

Al igual que los individuos, los quioscos también poseen ciertos atributos particulares dentro de la sociedad artificial; a continuación se describirá brevemente cada uno de sus atributos:

- ◆ Nivel de Inventario: Representa la cantidad en existencias de alimento disponibles para la venta en un instante de tiempo.
- ◆ Riqueza: Representa la cantidad de dinero en poder de los quioscos. La inicialización de este atributo se realiza mediante de una distribución uniforme.
- ◆ Demanda: Especifica la cantidad de alimento solicitada (satisfecha y no satisfecha) a un quiosco específico por parte de los individuos.
- ◆ Precio: Se refiere al precio a la que es vendida cada unidad de alimento a los individuos. Este atributo posee una inicialización fija.
- ◆ Estrategia: Se refiere a la estrategia que el quiosco utiliza para el reabastecimiento de su inventario. Estas estrategias serán desarrolladas con más detalle en el siguiente capítulo.

A continuación se muestra una tabla resumen, con los atributos básicos de los quioscos, su inicialización y tipo de comportamiento (ver tabla 3).

Atributo	Inicialización	Comportamiento
Nivel de Inventario	Uniforme (Min,Max)	Dinámico
Riqueza	Uniforme (Min,Max)	Dinámico
Demanda	No inicializada	Dinámico
Precio	Fija	Dinámico/Estático
Estrategia	Fija	Estático

Tabla 3: Sociedad Artificial-Atributos-Quioscos

2.1.2.3 Fábrica

La fábrica también posee ciertos atributos que la identifican, los cuales se detallaran a continuación:

- ◆ Riqueza: Representa simplemente la cantidad de dinero acumulada por la fábrica.
- ◆ Régimen: Determina la demora en las entregas de los pedidos efectuados por los quioscos. Estos regímenes pueden ser de dos clases principales:
 - De Entrega: En este tipo de régimen, la demora depende únicamente de la cantidad solicitada por cada quiosco. A su vez ésta puede ser de dos tipos, dependiendo de la forma de entrega:
 - Tipo I (Entrega Consolidada): El volumen total del pedido será entregado según el tiempo especificado en el régimen.
 - Tipo II (Entrega Parciales): El pedido será dividido en varios sub-pedidos hasta completar el volumen total del pedido, y las entregas serán determinadas según los tiempos de entrega específicos de cada sub-pedido.

En la tabla 4, se puede observar un ejemplo que muestra para un pedido de 1000 unidades, como se distribuyen las entregas según el tipo de pedido.

Cantidad	Tiempo de Entrega (Te)	Tipo I (1000)	Tipo II (1000)
0 a 500	0	0	500
501 a 700	1	0	200
701 a 800	3	0	100
800 a --	5	1000	200

Tabla 4: Sociedad Artificial-Atributos-Fábrica-Régimen

- De Producción: Este tipo de régimen es similar al de entrega Tipo II, solo que en este caso las demoras en las entregas dependerán del volumen

total solicitado por todos los quioscos y no de las solicitudes individuales.

2.1.3 Interacciones

A continuación se detallarán las interacciones de cada uno de los agentes con el ambiente artificial y con los otros agentes dentro de la sociedad.

2.1.3.1 Individuos

El comportamiento de los individuos dentro de la sociedad, es similar a otros modelos como Sugarscape. Estos tendrán como función principal recolectar *dinero*, el cual es un recurso renovable que se encuentra distribuido dentro del ambiente artificial. A diferencia de Sugarscape, este recurso no le permite sobrevivir, por lo que deberán intercambiarlo por *comida* que es otro recurso vendido por los quioscos a cambio de *dinero*.

Seguidamente se detallarán las interacciones de los individuos con el ambiente artificial y con los otros agentes del sistema, a lo largo de una iteración*.

Al iniciar cada iteración, cada individuo verifica su nivel de inventario, comparándolo con su *punto de reorden*. Si éste es menor o igual, determina los quioscos con capacidad de satisfacer a su demanda**, de no existir ninguno, el individuo es impulsado a aumentar sus expectativas de compra (Efecto Compras Nerviosas), aumentando de esta forma el tamaño de lote de pedido un cierto porcentaje pre-fijado. De existir proveedores (quioscos) capaces de satisfacer su demanda, el individuo deberá escoger aquel que le minimice el costo total de compra (C_{indv}), según la siguiente ecuación:

$$C_{indv} = Precio \times TdeLote \times Dist \times FactorDist$$

* Iteraciones representan las unidades de tiempo en la cual los individuos interactúan.

** Cabe aclarar, que en este proceso de búsqueda y selección de proveedores, el individuo no se desplaza.

Donde $TdeLote$ se refiere al tamaño de lote de pedido, $Dist$ a la distancia a la cual se encuentra el proveedor (según métrica L_{∞}) y $FactosDist$ al recargo aplicado por cada unidad de distancia entre el consumidor y el proveedor.

Luego de este proceso de reabastecimiento, el individuo procede a determinar si existe dinero en sus vecindades, de existir, éste debe escoger aquella alternativa alcanzable según su alimento de reserva y la cantidad que deberá ser consumida en el proceso de desplazamiento, que maximice su beneficio, según la siguiente ecuación:

$$Benef = Dinero - Metab \times PrecioP \times Despl.$$

Donde $Dinero$ se refiere a la cantidad de dinero existente en la celda, $Metab$ se refiere al metabolismo del individuo, $PrecioP$ se refiere al precio promedio del alimento en la sociedad (tomando en cuenta los precios de venta de todos los quioscos) y $Despl$ que no es más que la cantidad de celdas que debe desplazarse para posicionarse en la celda donde se encuentra el alimento. Finalmente el individuo toma el dinero en la celda escogida y se posiciona en ella.

En la figura 15, se muestra un diagrama de flujo con las interacciones de los individuos.

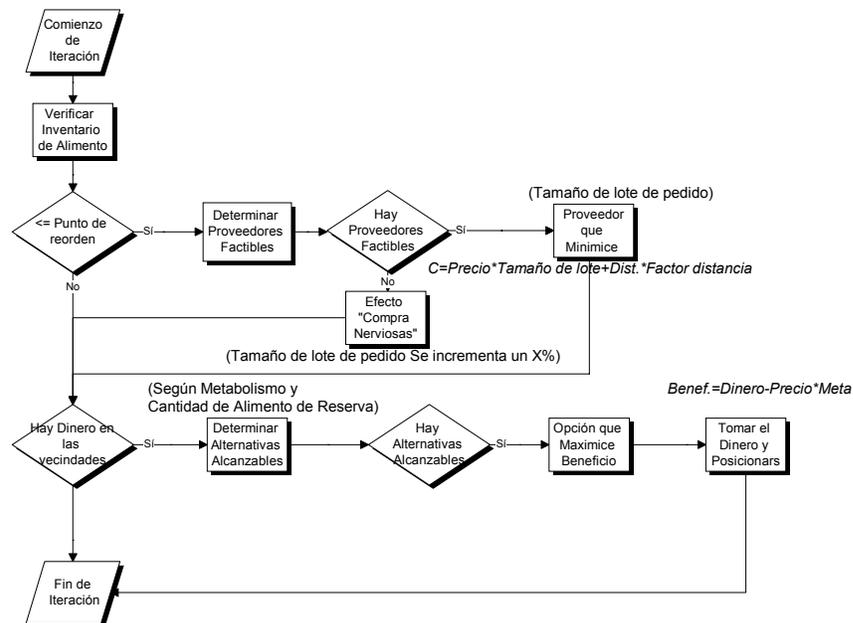


Figura 15: Interacciones-Individuos

2.1.3.2 Quioscos

La función principal de los quioscos es la de proveer un bien (Alimento) a los individuos, el cual es necesario para la supervivencia de estos últimos. Por tanto sus interacciones son básicamente de tipo comercial y de manejo interno de su inventario. Seguidamente se detallarán las interacciones de los quioscos en la sociedad artificial.

Aparte de las interacciones con los individuos, las cuales fueron explicadas en la sección anterior (Interacciones de los Individuos), los quioscos realizan operaciones internas de reabastecimiento. Este proceso se inicia al final de la iteración, cuando el quiosco calcula el *pedido* (Q) a la fábrica según la *estrategia* de inventario que esté utilizando. En el cálculo del *pedido* (Q) se utiliza la demanda suavizada exponencial:

$$D_{sT} = (D_{sT-1}(1 - \alpha) + \alpha D_T)$$

Donde α representa el coeficiente de suavizado exponencial.

Si el cálculo del *pedido* (Q) arroja un valor mayor a cero, quiere decir que se debe solicitar un pedido por dicha cantidad, de lo contrario no se efectúa ningún pedido. En la figura 16, se muestra un diagrama de flujo con las interacciones de los quioscos.

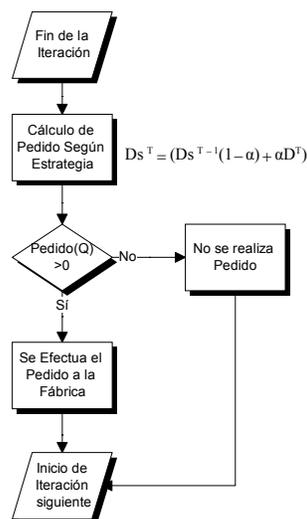


Figura 16: Interacciones-Quioscos

2.1.3.3 Fábrica

La fábrica es la encargada de generar los bienes que van a ser vendidos por los quioscos y consumidos o metabolizados por los individuos.

Adicionalmente a las interacciones con los quioscos, las cuales fueron detalladas en la sección anterior (Interacciones de los Quioscos), la fábrica realiza operaciones internas para registrar y entregar pedidos. La fábrica actúa en dos etapas distintas, al inicio de la iteración y en cada solicitud de pedido.

Al inicio de la iteración, la fábrica verifica los pedidos pendientes y entrega los pedidos listos. Y a la llegada de cada pedido, éste es registrado según el régimen que corresponda (producción/entrega) y pasan a ser pedidos pendientes.

En la figura 17 se puede observar el diagrama de flujo de estas interacciones.

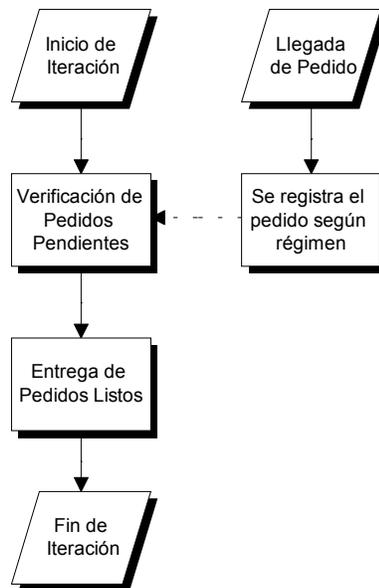


Figura 17: Interacciones-Fábrica

2.2 La Herramienta Computacional: M.I.A.C. (Modelo de Inventario Basado en Autómatas Celulares)

2.2.1 Requerimiento Mínimos

Los requerimientos mínimos del programa son los siguientes:

- PC, Pentium I 100 Mhz o equivalente con 16 Mb. de RAM.
- Monitor y tarjeta de video con capacidad de resolución de 800x600. (Se recomienda 1024x768)
- Windows 95 o superior.
- Unidad disco de 3½ de alta densidad.
- Borland C++ Builder 1.0 o superior instalado.

2.2.2 Descripción del Programa

En la figura 18, se observa los componentes básicos del programa, los cuales se describirán en detalle.

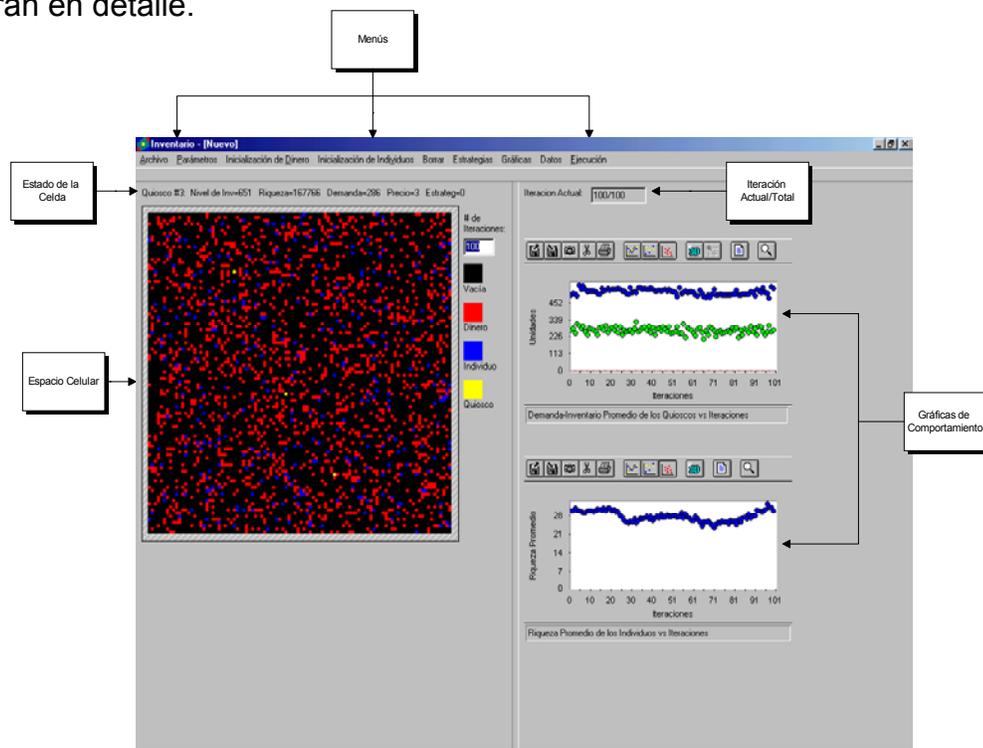


Figura 18: Programa-Componentes Básicos

- ◆ Espacio Celular: Aquí es donde se observa el comportamiento dinámico de la sociedad artificial.
- ◆ Estado de la celda: Muestra el estado actual, y los principales parámetros de la celda apuntada por el cursor.
- ◆ Iteración Actual/Total: Muestra el transcurrir de las iteraciones sobre el total de iteraciones predeterminadas.
- ◆ Gráficas de Comportamiento: La gráfica superior, muestra la demanda promedio de los quioscos dentro de la sociedad contra el nivel de inventario promedio de los mismos. La gráfica inferior muestra la riqueza promedio de los individuos. Estas gráficas son de suma importancia en el monitoreo del desempeño de la sociedad. La primera sirve para detectar efectos “Bullwhip” de una manera rápida. Mientras que la segunda permite chequear tanto abastecimiento de productos como cantidad de dinero en sistema adecuados. Sobresaltos de este indicador pueden significar desabastecimiento, mientras que valores bajos podrían representar falta de recursos monetario para mantener a la sociedad.
- ◆ Menús: Este componente está conformado por las siguientes opciones:
 - Archivo: En la figura 19, se puede observar los sub-menús que conforman el menú archivo.

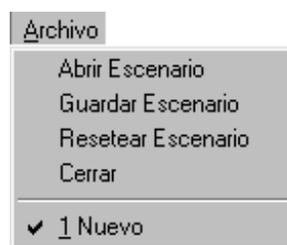


Figura 19: Programa-Componentes-Archivo

La opción **Abrir Escenario** permite cargar cualquier escenario almacenado mediante la opción **Guardar Escenario**. Cada escenario almacenado incorpora la distribución y estados de las celdas dentro del espacio celular. La opción **Resetear Escenario** retorna a la distribución de celdas del último escenario cargado.

- Parámetros: En la figura 20, se observa las opciones del menú Parámetros.

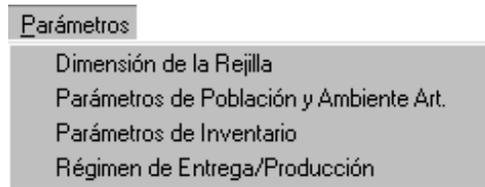


Figura 20: Programa-Componentes-Parámetros

La opción **dimensión de la rejilla**, permite seleccionar la cantidad de celdas del espacio celular. Las opciones son: 40x40, 60x60, 80x80 y 100x100. La opción por defecto es 40x40 (Ver fig. 21).



Figura 21: Programa-Componentes-Parámetros-Dimensión de Rejilla

Mediante la opción **Parámetros de la Población y Ambiente Art.**, se pueden especificar las condiciones básicas de la sociedad artificial (Ver Fig. 22)

Parámetro	Min	Max
% de Individuos	20	
% de Dinero	20	
Regeneración/Iteración		1
Dinero	0	40
Tiempo de Vida	40	200
Riqueza Inicial	10	50
Nivel de Vision	1	5
Metabolismo (Unid/Celda)	1	5

Figura 22: Programa-Componentes-Parámetros-Población y Ambiente Art.

% de Individuos y **% de Dinero** determina el porcentaje del espacio disponible en el cual las celdas van a tener el estado correspondiente, por ejemplo, en una rejilla 100x100 antes de inicializar las celdas con *Dinero*, el espacio disponible corresponde a 10000 celdas, si se especifica un **% de Dinero** igual a 20, la cantidad de celdas que tendrán el referido estado será igual a 2000. Luego de esta inicialización, el espacio disponible (con estado "0") en la rejilla será igual a 8000, por lo tanto si se especifica un **% de Individuos** igual a 10, se inicializarán 800 individuos.

Regeneración/Iteración determina la cantidad en que es incrementada la cantidad de dinero en las celdas que inicialmente la poseían. Las casillas **Dinero**, **Tiempo de Vida**, **Riqueza Inicial**, **Nivel de Visión** y **Metabolismo**, determinan la

inicialización de estos atributos de los individuos, dados por una distribución uniforme. La casilla de verificación **Inmortales**, detiene el decremento del atributo vida de los individuos.

La opción **Parámetros de Inventario** permite configurar los parámetros referentes al manejo de inventario de cada uno de los actores de la sociedad artificial (Ver fig. 23).

The screenshot shows a dialog box titled "Rango de Parámetros de Inventario" with three main sections:

- Quioscos (left panel, blue border):**
 - # de Quioscos Iniciales: 5
 - Max (100): [empty]
 - Inventario Inicial: Min 100, Max 200
 - Riqueza Inicial: 500, 1000
 - Precio de Venta: 3, Fijo
 - Factor de Distancia: 0
 - Costos Operativos: 100
 - Costos de Almac./Unidad: 0.1
 - Penalización/Unidad: 1
 - Costo de Pedido: 100
 - Factor de Seguridad: 100 %
 - Alpha de Suavizado Exp.: 0.2
 - Creación de Quioscos
 - Si la Riqueza es Mayor a: 100000
 - Costos de Nuevo Quiosco: 50000
- Individuos (top right panel, red border):**
 - Cantidad de Alimento Inicial: Min 30, Max 100
 - Cantidad a Ser Ordenada x Metabolismo: 10
 - Punto de Reorden: 20
 - Factor Nerviosismo: 20 %
- Fábrica (bottom right panel, yellow border):**
 - Riqueza Inicial: 50000
 - Costos Operativos: 500
 - Penalización por Paralización: 200

An "Aceptar" button is located at the bottom right of the dialog.

Figura 23: Programa-Componentes-Parámetros-Inventario

Está dividido en tres partes: **Quioscos**, **Individuos** y **Fábrica**.

Quioscos: En la sección referente a quioscos, se puede configurar parámetros como, **# de Quioscos Iniciales** que especifica el número inicial de quioscos

presentes en la sociedad, así como algunos parámetros referentes a su inicialización, tales como: **inventario inicial** y **Riqueza Inicial**. **Precio de Venta** establece el precio al cual el quiosco va a vender los productos*. Este precio es fijo por defecto, sin embargo desactivando la casilla de verificación **Fijo** los precios variarán según la escasez o abundancia de productos**. **Factor Distancia** agrega un recargo a la compra por parte de los individuos, según la distancia al quiosco tomando en cuenta la métrica L_{∞} . Los **Costos Operativos** corresponden a todos aquellos costos inherentes al funcionamiento del quiosco que no tienen relación con los costos de inventario. En la casilla **Costos de Almc./Unidad** se especifica el costo por unidad e iteración que tendrá cada unidad almacenada en el inventario. Mientras que **Penalización/Unidad** agrega costos adicionales por cada unidad solicitada por los individuos pero no despachada. Por último, en lo referente a costos de los quioscos, está el **Costo de Pedido** cantidad que será cobrada cada vez que el quiosco efectúe un pedido. **Factor de Seguridad**, establece un porcentaje de holgura por encima de la demanda suavizada (D_s) que cada quiosco considerará al reabastecer su inventario. **Alpha de Suavizado Exp.**, permite configurar este parámetro para el cálculo de la demanda suavizada (D_s). La casilla de verificación **Creación de Quioscos** habilita la creación de quioscos nuevos una vez que éstos hayan alcanzado el nivel de riqueza especificado. El nuevo quiosco tendrá un costo para el quiosco original, especificado en la casilla **Costo de Nuevo Quiosco**. Adicionalmente el nuevo quiosco, surgirá con parte del capital del quiosco original, una cierta cantidad de inventario equivalente a la demanda del quiosco que lo creó, y la estrategia que éste utilizará será la misma utilizada por el quiosco original. Estos nuevos quioscos son ubicados en una ubicación disponible dentro de la rejilla, seleccionada aleatoriamente.

Individuos: En esta sección se puede configurar los parámetros referentes al manejo de inventario por parte de los individuos. **Cantidad de Alimento inicial**

* Nota: Cabe destacar que el precio al cual cada quiosco compra (a la fábrica) los bienes a ser vendidos es una unidad (1). Este valor no puede ser cambiado, lo cual debe tomarse en cuenta al determinar este precio de venta.

** La ecuación utilizada para la determinación de los precios según demanda o escasez, es la misma que la utilizada por la estrategia #3 (Ver sección 3.3.1.3.).

determina el rango de inicialización de la cantidad de alimento que cada individuo tendrá al ser creado. **Cantidad a Ser Ordenada x Metabolismo** se refiere al tamaño de lote de pedido, sólo que en este caso particular dependerá del metabolismo de cada individuo. Mediante **Punto de Reorden** se ajusta el nivel de inventario de los individuos que es considerado para realizar cada pedido. El **Factor Nerviosismo** permite especificar el incremento en el tamaño de lote de pedido de los individuos cada ciclo de escasez. Posteriormente al reabastecer su inventario, los individuos vuelven a realizar su pedido normal.

Fábrica: En esta sección se especifican los parámetros de la fábrica. **Riqueza inicial**, establece la cantidad de unidades de dinero con la cual la fábrica será creada. **Costos Operativos** especifican los costos inherentes a la operación de la fábrica, y **Penalización por Paralización** establece una penalización cada iteración que la fábrica permanece inactiva (sin despachar pedidos).

El sub-menu **régimen de entrega** permite especificar la demora en la entrega (T_e), según el tamaño del pedido, la clase de régimen y su tipo (Ver fig. 24).

Cantidad Solicitada:		Tiempo de Entrega (Períodos)
De:	A:	
0	400	0
401	500	1
501	600	2
601	700	3
701	--	4

Tipo de Pedido:
 Tipo I
 Tipo II

Tipo de Régimen:
 Entrega
 Producción

Aceptar

Figura 24: Programa-Parámetros-Régimen de Producción/Entrega

La opción **Inicialización de Dinero** genera dentro del autómata las celdas con dinero, aleatoriamente, según las condiciones especificadas en el sub-menú **Parámetros de la Población y Ambiente Art.** Mientras que la opción **Inicialización de Individuos** genera los individuos y quioscos, según las condiciones predeterminadas en los sub-menus **Parámetros de la Población y Ambiente Art.** y **Parámetros de Inventario.** **Borrar** vuelve la rejilla del autómata a su estado inicial, todas las celdas en estado “0”.

En el menú **Estrategias** se pueden modificar las estrategias de los quioscos actualmente dentro de la sociedad (Por defecto la estrategia usada es la Estrategia #0).

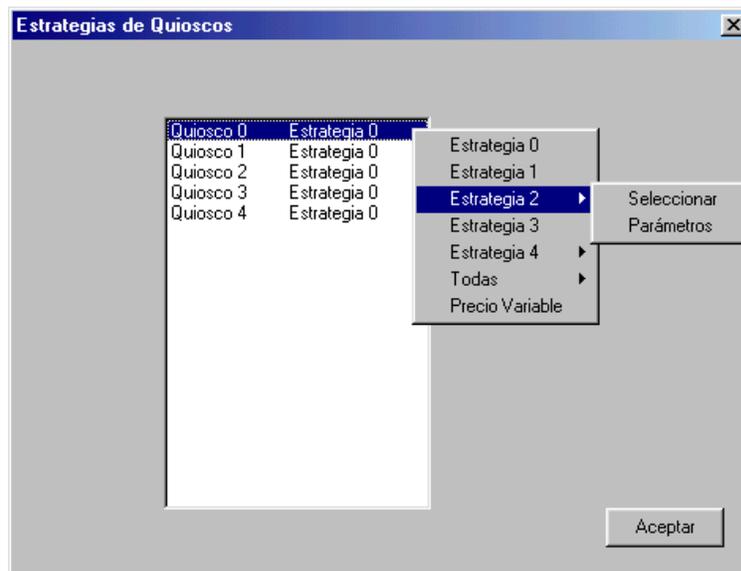


Figura 25: Programa-Estrategias de Quioscos

Pulsando el botón derecho del ratón sobre alguno de los quioscos, despliega un sub-menú mediante el cual se puede seleccionar la estrategia que el quiosco va a seguir como política de reabastecimiento y manejo de inventario. La opción **Precio**

Variable permite al quiosco jugar con los precios de los productos según la abundancia o escasez de su inventario. Adicionalmente algunas estrategias poseen parámetros adicionales, los cuales pueden ser configurados en el sub-menú emergente de dichas estrategias. La opción **Todas**, cambia la estrategia de cada uno de los quioscos presentes en la sociedad a una particular (Ver Fig. 25)

En el menú **Gráficas** se pueden activar o desactivar las gráficas de Inventario - Demanda y Riqueza Promedio de los individuos. Adicionalmente la opción **Otras** abre una nueva ventana con otras gráficas de interés, sobre el comportamiento de los actores dentro de la sociedad.

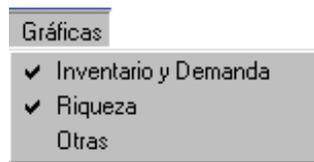


Figura 26: Programa-Gráficas

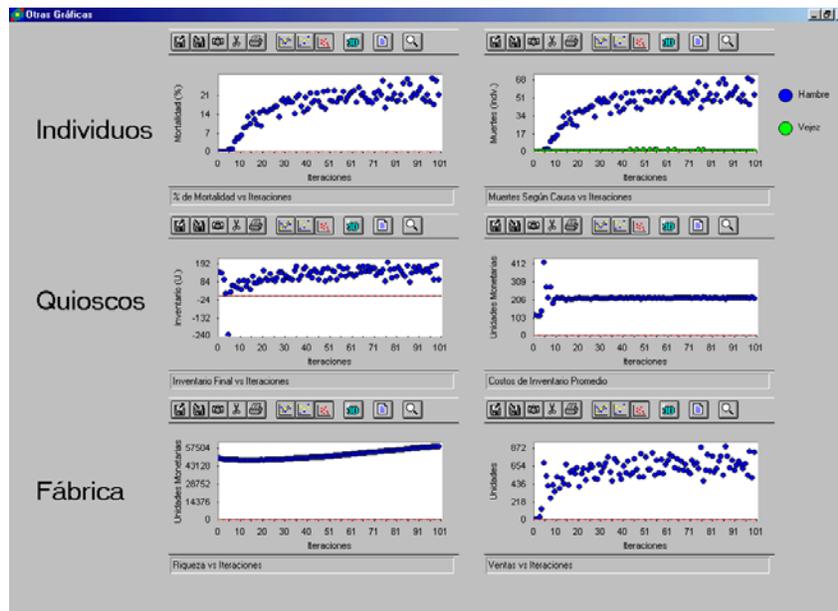


Figura 27: Programa-Gráficas-Otras

La Opción **Datos** visualiza el desempeño de los quioscos a lo largo de la corrida, mostrando índices de desempeño como: costos de inventario, ganancias netas y número de clientes atendidos.

#	EST.	COSTOS	GANANCIAS	CL. ATENDIDOS
0	0	21180	14524	7177
1	0	21017	9019	6000
3	0	20985	13799	7082

Aceptar

Figura 28: Programa-Datos

2.2.3 Ejecución del Programa

Para la ejecución del programa se deben realizar sistemáticamente los siguientes pasos:

- 1.- Configurar todas las opciones pertinentes del menú **Parámetros**.
- 2.- Inicializar el dinero mediante la opción **Inicialización de Dinero**.
- 3.- Inicializar los quioscos y los individuos, mediante la opción **inicialización de individuos**.

- 4.- Definir las estrategias a seguir por parte de cada uno de los quioscos, por intermedio del menú **Estrategias**. (De omitir este paso la estrategia utilizada por cada quiosco será la #0)
- 5.- Activar las gráficas Inventario-Demanda y riqueza. (Permite observar el comportamiento dinámico)
- 6.- Colocar en la casilla **# de Iteraciones**, la cantidad de iteraciones deseadas.
- 7.- Pulsar la opción **Correr** del menú **Ejecución**.

CAPITULO 3: OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS

Capítulo 3: Objetivos y Estrategias

En este capítulo se identificarán diversos objetivos, por actores o grupos de actores, dentro de la sociedad, así como algunas estrategias que éstos podrán seguir para intentar alcanzar dichos objetivos. Todos los objetivos y estrategias estarán basados en condiciones afectadas por la presencia de los efectos autonómicos referidos anteriormente como “Bullwhip Effect”, sin embargo muchos de estos objetivos son también aplicables a condiciones normales.

Inicialmente se referirán dos tipos principales de objetivos:

- ◆ Objetivos Individuales (Por Agentes)
- ◆ Objetivos Colectivos

3.1 Objetivos Individuales

A continuación se detallarán los objetivos por agentes dentro de la sociedad artificial.

3.1.1 Individuos

Como objetivos particulares de los individuos, se pueden identificar los siguientes:

- ◆ Supervivencia: Es la función principal de los individuos dentro de la sociedad, y depende directamente de la posesión de alimento. Sin este recurso el individuo no podría cumplir este objetivo.
- ◆ Maximizar Riqueza: Es inherente al comportamiento del individuo, ya que este fue concebido bajo el principio de **consumidor racional**. Este buscará maximizar su beneficio económico, obteniendo la mayor cantidad de recursos monetarios y empleando la menor cantidad de los mismos para su

supervivencia. Para satisfacer este objetivo, el individuo deberá poseer alimento suficiente en su inventario que le permita el desplazamiento en busca del recurso monetario.

- ◆ Garantizar Inventario de Alimentos: Cada individuo buscará reabastecer su inventario de alimento una vez que éste ha alcanzado un nivel crítico. Sin embargo satisfacer este objetivo dependerá de la posesión de dinero.

Se puede observar entonces que los objetivos por parte de los individuos dentro de la sociedad no funcionan aisladamente, por el contrario están íntimamente ligados entre sí. La figura 29, muestra los objetivos de los individuos y su interrelación. La supervivencia de todo individuo depende de manera directa de la posesión del recurso alimento, cuya adquisición está regulada por la posesión de dinero.

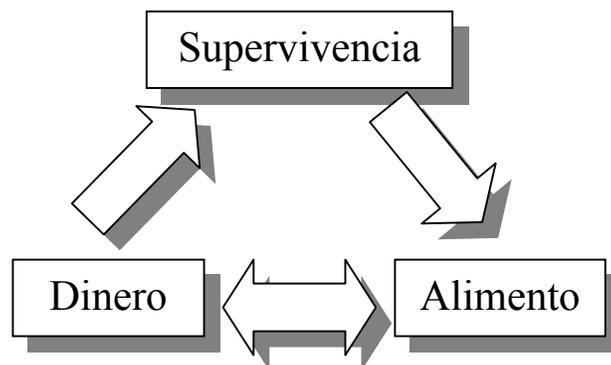


Figura 29: Objetivos-Individuos

3.1.2 Quioscos

A continuación se detallarán los objetivos particulares de los quioscos dentro de la sociedad, que fueron identificados:

- ◆ Maximizar Riqueza: Cumplir este objetivo, dependerá directamente de la capacidad del quiosco de controlar su nivel y costos de inventario, logrando el

mayor margen de ganancia, al ajustar su nivel de inventario a la demanda real del sistema.

- ◆ Maximizar Ventas: Dependerá básicamente de la capacidad del quiosco de suplir la demanda y captar clientes, garantizando la disponibilidad de productos a bajo precio.
- ◆ Maximizar Servicio: Este objetivo está relacionado con la capacidad de suplir la demanda ininterrumpidamente. Al igual que el objetivo Maximizar Ventas, éste depende directamente de la capacidad del quiosco de suplir la demanda.
- ◆ Minimizar Costos: Minimizar costos, dependerá directamente de la capacidad de los quioscos para manejar su inventario, logrando minimizar sus costos pertinentes adecuándose a la demanda real del sistema.

Todos estos objetivos están relacionados directamente con la política de inventario empleada por cada quiosco. La riqueza del quiosco depende de balancear sus costos y sus ventas adecuándolos a la demanda de la sociedad. (Ver Fig. 30)

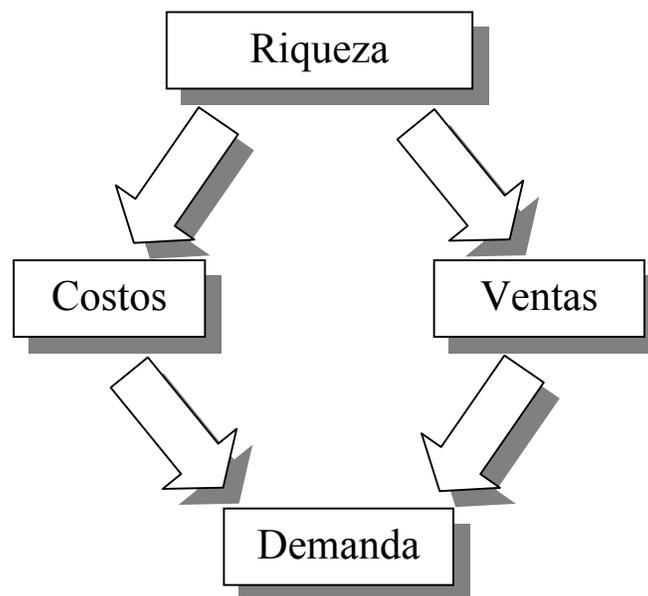


Figura 30: Obejtivos-Quioscos

3.1.3 Fábrica

Como objetivos particulares de la fábrica, se pueden identificar los siguientes:

- ◆ Maximizar Riqueza: El cumplimiento de este objetivo depende directamente de su capacidad para suplir la demanda de los quioscos, intentando minimizar sus costos y maximizar su margen de ganancia.
- ◆ Minimizar Costos: Los costos de la fábrica están directamente relacionados con la continuidad en la producción, debido a su asociación directa a la interrupción de operaciones.
- ◆ Maximizar Ventas: Está supeditada por la capacidad de la fábrica de suplir la demanda de los quioscos.

Existe entonces una relación directa entre los objetivos de la fábrica. Para intentar maximizar su riqueza, la fábrica debe balancear sus costos y ventas, objetivos que sólo pueden ser alcanzados estabilizando la producción. (Ver Fig. 31)

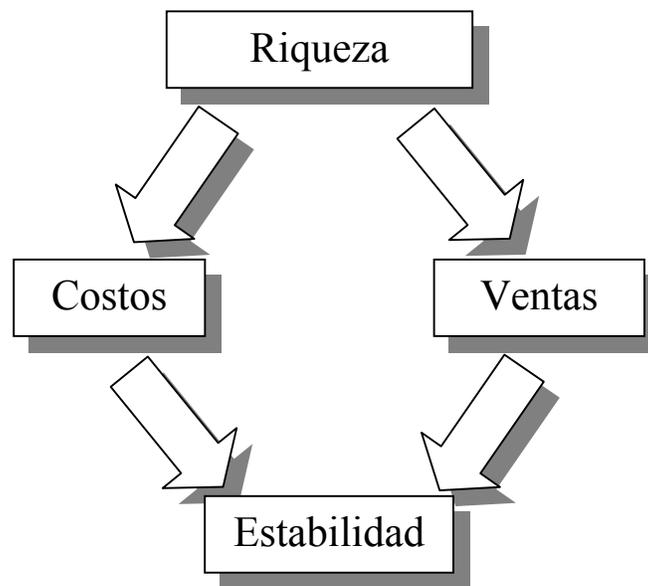


Figura 31: Objetivos-Fábrica

3.2 Objetivos Colectivos

Existen otros objetivos que están más allá del alcance de un actor particular, y su cumplimiento depende de la no adherencia a objetivos individuales, sino más bien a objetivos colectivos de la sociedad.

3.2.1 Eliminación del Efecto “Bullwhip”

Los efectos perjudiciales de estas oscilaciones afectan directamente al colectivo, por tanto, eliminar dichos efectos beneficia directamente al sistema. La figura 32 muestra un diagrama que visualiza los principales beneficios colectivos logrados al eliminar el efecto “Bullwhip”.

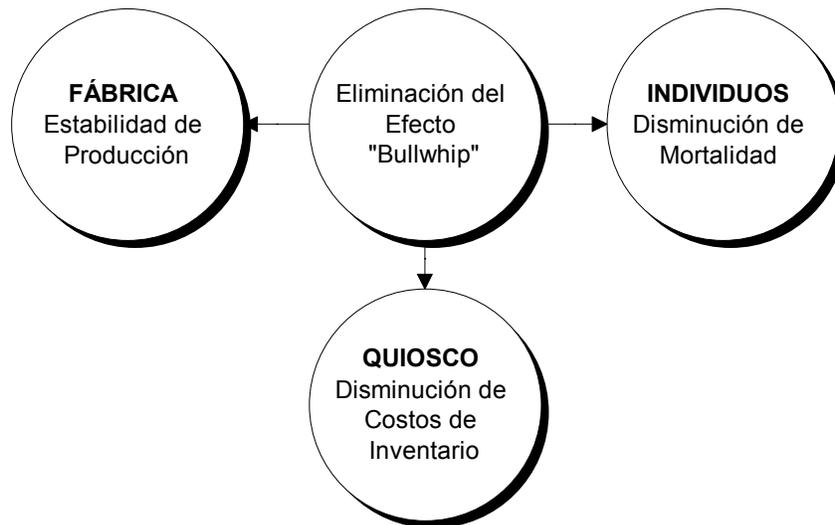


Figura 32: Objetivos-Beneficios Derivados de la Eliminación del Efecto “Bullwhip”

Existen varias vías para abordar el problema de los mencionados efectos oscilatorios, sin embargo, la mayoría de estos enfoques requieren una intervención global. Uno de estos enfoque, mencionados anteriormente, requiere aumentar la cantidad de información en poder de los actores de la sociedad, lo

que significaría que éstos posean información global del sistema. No es objetivo de este trabajo intervenir de manera global para tratar de eliminar o atenuar estos efectos, sino evaluar como la actuación local afecta directamente al sistema.

Otro enfoque a este problema, implica la intervención local a través de los quioscos, modificando la regla de reabastecimiento. Una eficaz regla de reabastecimiento podría disminuir los efectos oscilatorios, mejorando los indicadores de desempeño de la sociedad.

3.2.2 Coalición de Objetivos Individuales

Grupos de actores podrían acordar la búsqueda de un objetivo común que los beneficie mutuamente. A continuación se precisarán los objetivos de este tipo, identificados dentro de la sociedad:

- ◆ **Monopolio de Quioscos:** Grupos de quioscos podrían convenir vender los productos a un determinado precio, acaparar productos o alguna otra política que persiga el control del mercado mediante la manipulación de la oferta.

- ◆ **Minimización de Costos de Inventario a través de Políticas de Intercambio de Información para Mejoramiento de Pronósticos:** Aumentar la cantidad de información en poder de los actores dentro de la sociedad, puede significar pronósticos mucho más ajustados a la demanda real, disminuyendo así los costos asociados al exceso o escasez de inventario. El cumplimiento de este objetivo requiere de la coalición de los actores que intervienen dentro de la sociedad, con el fin de lograr un intercambio efectivo de información. Alcanzar este objetivo podría significar también una atenuación del efecto “Bullwhip”.

A continuación se detallarán las estrategias ensayadas.

3.3 Estrategias

En el presente trabajo se experimentará con diversas estrategias con el fin de evaluar su desempeño individual y sus repercusiones en el ámbito global. Las estrategias utilizadas, serán clasificadas según si tratan de satisfacer un objetivo individual o colectivo.

3.3.1 Estrategias Individuales

Se experimentará con tres estrategias diferentes:

3.3.1.1 Estrategia #0

Esta estrategia está basada en la regla de reabastecimiento mencionada anteriormente como *Heurística 1*, cuyo objetivo principal es la minimización de los costos de inventario del quiosco.

3.3.1.2 Estrategia #1

Esta estrategia usa como regla de reabastecimiento la *Heurística 2*, cuyo objetivo será también el de minimizar los costos de inventario.

3.3.1.3 Estrategia #3

El objetivo principal de esta estrategia es la de obtener un beneficio económico de los efectos oscilatorios, aumentando o disminuyendo los precios de los productos según la escasez o exceso de inventario. Por tanto esta estrategia buscará incrementar la ganancia, ofertando a bajos precios en situaciones de exceso de inventario y aumentando los precios en situaciones de escasez. Para este fin, se utilizará la *Heurística 1*, en conjunción con la siguiente expresión para el cálculo del precio de los productos:

$$Pr\ ecio = Pr\ ecioInicial * (1 + (Ds - CEM) / Ds)$$

Donde D_s representa la demanda suavizada y CEM la cantidad de inventario en mano.

Adicionalmente esta estrategia utilizará un parámetro adicional (MinP), que determinará el mínimo precio al cual se podrán vender los productos.

3.3.2 Estrategia Colectiva

Se experimentará con una estrategia colectiva, la cual se explicará a continuación.

3.3.2.1 Estrategia #2

Esta estrategia tiene como objetivo principal la atenuación de los efectos oscilatorios, por lo cual se ha catalogado como una estrategia colectiva a pesar de que se emplea en el ámbito local a través de los quioscos. Esta estrategia utiliza la Heurística 3, una heurística diseñada con el objetivo de disminuir el efecto “Bullwhip”.

CAPITULO 4: EXPERIMENTACIÓN

Capítulo 4: Experimentación

En este capítulo se explicarán los experimentos realizados y la metodología empleada, que permitieron ensayar con las diferentes estrategias dentro de la sociedad, evaluando su desempeño particular y su influencia sobre el desempeño global.

4.1 Parámetros Base

En esta fase se escogieron una serie de parámetros que sirvieron de base para los experimentos realizados. Los parámetros base, están resumidos en las tablas 5 a 7:

Dimensión de rejilla	100x100	Riqueza Inicial	5000 a 10000
		Precio de Venta de los Artículos	3 (Fijo)
Parámetros de la Pob. y Ambiente Art.		Factor Distancia	0.01
% de Individuos	4	Costos Operativos	100
% de Dinero	20	Inventario de Seguridad	30%
Cantidad de Dinero inicial	20 a 30	Alpha de Suavizado	0.05
Regeneración de Dinero por Iteración	2		
		COSTOS DE INVENTARIO	
INICIALIZACIÓN DE INDIVIDUOS		Costo de Almac. por Unidad/lit.	0.1
Tiempo de Vida	40 a 200	Costo de Penalización por Unidad	1
Riqueza	10 a 50	Costo de Pedido	100
Nivel de Visión	1 a 5		
Metabolismo	1 a 5	Creación de Quioscos	Desactivada
PARÁMETROS DE INVENTARIO		PARÁMETROS DE FÁBRICA	
Cantidad de Alimento Inicial	30 a 100	Riqueza Inicial	50000
Tamaño de lote de pedido	10 x Metab.	Costos Operativos	500
Punto de reorden	20	Penalización por Paralización	200
Factor Nerviosismo	20%		
		RÉGIMEN DE PROD./ENTREGA	
PARÁMETROS DE QUIOSCOS		Clase de Régimen	Entrega
# de Quioscos Iniciales	1	Tipo	II
Inventario Inicial	100 a 200		

Tabla 5: Experimentación - Parámetros Base

Régimen	T. de Entrega
De 0 a 400	0
De 401 a 500	1
De 501 a 600	2
De 601 a 700	3
De 701 a --	7

Tabla 6: Experimentación - Parámetros Base-Régimen

Estrategia	Parámetros
#0	--
#1	--
#2	$\beta=0.1$ $\gamma=0.1$
#3	$MinP=2$

Tabla 7: Experimentación-Parámetros Base - Parámetros de Estrategias

La escogencia de estos parámetros obedece a que en experimentaciones preliminares, mostraron las siguientes características favorables a nuestro interés:

- 1.- La cantidad de Dinero en poder de los individuos es suficientemente abundante, evitando así la muerte prematura de individuos.
- 2.- La demanda real de Alimento por parte de los individuos muestra un comportamiento estable.
- 3.- El efecto de las demoras se hace presente en las entregas, dada la demanda del sistema.
- 4.- Se produce el efecto "Bullwhip" usando estrategias de reabastecimiento tradicionales.

Las diversas estrategias serán evaluadas según el comportamiento de ciertos indicadores. La tabla 8 muestra los indicadores y la abreviatura que será utilizada posteriormente.

Indicador	Abreviatura
Riqueza Promedio de los Individuos	RP
Mortalidad (%) Promedio de los Individuos	M
Ganancias netas Promedio de los Quioscos	GQ
Costo Total de Inventario Promedio de los Quioscos	CI
Número de Quioscos por Estrategia	#Q

Tabla 8: Experimentación - Indicadores de Desempeño

En algunos experimentos realizados los parámetros base serán modificados. Estas modificaciones y la abreviatura utilizada posteriormente, se muestran en la siguiente tabla.

Modificación	Descripción	Abreviatura
Régimen de Producción	Cambia el Régimen a Producción	RPR
Tamaño de la Población	Cambia el Tamaño de la Población al Especificado Como Parámetro	Pob(Parámetro)
Regeneración	Cambia la Regeneración del Dinero al Especificado Como Parámetro	Reg(Parámetro)
Creación de Quioscos Activada	Activa la Creación de Quioscos cuando la Riqueza de un Quiosco ha alcanzado el nivel del Parámetro A y su Costo será igual al Parámetro B.	CQA(Parámetro A, Parámetro B)

Tabla 9: Experimentación - Modificadores de Parámetros Base

4.2 Metodología Utilizada

Cada uno de los experimentos realizados en el presente trabajo, estuvo regido por la siguiente metodología:

- ◆ Selección de los parámetros correspondientes al experimento.
- ◆ Inicialización aleatoria de recursos y agentes.

- ◆ Ejecución de 20 corridas de 100 iteraciones cada una. En cada corrida se debe eliminar el transiente, por lo cual las 100 iteraciones deben ser contabilizadas luego de un período de ajuste inicial de la sociedad.
- ◆ Obtención de los promedios de los indicadores pertinentes de las 20 corridas.
- ◆ Graficación de los resultados.

4.3 Experimentación

Los experimentos llevados a cabo en el presente trabajo serán detallados a continuación.

4.3.1 Experimentos en Situaciones de Comportamiento Oscilatorio en la Demanda-pedidos (Bullwhip Effect)

Este tipo de experimentos se efectuaron en situaciones donde están presentes los comportamientos oscilatorios asociados al efecto “Bullwhip”. Se realizaron diversos experimentos variando la cantidad de quioscos y la estrategia de reabastecimiento. Los experimentos realizados se detallarán a continuación, así como los indicadores usados para la evaluación pertinentes en cada caso.

4.3.1.1 Experimentación Con Un Solo Quiosco

Con estos experimentos se busca comparar el desempeño de los quioscos al utilizar las diferentes estrategias. La tabla 10 muestra los experimentos realizados, los parámetros utilizados y los indicadores empleados en su evaluación.

Experimento	# de Quioscos	Estrategias	Indicadores	Parámetros (Modificador)
1.1.1	1	#0	RP,M,GQ,CI	Base
1.1.2	1	#1	RP,M,GQ,CI	Base
1.1.3	1	#2	RP,M,GQ,CI	Base

1.1.4	1	#3	RP,M,GQ,CI	Base
-------	---	----	------------	------

Tabla 10: Experimentación – Experimentos Con Un Solo Quiosco

4.3.1.2 Experimentos con dos Quioscos

Estos experimentos se llevaron a cabo para evaluar la influencia de una estrategia particular sobre otra. Se realizó un primer experimento con 2 quioscos utilizando la misma estrategia. Luego fueron utilizadas diferentes estrategias y se evaluó el impacto de una estrategia sobre el desempeño de la otra.

Experimento	# de Quioscos	Estrategias	Indicadores	Parámetros (Modificador)
1.2.1	2	#1,#1	RP,M,GQ,CI	Base (RPR)
1.2.2	2	#2,#2	RP,M,GQ,CI	Base (RPR)
1.2.3	2	#1,#2	RP,M,GQ,CI	Base (RPR)
1.2.4	2	#3,#3	RP,M,GQ,CI	Base (RPR)
1.2.5	2	#3,#2	RP,M,GQ,CI	Base (RPR)
1.2.6	2	#3,#1	RP,M,GQ,CI	Base (RPR)

Tabla 11: Experimentación – Experimentos Con Dos Quioscos

4.3.1.3 Experimento con Múltiples Estrategias y Creación de Quioscos

Se activó la opción del programa *creación de quioscos*, mediante la cual un quiosco que exceda un cierto nivel de riqueza, podrá generar otro quiosco con su misma estrategia de inventario. Con este experimento se busca observar que estrategia predomina cuando en la sociedad se buscan satisfacer objetivos distintos. Se experimentó con una sociedad en la que interactúan 4 quioscos, cada uno con una estrategia distinta.

Experimento	# de Quioscos	Estrategias	Indicadores	Parámetros (Modificador)
1.3.1	4	#0,#1,#2,#3	#Q	Base (RPR, POB[8], REG[4], CQA[100000,50000])

Tabla 12: Experimentación – Experimentos Con Múltiples Estrategias y Creación de Quioscos

4.3.2 Experimentación en una Situación Simulada de un Cambio Brusco en la demanda.

En este tipo de experimentos se simuló un incremento brusco en la demanda, para comparar la reacción de las diferentes estrategias ante tal escenario. Los parámetros de la población fueron escogidos de tal forma que, inicialmente, no induzcan efectos oscilatorios. El *régimen de entrega* de los parámetros base fue modificado disminuyendo los retrasos en las entregas a los quioscos, mitigando así tales efectos. El *régimen de entrega* utilizado en este tipo de experimentos, fue el siguiente:

<i>Régimen</i>	<i>T. de Producción</i>
De 0 a 800	0
De 801 a 1000	1
De 1001 a 1200	2
De 1201 a 1400	3
De 1401 a - -	7

Tabla 13: Experimentación – Experimentos Cambio Brusco de Demanda - Régimen

A continuación se detallarán los experimentos realizados:

Experimento	# de Quioscos	Estrategias	Indicadores	Parámetros (Modificador)
2.1.1	1	#0	RP,M,GQ,C	Base (POB[2])
2.1.2	1	#1	RP,M,GQ,CI	Base (POB[2])
2.1.3	1	#2	RP,M,GQ,CI	Base (POB[2])
2.1.4	1	#3	RP,M,GQ,CI	Base (POB[2])

Tabla 14: Experimentación – Experimentos Cambio Brusco de Demanda

Luego de la eliminación del transiente, se procederá a incrementar el metabolismo de los individuos* que inicialmente están dentro de un rango de (1-5) y se elevará hasta un rango de (4-7). De esta forma se trata de reproducir un incremento brusco en el nivel de consumo de la población. Se registrarán las 100 iteraciones posteriores al incremento.

* Únicamente los individuos nuevos que se generen en la sociedad, no los ya existentes en la misma.

CAPITULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Capítulo 5: Análisis de Resultados

En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos de los experimentos realizados en el presente trabajo.

5.1 Experimentos en Situaciones de Comportamiento Oscilatorio de Demanda-Pedidos (“Bullwhip Effect”)

A continuación se analizarán los resultados obtenidos en los experimentos ensayados en situaciones de comportamiento oscilatorio.

5.1.1 Experimentos Con Un Solo Quiosco

Las gráficas de los experimentos realizados con un solo quiosco pueden observarse en los apéndices 1 y 2, y corresponden a las gráficas de los experimentos 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3 y 1.1.4 referidos en el capítulo anterior.

Se observa en las gráficas de comportamiento Demanda-Inventario, como el efecto “Bullwhip”, está presente en todos los experimentos realizados con un solo quiosco excepto el experimento 1.1.3, el cual fue ensayado utilizando la estrategia #2. En la siguiente tabla se puede observar el coeficiente de variación de la demanda e inventario de los quioscos, obtenidos en los diferentes experimentos.

Experimento	Coeficientes de Variación	
	Demanda	Inventario
1.1.1	0.409097162	0.540631616
1.1.2	0.39417844	0.603431331
1.1.3	0.089693758	0.09131071
1.1.4	0.192170685	0.400972805

Tabla 15: Experimentos Con Un Solo Quiosco -Coeficientes de Variación

Se puede extraer de la tabla que la estrategia #0 (Exp. 1.1.1) y la estrategia #1 (Exp. 1.1.2), que son conocidas por ser estrategias que inducen o agravan los efectos oscilatorios, producen grandes inestabilidades en el mercado de la sociedad artificial, ocasionando ambas, el mencionado efecto “Bullwhip” aunque de manera distinta. Se observa en las gráficas del apéndice 1 correspondientes, como al utilizar la estrategia #0 (Exp. 1.1.1) se genera un desincronismo entre la demanda y el nivel del inventario, lo cual es de esperarse ya que al emplear este tipo de estrategia sólo es contabilizada las existencias en mano, por lo que el retraso en la entrega provoca que la reacción del quiosco para solicitar los pedidos sea tardía. Por su parte la estrategia #1 (Exp. 1.1.2), aunque logra ajustarse bastante bien a la demanda, induce de la misma forma los efectos oscilatorios. Los rápidos ajustes generados mediante esta estrategia, provocan a su vez bruscas oscilaciones en el nivel de inventario, con una frecuencia mucho mayor a las observadas cuando se emplea la estrategia #0.

La estrategia #2 (Exp. 1.1.3) mostró un comportamiento muy estable, como se puede observar en la gráfica de comportamiento inventario-demanda en el apéndice 1. El efecto “Bullwhip” es atenuado de forma tal que no se aprecian grandes oscilaciones, ni se presentan ciclos de escasez.

La estrategia #3 (Exp. 1.1.4), que está basada en la estrategia #0 aunado a una política de juego de precios según la escasez o exceso de inventario en mano con respecto al nivel de inventario objetivo o target, mostró oscilaciones mucho más frecuentes aunque de menor amplitud. Esto también puede extraerse de la tabla N° 2, donde se aprecia como los coeficientes de variación del Experimento 1.1.4 son mucho menores a los del experimento 1.1.1.

En las gráficas comparativas de los indicadores de desempeño, del apéndice 2, se aprecia como a nivel de costos de inventario (Indicador CI) la estrategia #2 es la que presenta el menor costo, seguida por la estrategia #3. Sin embargo esta

última provoca los mayores niveles de mortalidad entre las estrategias evaluadas. La estrategia con el mayor margen de ganancias (Indicador GQ) es también la #3.

5.1.2 Experimentos Con Dos Quioscos

Las gráficas de los experimentos realizados con dos quioscos pueden observarse en los apéndices 1 y 2, y corresponden a las gráficas de los experimentos 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3, 1.2.4, 1.2.5 y 1.2.6 referidos en el capítulo anterior.

Se aprecia como el comportamiento de la demanda-inventario en los experimentos donde se utilizan dos quioscos con la misma estrategia (Exp. 1.2.1, 1.2.2, 1.2.4), es muy similar a los correspondientes observados con un solo quiosco.

Los experimentos realizados con dos quioscos con estrategias distintas (Exp. 1.2.3, 1.2.4, 1.2.5), mostraron que existe una gran influencia entre una estrategia y el desempeño de la otra. Esto es claramente apreciable al observar las gráficas de comparación de indicadores de desempeño (apéndice 2).

Con respecto al indicador Costo de Inventario (CI), se aprecia en las gráficas, como los costos de la estrategia #1 disminuyen de manera significativa cuando interactúa en la sociedad con otro quiosco con una estrategia más estable como la estrategia #2. Otros indicadores como mortalidad (M) y ganancia (GQ) también se ven beneficiados.

Por su parte los costos de la estrategia #2 son fuertemente afectados cuando interactúan con estrategias inestables como la estrategia #1 o #3, incrementando los costos de inventario considerablemente. Otros indicadores como mortalidad (M) y ganancia (GQ) también son perjudicados.

Los costos de la estrategia #3, se ven disminuidos cuando interactúa con una estrategia estable como la #2 (debido a que disminuyen tanto la escasez como la

abundancia de productos). Al interactuar con un quiosco con su misma estrategia, sus costos aumentan pero su ganancia también (debido a que se producen mayores inestabilidades, que son aprovechadas por la estrategia).

A continuación la tabla 16, muestra con los principales indicadores y como se ven afectados cuando interactúan dos quioscos con estrategias distintas dentro de una misma sociedad.

Costos de Inventario (CI)			Ganancia (GQ)			
	Con #1	Con #2	Con #3	Con #1	Con #2	Con #3
#1	--	-20.50%	-16.34%	--	+225%	+113%
#2	+50.4%	--	+28.20%	-23.00%	--	-52.90%
#3	-0.04%	-42.50%	--	-12.32%	-19.90%	--
Mortalidad (M)			Riqueza Promedio (RP)			
	Con #1	Con #2	Con #3	Con #1	Con #2	Con #3
#1	--	-21.00%	+3.9%	--	-2.17%	-9.14%
#2	+4.7%	--	-27.4%	+1.6%	--	+11.83%
#3	+4.23%	-47.26%	--	+20.1%	+4.24%	--

Tabla 16: Experimentos Con Dos Quioscos – Variación de los Indicadores

5.1.3 Experimento Con Múltiples Estrategias y Creación de Quioscos

La gráfica de este experimento puede observarse en el apéndice 2, y corresponde al experimento 1.3.1 referido en el capítulo anterior. En esta se observa como la estrategia #3 domina la sociedad a medida que avanzan las iteraciones, a pesar de no ser esta la que mejor contrarresta el efecto “Bullwhip”.

Se aprecia en la gráfica, como al incrementarse el número de quioscos con la estrategia #3, la cantidad de quioscos con la estrategia #2 disminuye, y al disminuir los quioscos con la estrategia #3 los quioscos con la estrategia #2 aumentan. Esto coincide en cierta forma con los resultados obtenidos en los experimentos ensayados con dos quioscos, ya que éstos mostraron que la estrategia que más afecta la ganancia de los quioscos con estrategia #2 es la #3.

Se puede interpretar de estos resultados, que las distorsiones ocasionadas por la estrategia #3 afectan significativamente la estabilidad de heurísticas más eficientes como la heurística 2, pero esas mismas distorsiones benefician el desarrollo de políticas especulativas, como la misma estrategia #3.

5.2 Experimentos en Situación Simulada de Cambio Brusco en la Demanda

Las gráficas de estos experimentos pueden apreciarse en el apéndice 1, y corresponden a los experimentos 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3 y 2.1.4 referidos en el capítulo anterior.

Se puede observar en las gráficas de los mencionados experimentos, como las estrategias #0 (Exp. 2.1.1), #1 (Exp. 2.1.2) y #3 (Exp. 2.1.4), adaptan su nivel de inventario a la nueva demanda de manera acelerada, provocando inestabilidades. Mientras que la estrategia #2 se adapta mucho más lentamente sin dejar secuelas de efectos oscilatorios.

Las heurísticas 1 y 2, se adaptan más rápidamente a la demanda debido a que incluyen la totalidad de las discrepancias entre el nivel de inventario actual y el objetivo o *target*, mientras que la heurística 3, al incorporar solo una fracción de estas discrepancias, se ajusta mucho más lentamente evitando así las consecuencias perjudiciales del efecto “Bullwhip”.

5.3 Comparación de los Resultados Observados Con la Literatura

Los resultados obtenidos en esta serie de experimentos, se corresponden directamente con la información documental encontrada sobre el uso de estas heurísticas en el ámbito real. Las estrategias #0 y #1 que emplean las heurísticas 1 y 2 respectivamente, son conocidas por ser heurísticas que inducen el efecto

“Bullwhip”, mientras que la estrategia #3 (basada en la heurística 1) utiliza una política de juego de precios que en teoría genera aún mayores distorsiones. En la simulación se observó como la estrategia #3 generó mayores oscilaciones aunque de menor amplitud comparado con la estrategia #0, esto debido en parte a la contracción del mercado que provoca tal fluctuación de precios. Esta contracción se ve reflejada en los elevados índices de mortalidad de la población cuando se emplea dicha estrategia.

La estrategia #2 (basada en la heurística 3) demostró en las simulaciones realizadas, lograr disminuir de manera significativa los efectos oscilatorios, y mejorar de esta forma los indicadores más importantes de desempeño de la sociedad. Estos resultados también se corresponden con la teoría, ya que esta heurística fue desarrollada con el fin de mitigar el efecto “Bullwhip”.

Adicionalmente la estrategia #2, mostró que en situaciones de cambios bruscos en el nivel de demanda, tiende a reaccionar más lentamente evitando la generación de fluctuaciones que puedan inducir el efecto “Bullwhip”. Esto también se corresponde con la teoría encontrada, la cual considera a los ajustes bruscos como indeseables y generadores de inestabilidades.

CONCLUSIONES

Conclusiones

Las estrategias #0 y #1, las cuales buscan satisfacer el objetivo individual de minimizar los costos de inventario basadas en las heurísticas 1 y 2 respectivamente, mostraron no ser estrategias muy eficientes en circunstancias donde los efectos autonómicos (Efecto “Bullwhip”), están presentes. En cambio la estrategia colectiva #0, la cual tiene como objetivo atenuar los efectos oscilatorios, demostró ser la estrategia adecuada para también reducir los costos de inventario. La estrategia #3, cuyo objetivo es el de maximizar la ganancia mediante políticas “especulativas”, logra su objetivo pero a costa de la estabilidad de la sociedad.

La incapacidad de las heurísticas 1 y 2 de contrarrestar los efectos oscilatorios generados por el efecto “Bullwhip”, es debido en gran parte a los ajustes bruscos derivados de solicitar pedidos basados en la totalidad de las discrepancias entre el nivel de inventario actual en mano (CEM) y en órdenes o en tránsito (CET), con respecto al nivel de inventario objetivo o *target*.

La heurística 3, en cambio, al sólo considerar una fracción de dichas discrepancias, logra ajustes mucho más lentos que logran atenuar los efectos oscilatorios evitando así sus perjudiciales consecuencias.

Se pudo constatar el gran el impacto de ciertas estrategias en el ámbito global y sobre el desempeño de otras estrategias, sobretodo en escenarios donde interactúan estrategias con objetivos distintos. Ciertas políticas especulativas demostraron beneficiarse de las inestabilidades, mientras que políticas tradicionales (Heurística 1 y 2) demostraron favorecerse significativamente de políticas atenuantes del efecto “Bullwhip” (Heurística 3).

Finalmente vale la pena resaltar, la gran cantidad de investigaciones que se pueden realizar siguiendo esta misma línea de investigación. Por lo tanto en el

siguiente capítulo, se hacen una serie de recomendaciones para futuras investigaciones.

RECOMENDACIONES

Recomendaciones

El empleo de herramientas de computación emergente, como Autómatas Celulares, para resolver problemas tradicionales de Investigación de Operaciones, proporciona inmensas posibilidades para estudios futuros debido a la gran cantidad de modelos diferentes que se pueden construir y parámetros que se pueden ensayar para abordar un mismo problema, desde ópticas distintas. El problema particular atacado en este trabajo, no es la excepción.

En lo referente a las reglas de reabastecimiento, futuras investigaciones podrían ahondar en los siguientes puntos:

- ◆ Evaluar el impacto global de otras reglas heurísticas de reabastecimiento utilizadas comúnmente en el ámbito real.
- ◆ Diseñar una regla heurística que logre mitigar los efectos ocasionados por los referidos fenómenos autonómicos, sin comprometer objetivos particulares como la minimización de costos.

Con respecto al modelo de Sociedad Artificial diseñado, se podrían estudiar ciertas variantes:

- ◆ Incorporar estacionalidad al metabolismo de los individuos. Esto permitiría estudiar el impacto de variaciones estacionales de demanda en el desempeño global.
- ◆ Incorporar otros agentes dentro de la Sociedad Artificial como: Distribuidor, Mayorista, etc. Lo que permitiría estudiar diversas políticas de cooperación entre actores, con el fin de alcanzar objetivos colectivos.

También se podría profundizar el estudio en lo referente a las posibles estrategias a seguir por parte de los actores presentes en la sociedad:

- ◆ Estudiar la influencia en el ámbito global, del empleo de políticas que busquen satisfacer otros objetivos particulares, como: maximizar servicio, maximizar ventas, etc.
- ◆ Identificar otros objetivos particulares y colectivos dentro de la sociedad.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

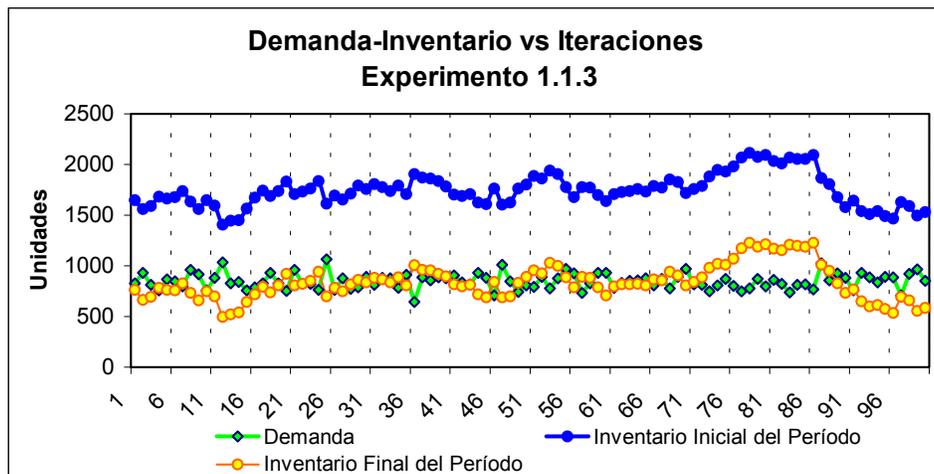
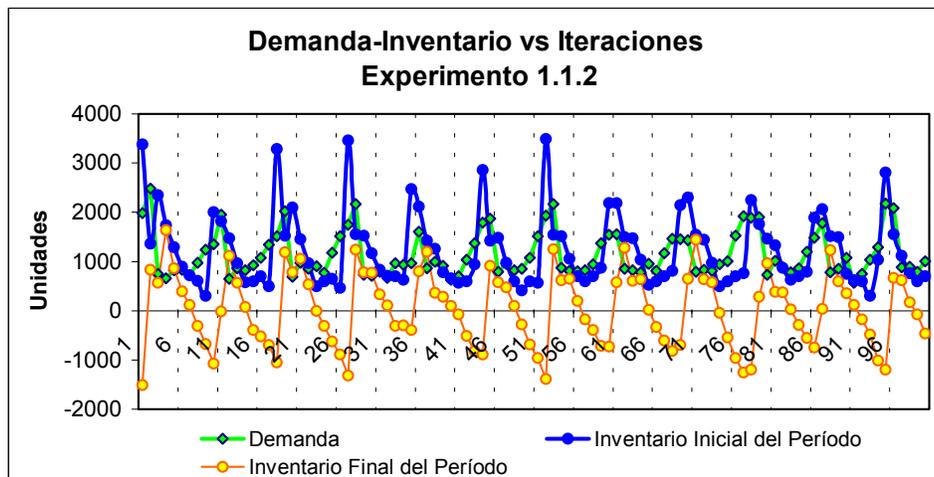
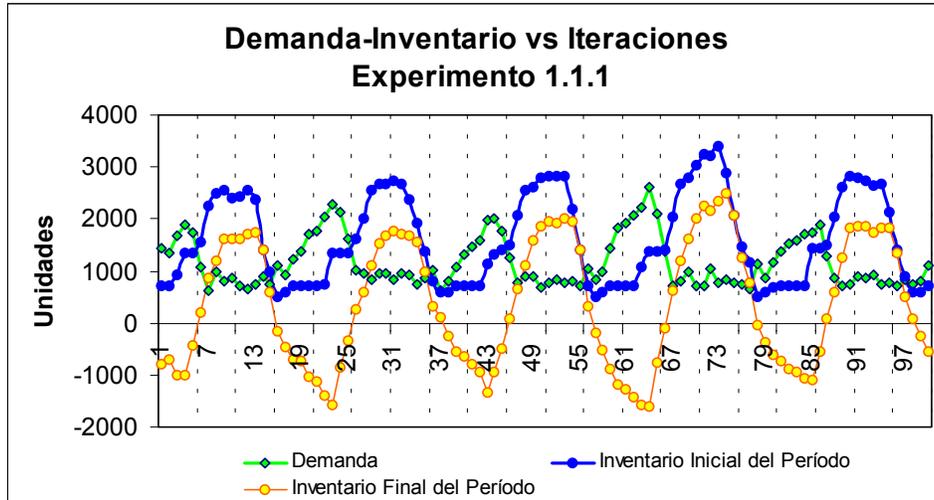
Referencia Bibliográfica

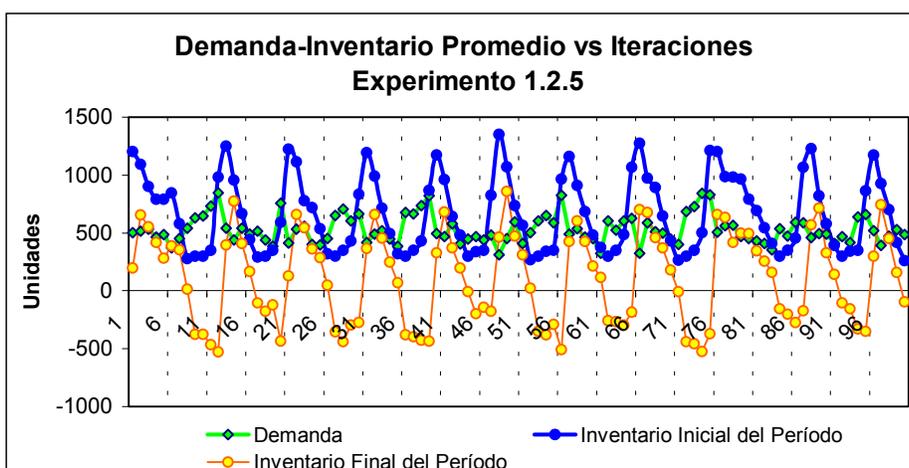
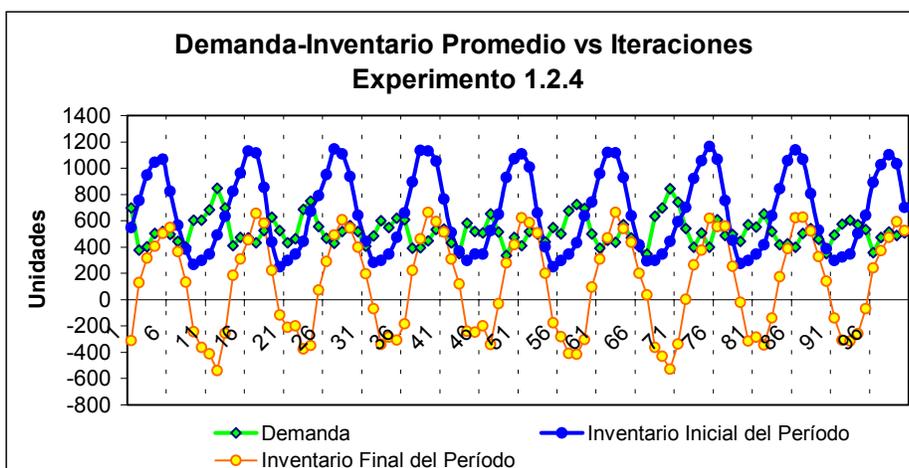
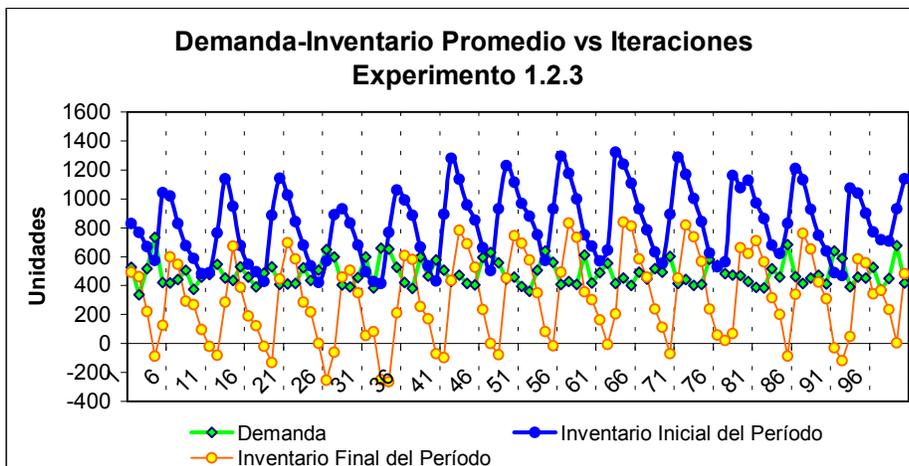
- Baptista, M. "Emergencia de Características Sociológicas en Simulaciones de Sociedades Artificiales Basadas en Autómatas Celulares". Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", Venezuela, 2000.
- Castro, R. "Efectos Colectivos a Través de la Competencia en Políticas de Inventario". UCV, Venezuela, 2001.
- Diaz M., Angel, "Gerencia de Inventarios". Ediciones IESA, 1999.
- Green, D. "Cellular Automata". Enviromental and Information Sciences, Charles Sturt University, 1993.
<http://life.csu.edu.au/complex/tutorials/tutorial1.html>
- Hau L. Lee, V. Padmanabhan, Scungjin Whang, "The Bullwhip Effect in Supply Chains", Sloan Managment Review, Voluman 38, Spring 1997, p. 94.
- Hillier & Lieberman. "Introducción a la Investigación de Operaciones". Mc Graw Hill, 4^{da} Edición, 1989.
- Johnston, R.; Betts, J. "A Complex System Simulation of Planning versus Reacting for Inventory Replenishment", Computer Based Learning Unit, University of Leeds, 1996.
- Marc Lambrecht, Jeroen Dejonckheere, Denis Towill y Stephen Disney, "Taming the Bullwhip Effect", Business in Zicht, N° 8, Octubre 2001, Pags.1 y 4.
- Moreno, J, "Autómatas Celulares", DIOC, UCV, Venezuela, página variada.
- Narasimhan, S.; McLeavey, D.; Billington P. "Planeación de la Producción y Control de Inventarios.". Prentice Hall, 2^{da} Edición, 1995.
- Nigel, G. "Simulation: an emergent perspective. Centre for Research on Social Simulation". 1996. <Http://www.soc.surrey.ac.uk/research/simsoc/tutorial.html>
- Ram Reddy, "Taming the Bullwhip Effect",Tactica Consulting Group, 2001.
http://www.intelligententerprise.com/010613/supplychain1_1.shtml

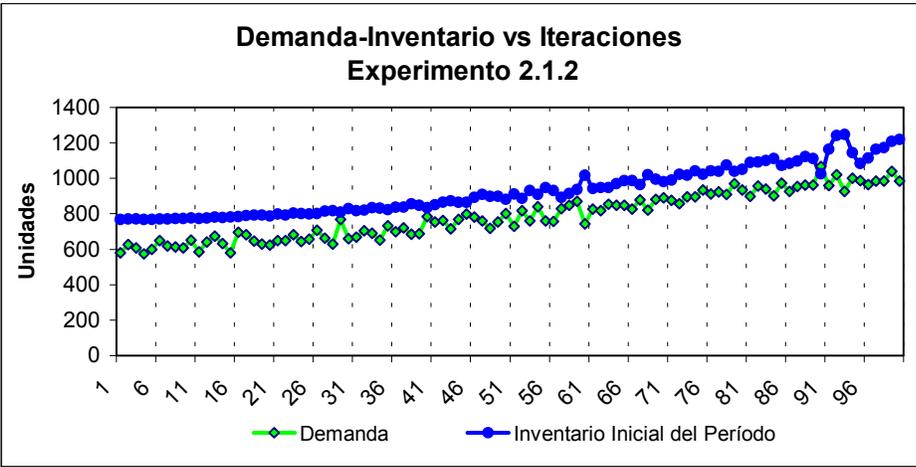
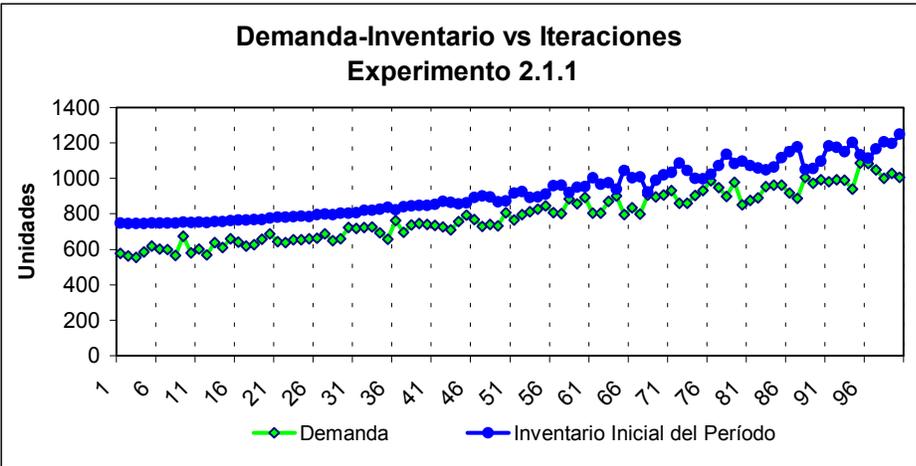
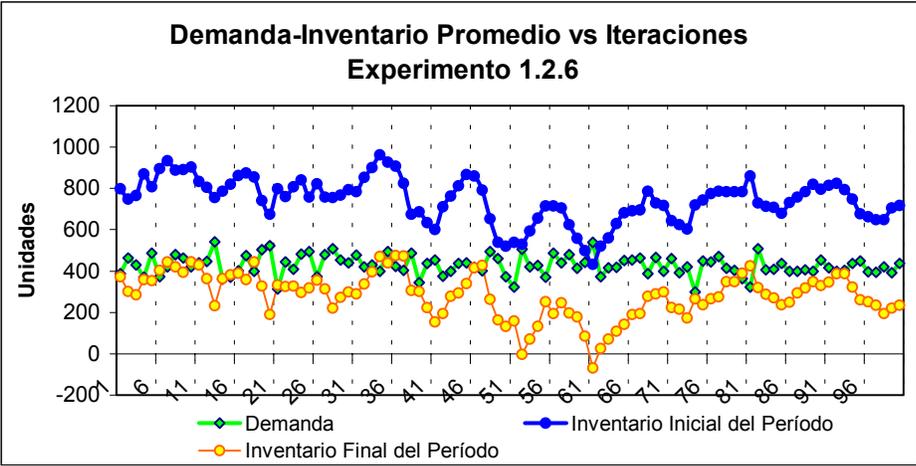
- Schatten, Alexander, "Cellular Automata Tutorial", Digital Worlds, 15 p., 1999, [http://qspr\(\)3.tuwien.ac.at/~aschatt/info/ca/ca.html](http://qspr()3.tuwien.ac.at/~aschatt/info/ca/ca.html)
- Senge, Peter, "La Quinta Disciplina", Granica, 7^{ma} Edición, 1999
- Steven O. Kimbrough, D.-J. Wu, Fang Zhong, "Can Artificial Agents Manage Supply Chains?", FMEC, Philadelphia, June 2000.
- Thomas A. Stewart, "Barely Managing: Beer Today, Gone Tomorrow", Business 2.0 Magazine, Agosto 2001.
- Torres, Michel, "Análisis y Diseño de Sistemas", DIOC,UCV, Venezuela, página variada.
- Torres, Michel, "Inventario y Producción", DIOC, UCV, Venezuela, página variada.
- Otero, M.; "Sociedades Artificiales, análisis de un Sistema Complejo", N° 2, 1997. <http://www.csu.edu.au/ci/vol03/typeset1/typeset1.html>

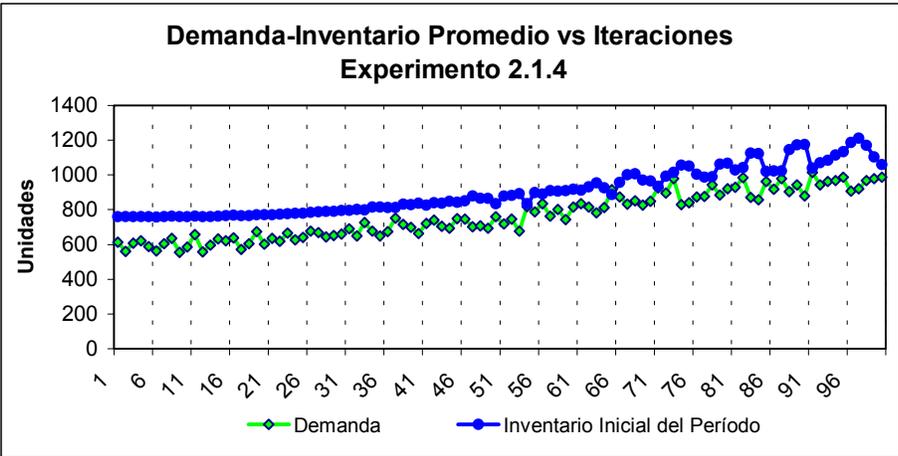
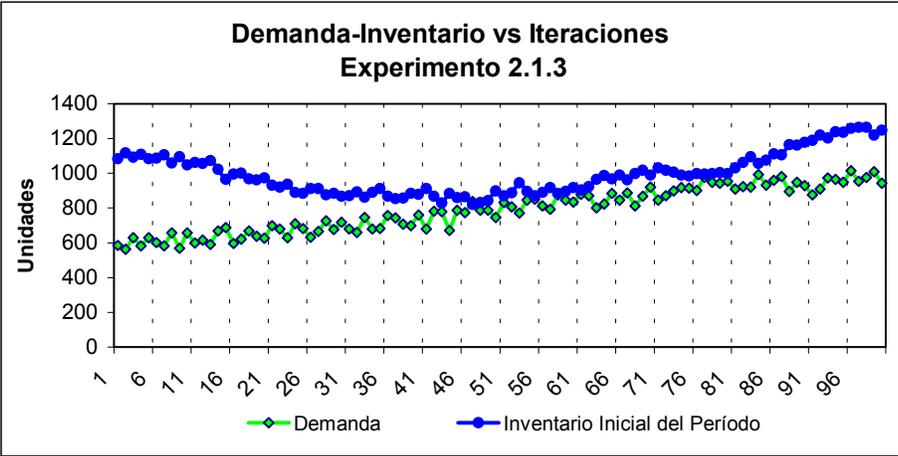
APÉNDICES

Apéndice 1: Gráficas de Comportamiento Demanda – Nivel de Inventario









***Apéndice 2: Gráficas Comparativas de Indicadores de
Desempeño***

