

MODELADO DEL JUEGO DE LA CERVEZA MEDIANTE SIMULACIÓN BASADA EN AGENTES USANDO PECS

J. Sebastián Marín
Ingeniería Matemática
Departamento de Ciencias y Humanidades
Universidad EAFIT

Paula A. Escudero
Ingeniería Matemática
Departamento de Ciencias y Humanidades
Universidad EAFIT

RESUMEN

El juego de la cerveza ha sido ampliamente estudiado y tradicionalmente ha sido modelado usando dinámica de sistemas. Hasta el momento no existen trabajos que estudien la dinámica del juego desde la perspectiva del comportamiento humano, además el nivel de agregación usado en dinámica de sistemas no permite estudiar el efecto de las características propias de cada individuo en la dinámica del comportamiento del juego. Por tal razón, el principal propósito de éste trabajo versa sobre el efecto que tiene incluir el comportamiento individual de los agentes que participan en el juego de la cerveza, en la dinámica del mismo. Con este objetivo se desarrolla un modelo de simulación basado en agentes que incorpora la plataforma PECS, por medio de dicha plataforma es que se logra incorporar el modelado del comportamiento humano en el modelo de simulación del juego.

Los resultados de la simulación sugieren que la incorporación de factores humanos en el juego, no altera la dinámica del mismo, sin embargo, permite identificar y estudiar las emociones que causan las decisiones de los jugadores, que en general tienden a estar bastante alejadas de las decisiones óptimas.

PALABRAS CLAVE: juego de la cerveza, plataforma PECS, simulación basada en agentes

ABSTRACT

The beer game has been widely studied and traditionally has been modeled using systems dynamics. To date, there is no evidence of studies of the game's dynamics from the human behavior perspective. In addition, the aggregation level used in systems dynamics does not let studying the effect of the individuals' characteristics in the game's dynamics. That is why the main purpose of this paper is to analyze the consequences of introducing the self-behavior of the agents who participate in the beer game, on its own dynamics. Pursuing this objective, an agent based model which incorporates PECS framework is developed. This framework is responsible for articulating the human behavior model inside the agent based simulation model.

The results of the simulation show that considering human factors into the model of the game, does not alter its dynamics. Nevertheless, it permits identifying and studying the emotions that cause the different decisions of the players, that in general terms tend to be significantly far from the optimal decisions.

KEYWORDS: beer game, PECS framework, agent based simulation

1 INTRODUCCIÓN

El juego de la cerveza consiste en una cadena de abastecimiento en la que interactúan cuatro entidades, a saber: el minorista, el mayorista, el distribuidor y la fábrica. El objetivo del juego es que cada entidad tome sus decisiones de manera que mantengan sus niveles de inventario y minimizar los costos asociados a éste.

Cada entidad decide cuánto pedir o cuánto vender en cada período de tiempo teniendo en cuenta su estimación de la demanda de cervezas y el tiempo que transcurre entre el momento en que se ordena el pedido y el momento en el que llega.

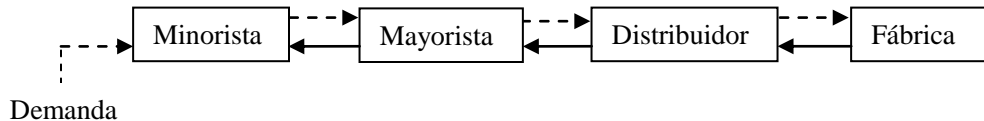


Diagrama 1. Las flechas punteadas indican la información que se transfiere de una entidad a otra (pedidos), y las flechas continuas representan el despacho de cerveza entre entidades.

La tarea para los individuos aparenta ser sencilla: administrar su inventario de manera que minimicen los costos totales al enfrentar una demanda desconocida. Sin embargo, el ambiente simulado en el juego es un ambiente formado por varios individuos, retroalimentaciones, alinealidades y retardos. La interacción de las decisiones del individuo con la estructura del sistema, produce dinámicas agregadas que divergen significativa y sistemáticamente del comportamiento óptimo (Sterman, 1989).

Desde que son seres humanos quienes conforman cada una de las entidades del juego, es intuitivo pensar en las “entidades” del juego como agentes que toman decisiones autónomas basados en reglas de decisión que representan su comportamiento individual. El nivel de agregación usado en DS no permite estudiar el efecto de las características propias de cada individuo en la dinámica del comportamiento del juego, por ello resulta natural preguntarse acerca de cómo influyen sus emociones, su experiencia, su estado físico, entre otras; en las decisiones que toman en cada periodo de tiempo y en consecuencia, en los resultados finales del juego.

Hay varias teorías sobre el comportamiento humano, y diferentes modelos de referencia que permiten representar el comportamiento humano a partir de algunas características propias de los individuos (Bonabeau, 2002; Kennedy, 2012; Korobkin & Ulen, 2000; Oren & Ghasem-Aghaee, 2003; Robinson et al., 2001; Schmidt, 2005). Particularmente, existe un marco conceptual llama-

do PECS (Physical conditions, Emotional state, Cognitive capabilities, Social status) que brinda un esquema, en el que el ser humano se percibe como una unidad psicosomática con capacidades cognitivas inmersa en un contexto social (Schmidt, 2005). De esta forma, PECS permite modelar el comportamiento humano con base en diferentes variables de estado relacionadas con las condiciones físicas (P), el estado emocional (E), capacidades cognitivas (C), y el status social (S).

Así pues, lo que se pretende lograr en esta práctica investigativa es responder:

¿Qué efecto tiene incluir el comportamiento individual de los agentes que participan en el juego de la cerveza a través de las PECS, en la dinámica del juego?

2 METODOLOGÍA

El juego de la cerveza desde su creación en el MIT en la década de los sesenta, ha sido de amplio interés académico y existen numerosos trabajos al respecto. El juego de la cerveza fue modelado inicialmente por Sterman (1989) usando dinámica de sistemas con el objetivo de estudiar la forma como el comportamiento individual genera macro-dinámicas (comportamiento del sistema) desde micro-estructuras (individuos) en un contexto determinado, específicamente un sistema de producción y distribución.

Sin embargo, el juego de la cerveza también se ha modelado utilizando agentes con diversos objetivos, a pesar de ello, no hay evidencia hasta el momento de que se hayan preocupado por incorporar el comportamiento humano en los modelos basados en agentes. Por ejemplo Kimbrough et al. (2002), presenta un modelo con agentes artificiales a fin de determinar si tales agentes pueden obtener mejores resultados que los obtenidos por seres humanos mediante la implementación de algoritmos genéticos.

Los modelos de simulación basados en agentes (ABMS) constituyen un paradigma de modelación que se caracteriza principalmente por estar compuesto de agentes, que a su vez se encuentran dentro de un entorno o contexto y que pueden interactuar entre ellos (North & Macal, 2007). Cada agente está dotado con una serie de reglas de decisión, que le permiten actuar de diferentes formas de acuerdo a los diferentes estímulos del entorno, comunicarse con otros agentes, e incluso aprender de sus propias experiencias dentro de la simulación. Una de las ventajas que tienen los ABMS es que permiten llegar a niveles de desagregación que con otros paradigmas de modelación es difícil lograr y que, en consecuencia, se convierte en una herramienta propicia para estudiar diferentes sistemas con un alto nivel de detalle.

En lo que concierne al modelado del comportamiento humano, se han desarrollado varios marcos conceptuales (Salamon, 2011), entre ellos los más relevantes probablemente son BDI y PECS. BDI (Beliefs, Desires, Intentions) considera que el comportamiento humano puede ser modelado mediante la representación de sus creencias, deseos e intenciones. Las creencias se refieren a la percepción que el individuo tiene del mundo, los deseos a sus propias motivaciones, metas, lo que desea alcanzar; y las intenciones se entienden como todo el conjunto de acciones/estados que el individuo puede tomar en un instante dado. Sin embargo, BDI supone racionalidad en los agentes sin contar el hecho difícilmente provee más que un marco conceptual para tratar de en-

tender el comportamiento humano y es por ello que surge PECS, como una versión basada en BDI pero que brinda más herramientas para la modelación especialmente desde el punto de vista de las emociones (Schmidt, 2000).

PECS se deriva de sus siglas en inglés *Physis*, factores físicos, *Emotions*, factores emocionales, *Cognition*, factores cognitivos y *Social Status*, factores sociales. Desde éste marco, se modela el proceso mediante el cual el ser humano toma decisiones dependiendo de su estado interno, entendiendo éste como el conjunto de variables de estado que miden cada uno de los factores nombrados previamente y que están ligados con la personalidad del agente.

La plataforma PECS se encuentra sustentada sobre el hecho que el comportamiento humano frecuentemente depende de impulsos, necesidades o deseos los cuales dependen de su estado interno, aunque en algunos contextos esto puede ser controversial, es claro que en muchas situaciones tal supuesto es bastante sensato, pues permite construir un modelo de comportamiento partiendo del hecho que los seres humanos toman decisiones de acuerdo a su estado interno, y no simplemente considerando su comportamiento como un proceso aleatorio.

Es importante tener claro que ésta plataforma considera al ser humano como una unidad psicosomática con capacidades cognitivas que se encuentra inmersa en un ambiente social (Schmidt, 2005), ésta acepción acerca del ser humano es fundamental para entender no solamente el aparato conceptual que soporta la teoría, sino también brinda información sobre los insumos necesarios a la hora de construir un modelo de simulación que pretenda incluir tal plataforma.

Observe que escoger un modelo de simulación que incluya PECS no es un asunto trivial, pues debe garantizar la existencia de ciertos componentes que logren recrear las condiciones bajo las cuales la plataforma está soportada. Por ejemplo, el modelo de simulación debe permitir un nivel de agregación tal, que permita reconocer cada individuo (entendiendo como individuo a cada representación de un ser humano), además debe poder ubicar a los individuos en un espacio en el cual ellos puedan interactuar, esto con el objetivo de simular el ambiente social. Los modelos de simulación basados en agentes resultan ideales para incorporar la plataforma PECS, en la medida en que satisfacen los requerimientos que se acaban de mencionar.

En tales modelos, cada agente representa un individuo y el ambiente social es representado mediante proyecciones. Proyección es el nombre técnico que se le da a la forma en la cual los agentes se localizan e interactúan dentro del contexto, entendiendo éste último como la estructura que contiene toda la información sobre los agentes y sus relaciones (Macal & North). Existen diferentes tipos de proyecciones, algunas de las más usadas son: la cuadrícula y la red. En la primera, los agentes se encuentran en un plano cartesiano, de manera que cada agente tiene una posición y además tiene la posibilidad de comunicarse con otros agentes mediante el contexto. En la segunda, los agentes se perciben como los nodos de la red, de manera que dependiendo del propósito del modelo los arcos entre los nodos pueden representar diferentes cosas: canales de comunicación, relaciones sociales, distancias, entre otras.

El funcionamiento general de la plataforma PECS implementada en un modelo de simulación basado en agentes es como sigue: cada agente está equipado con sensores a través de los cuales es estimulado por el ambiente, tales estímulos son percibidos por los agentes (no necesariamente

todos los agentes perciben los mismos estímulos de la misma forma) y posteriormente éstos modifican las variables de estado del agente, y a través de funciones de transferencia logran convertir el estado de cada variable en una intensidad, la ventaja de usar tales funciones de transferencia es que permiten comparar las intensidades de las diferentes variables de estado, logrando que el agente decida cuál será su siguiente acción con base en su estado interno. Note que las acciones del agente afectan el ambiente, y éste a su vez vuelve a modificar el estado interno del agente a través de los sensores, lo que hace que el agente decida de nuevo, y así sucesivamente. Ésta realimentación del estado del agente a partir del ambiente es la que justifica los beneficios de usar PECS para el modelado del ser humano, pues enriquece y permite simular de manera más realista el proceso de decisión de los seres humanos.

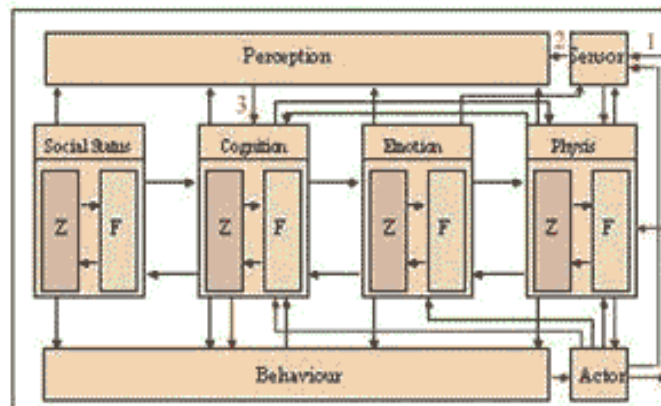


Diagrama 2. Modelo interno de un agente con la plataforma PECS.
Tomado de Schmidt, 2000.

Finalmente, es importante anotar que otra ventaja significativa de usar la plataforma PECS para el modelado del comportamiento humano, es que su arquitectura interna constituida por variables de estado y funciones de transferencia brindan herramientas que permiten modelar y simular diferentes personalidades y comportamientos para distintos agentes, logrando un mejor acercamiento a la diversidad de personalidades que tienen lugar en el sistema real.

Esto se logra mediante el ajuste de los parámetros de las funciones que miden el estado interno y también de los parámetros que definen las funciones de transferencia. De ésta manera, y en términos de la simulación, la personalidad de un agente y sus características quedan totalmente determinadas por el conjunto de parámetros asociados sus variables internas de estado y a sus respectivas funciones de transferencia. Aunque las funciones de transferencia suelen tener la misma forma para todos los agentes (sólo se diferencian por sus parámetros), existen algunos modelos donde la forma funcional de las variables internas de estado o las funciones de transferencia varían entre los agentes, en tales casos la diferencia de personalidades entre los agentes no queda completamente explicada por las diferencias existentes entre sus respectivos conjuntos de parámetros, sino también por las diferencias en la forma de sus funciones internas.

3 ESPECIFICACIÓN DE LA PLATAFORMA PECS PARA EL JUEGO DE LA CEVEZA

3.1 ESCPECIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTADO

Como se expuso anteriormente, el modelo PECS incorpora en su estructura las variables de estado internas relacionadas con el estado físico, emocional, social y cognitivo, y posteriormente tales variables son transformadas (mediante una función de transferencia) en las respectivas intensidades de cada variable de estado. A continuación se expone detalle el modelado de las variables de estado y las funciones de transferencia usadas para el juego de la cerveza.

En el modelo construido para simular las variables de estado de los agentes está sustentado bajo los siguientes supuestos:

- El nivel de energía de cada agente disminuye linealmente con el tiempo
- La ansiedad de los agentes depende tanto del tiempo como de su nivel de inventario
- El conocimiento de los agentes aumenta con el tiempo
- El estado social de cada agente permanece constante durante todo el juego

Sean $A(t)$, $C(t)$, $E(t)$ y $S(t)$, las variables de los agentes que miden la ansiedad (estado emocional), el conocimiento (estado cognitivo), la energía (estado físico) y la satisfacción social (estado social) en el instante t , dadas por las siguientes ecuaciones:

$$A(t) = \max_t \left\{ A(0) + e^{k_1 t} - \frac{k_2}{|NI(t) - NI^*| + 1}, 0 \right\}, t > 0 \quad (1)$$

$$C(t) = 1 - e^{-k_3 t}, t \geq 0 \quad (2)$$

$$E(t) = E(0) - k_4 t, t > 0 \quad (3)$$

$$S(t) = S(0), t > 0 \quad (4)$$

Donde $k_1, k_2, k_3, k_4 > 0$ son constantes y $NI(t)$ y NI^* representan el nivel de inventario en el tiempo t y el nivel de inventario deseado, respectivamente. Observe que las ecuaciones (1) – (4), satisfacen los supuestos anteriormente mencionados. Note además, que tales ecuaciones representan de manera coherente el comportamiento promedio de los individuos, para ello vea que en la ecuación (1) a medida que $NI(t)$ se acerca más a NI^* , la ansiedad crece con menos rapidez gracias a un factor de descuento k_2 , mientras que entre más se aleja $NI(t)$ de NI^* el factor de descuento se hace cada vez menos significativo, esto sucede porque los individuos tienden a bajar el nivel de ansiedad cuando notan que su nivel de inventario está cerca o es igual a su nivel de inventario deseado.

La ecuación (2) muestra que el conocimiento de los agentes siempre crece con el tiempo, la rapidez de crecimiento del conocimiento, relacionada con la capacidad de aprendizaje de cada agente, depende de la constante k_3 ; entre mayor sea ésta mayor es la tasa de aprendizaje. También es importante decir, que, el conocimiento del juego es acotado, observe que el conocimiento nunca podrá ser igual o superior a 1. Por último, vea que el conocimiento inicial siempre es 0 (a

diferencia de las otras variables), esto se debe a que se asume que los jugadores no tienen conocimientos previos sobre el juego.

Finalmente la ecuación (3), muestra que el nivel de energía de los agentes decrece linealmente con el tiempo con una tasa de decrecimiento dada por k_4 . La ecuación (4) simplemente establece que el nivel de satisfacción social permanece constante durante todo el juego y es igual al nivel de satisfacción inicial.

3.2 ESPECIFICACIÓN DE LAS FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

Siguiendo a Schmidt (2005), las funciones de transferencia tienen como objetivo calcular la intensidad de las variables internas de estado. Aunque no hay una forma predeterminada para tales funciones, han sido comúnmente utilizadas funciones sigmoideas (Kucharavy & De Guido). La sigmoidea que fue utilizada para la construcción del modelo aquí presentado se conoce comúnmente como función logística y tiene la siguiente forma:

$$Z(X) = \frac{C}{1 + e^{-g(X-h)}} \quad (5)$$

Donde X denota el valor de la variable interna de estado y $g \in \mathbb{R}$, $C, h > 0$ son parámetros de la función de transferencia. El parámetro C representa el supremo del conjunto de valores que puede tomar la intensidad de la variable, y g es un parámetro relacionado con la tasa de crecimiento de la intensidad de la variable. El parámetro h es especialmente interesante, en la medida en que brinda información sobre el valor de la variable de estado en el cual la intensidad alcanza la mitad de C , ello es inmediato de ver haciendo $X = h$ en la ecuación (5).

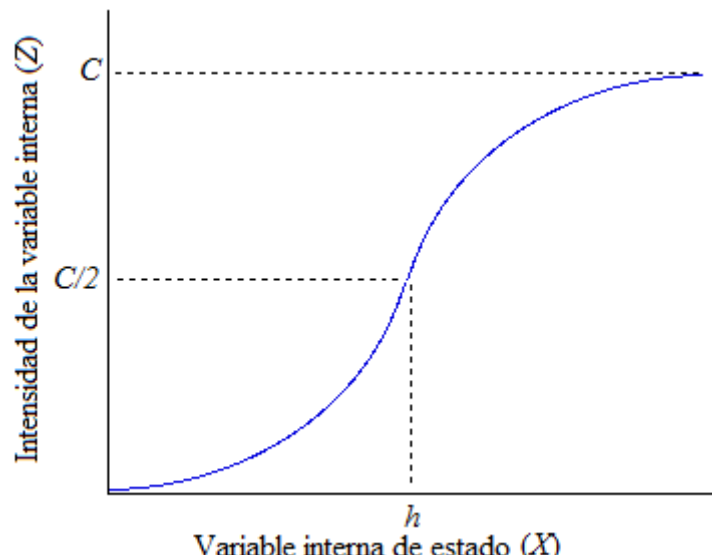


Figura 1 Forma general de la función de transferencia sigmoidea especificada

Existen varias razones por las cuales utilizar la función de transferencia definida en (5). La primera de ellas responde a su sencillez, y a la poca cantidad de parámetros que posee, lo cual la

hace fácil de implementar. En segundo lugar, la forma de la función de transferencia permite escalar las variables de manera práctica y coherente, evitando problemas de escalamiento. Los problemas de escalamiento pueden surgir a partir de la diferencia de escalas de las mediciones de las variables de estado, si una función de transferencia no logra escalar bien las variables, puede hacer que la intensidad de una variable éste siempre por encima de las demás sólo a causa de su escala (y no porque naturalmente lo esté) haciendo que el agente pueda tomar decisiones incorrectas.

Finalmente las funciones de transferencia sigmoideas han sido ampliamente utilizadas pues representan muy bien la forma natural según la cual los seres humanos “cuantificamos” o “auto-percibimos” nuestras emociones, aunque ello no responde a estudios cuantitativos hechos al respecto, es consecuencia de estudios cualitativos sobre la auto-percepción.

Es importante anotar que todas las variables de estado tienen asociada una función de transferencia de la forma dada por la ecuación (5), dependiendo de cada agente y de la respectiva variable de estado, los parámetros de la función tomarán diferentes valores que permanecerán fijos durante la simulación. En la tabla 1, se muestran los parámetros con que se obtuvieron los resultados encontrados en éste trabajo.

	Ansiedad					Conocimiento				Energía				S. Social		
	k_1	k_2	C	g	h	k_3	C	g	h	k_4	C	g	h	C	g	h
Minorista	0.05	2	1	0.6	5	0.05	1	20	0.69	5	1	-0.03	358	1	0.5	8
Mayorista	0.05	2	1	0.5	5	0.05	1	18	0.74	5	1	-0.03	358	1	0.5	8
Distribuidor	0.05	2	1	0.7	5	0.05	1	17	0.77	5	1	-0.03	358	1	0.5	8
Fábrica	0.05	2	1	0.8	4	0.05	1	15	0.79	5	1	-0.03	358	1	0.5	8

Tabla 1. Parámetros de las variables de estado y de sus respectivas funciones de transferencia

3.3 ARTICULACIÓN DEL MARCO PECS PARA LA TOMA DE DECISIONES

El objetivo de modelar las variables internas de estado y posteriormente medir su intensidad mediante una función de transferencia no es más que el hecho que el agente pueda decidir de acuerdo a la intensidad de cada variable de estado, en éste caso, el agente siempre actúa de acuerdo a la intensidad más alta.

Observe que en el juego de la cerveza los agentes sólo deciden cuánto pedir, esto implica que el conjunto de posibles decisiones es el conjunto de los números naturales. En otras palabras, la articulación del marco PECS para la toma de decisiones en el juego de la cerveza pretende diseñar un mecanismo mediante el cual cada agente escoge un número natural (que significa el número barriles que decide pedir en un período determinado) de acuerdo a la intensidad su estado interno (componente físico, emocional, cognitivo y social). Para ello se considera el modelo adaptativo propuesto por Sterman (1989), y se hacen algunas modificaciones con el objeto de que las decisiones dependan de las intensidades de las variables.

El modelo adaptativo planteado por Sterman consta de las siguientes ecuaciones:

$$O_t = \max\{0, \bar{D}_t + \alpha_s(NI' - NI_t - \beta P_t)\} \quad (6)$$

$$\bar{D}_t = \theta D_{t-1} + (1 - \theta)\bar{D}_{t-1} \quad (7)$$

$$NI' = NI^* + \beta P^* \quad (8)$$

Con $\alpha_s, \beta, NI^*, P^* \geq 0$ y $0 \leq \theta \leq 1$.

Donde:

- O_t indica cuánto ordenar en el tiempo t
- \bar{D}_t hace referencia a la demanda estimada por el agente en el tiempo t .
- NI_t representa el nivel de inventario en el período t .
- P_t indica los pedidos que ya fueron despachados por la fábrica pero que aún no han llegado.
- D_t hace referencia a la demanda en el período t .

Además NI^*, P^* representan el nivel de inventario deseado y la cantidad de mercancía deseada que encuentra en pedido, respectivamente. Finalmente, α_s, β y θ son parámetros del modelo adaptativo, donde α_s es un coeficiente relacionado con la importancia que el agente da al ajuste entre el nivel de inventario real y el deseado. Por otro lado, β puede ser interpretado como la fracción de los pedidos que se encuentran en camino que el agente reconoce, así si $\beta = 1$, significa que el agente es plenamente consciente de los pedidos que se encuentran en camino y $\beta = 0$, significa que el agente no tiene en cuenta los pedidos que se encuentran en camino. Por último, θ representa el peso que el agente da a la demanda registrada en la semana inmediatamente anterior.

Observe que el modelo adaptativo descrito por las ecuaciones (6) – (8) queda totalmente determinado por el valor de sus parámetros, y de acuerdo al planteamiento de Sterman, los parámetros son invariables en el tiempo. Sin embargo, suponer que tales parámetros son invariables en el tiempo, implica que el modelo asume que cada jugador se comporta de la misma manera durante todo el juego, ello evidentemente ignora el hecho que los jugadores en realidad tienen estrategias contingentes que se ven influenciadas por diversos aspectos inherentes al ser humano, y que son precisamente aquellos que se pretenden capturar por medio del modelo PECS. En consecuencia, el modelo PECS aquí planteado pretende dinamizar el comportamiento de los parámetros del modelo adaptativo, con el fin de que éstos cambien de acuerdo a la intensidad de las variables internas de estado de los agentes, y de ésta manera lograr modelar de una manera más realista los procesos de decisión de los jugadores.

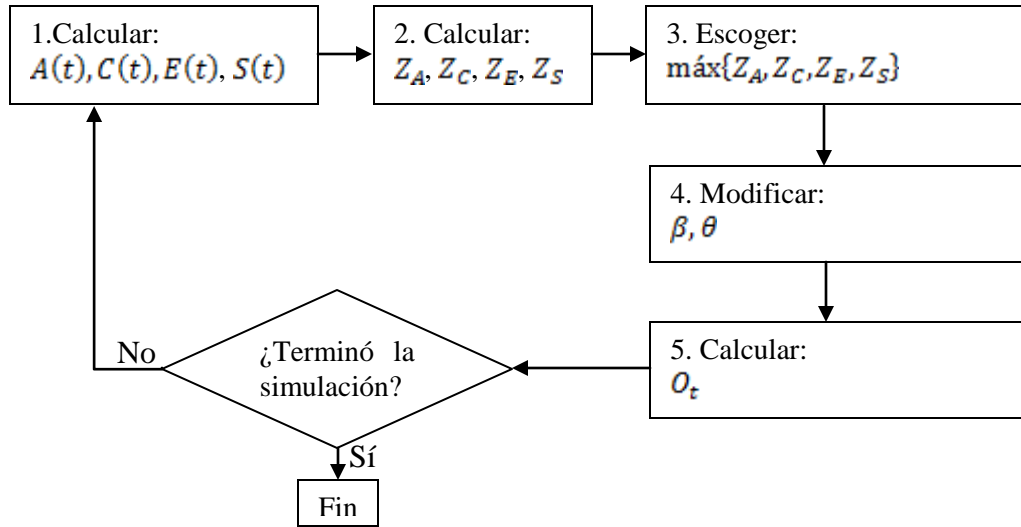


Diagrama 3. Diagrama de flujo de la simulación incorporando PECS

3.4 INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS EN LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS AGENTES

La figura n muestra la variación de la función de transferencia de la ansiedad ante cambios en el parámetro g. Tal parámetro afecta directamente la tasa de cambio de la intensidad de la ansiedad, para ello note que a medida que g aumenta, la función de transferencia alcanza intensidades más altas en menos tiempo. El parámetro g, en consecuencia, da información sobre la tendencia de un agente a ser ansioso, por ejemplo, en éste caso puede verse que un agente cuya en cuya función de transferencia se tenga que $g = 9$, refleja que el agente representa una persona muy ansiosa, mientras que otro con $g = 1$, representa una persona más calmada.

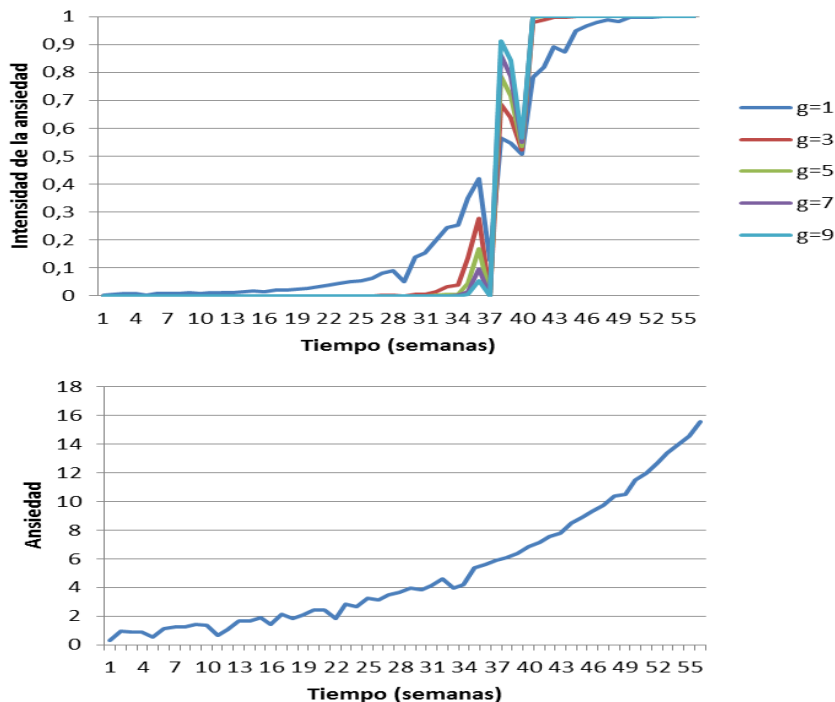


Figura 2. Comparación de la intensidad de la ansiedad ante cambios en el parámetro g.

En la figura n se puede observar cómo cambia la fatiga al variar el parámetro h. En éste punto vale la pena recordar que el parámetro h representa el valor de la variable de estado para el cual la función de transferencia alcanza la mitad de su máximo valor. Como todas las funciones de transferencia están medidas entre 0 y 1, entonces es claro que el tiempo en donde la función de transferencia alcanza 0.5 es el tiempo en el cual la variable de estado vale h (puede comprobarlo observando la gráfica). De esta manera, el parámetro h en ésta variable de estado está relacionado con el nivel de energía a partir del cual una persona alcanza la mitad de su fatiga máxima, por lo que, una persona con un h muy grande significa que tiene una tendencia a fatigarse más rápido que alguien cuyo h sea más pequeño, pues quiere decir que aguanta con un nivel de energía más bajo antes de alcanzar la mitad de su máxima fatiga.

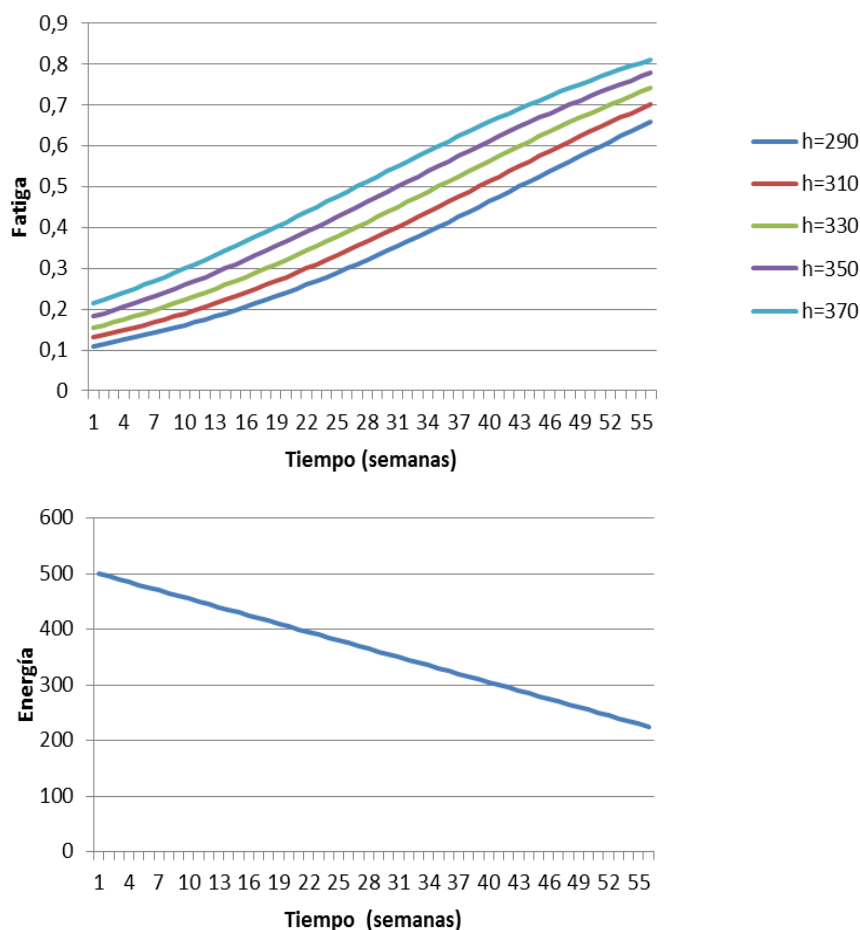


Figura 3. Comparación de la fatiga (intensidad de la energía) ante cambios en el parámetro h.

Observe que la figura n muestra cómo se comporta la intensidad del conocimiento ante cambios del parámetro g. Claramente éste parámetro está relacionado con la velocidad de crecimiento de la intensidad del conocimiento, esto dentro del contexto del juego de la cerveza está relacionado a la rapidez de aprendizaje del agente, así pues, una persona que sea muy hábil y rápida para entender la dinámica del juego es representada en la simulación mediante un agente cuya función

de transferencia tiene un parámetro g grande (por lo menos superior a los de los demás agentes). En tal caso, los agentes que tengan más capacidades de aprendizaje lograrán obtener mejores resultados, en tanto se tardan menos tiempo en comprender realmente la dinámica del juego, por lo que, son capaces de tomar decisiones que los lleven a mantener sus niveles de inventario de manera que traten de optimizar los costos de inventario.

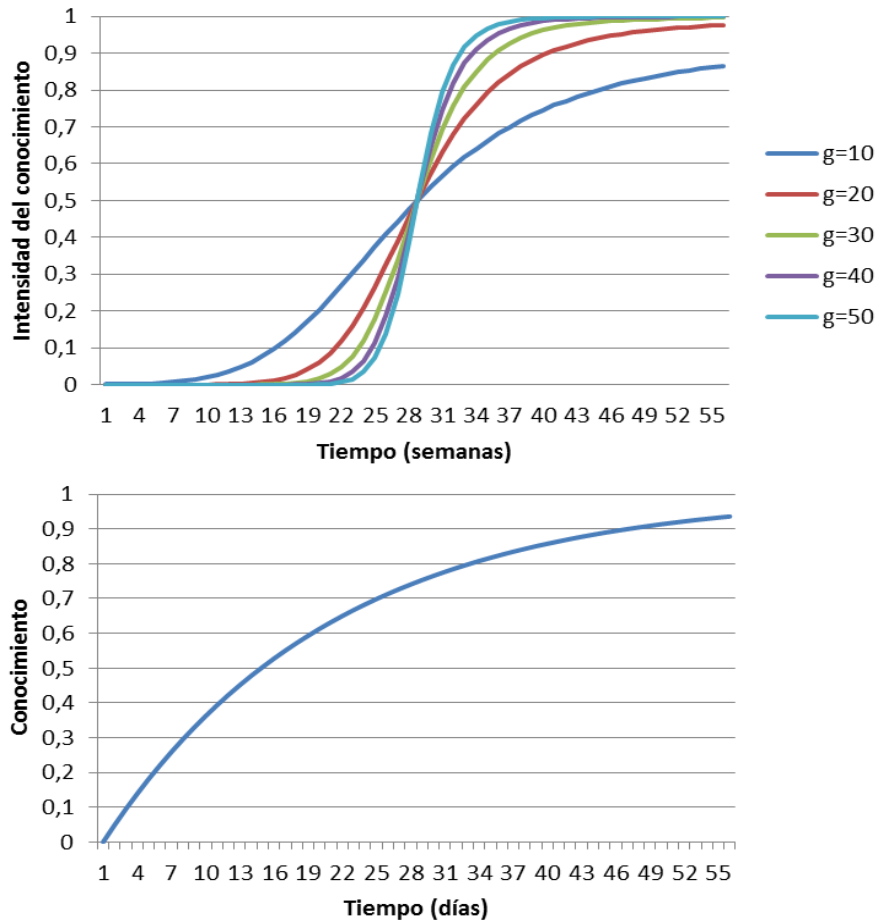


Figura 4. Comparación de la intensidad del conocimiento ante cambios en el parámetro g .

Es importante resaltar que a través de la plataforma PECS y mediante la asignación de los parámetros se pueden simular diferentes tipos de personalidades, o en general, características de las personas. El análisis hecho en ésta sección es clara evidencia de ello, y ayuda a aclarar cómo a través de la especificación de los parámetros, queda determinada las características propias de cada agente (personalidad).

4 RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos de acuerdo a los parámetros establecidos en la tabla 1.

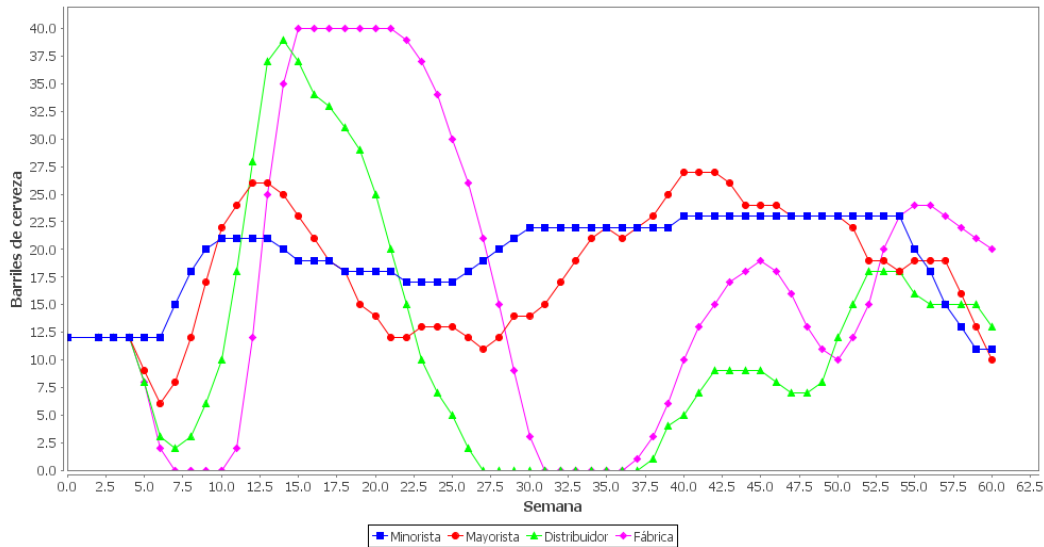


Figura 5 Inventario de cada posición en cada semana del juego

En primer lugar es interesante notar que el efecto amplificador, que constituye la característica principal de la dinámica del juego de la cerveza está presente en el modelo que incorpora el marco PECS. Observe que pequeñas oscilaciones en el inventario del minorista, generan a su vez oscilaciones más grandes en la posición inmediatamente superior (el mayorista) y así continua hasta llegar a la última posición de la cadena de suministro (fábrica), donde la gran amplificación de las oscilaciones de las posiciones inferiores es evidente.

La figura 5 muestra claramente que el juego se mantiene en equilibrio durante las primeras cuatro semanas, en donde todas las posiciones mantienen un inventario de doce barriles de cerveza. Esto se debe a la existencia del período de calentamiento, donde los jugadores están supuestos a mantener su inventario inicial y en consecuencia se les solicita que durante las primeras cuatro semanas ordenen siempre cuatro barriles de cerveza, con el objetivo de contrarrestar una demanda constante de cuatro barriles de cerveza. Una vez terminado el período de calentamiento, la demanda aumenta a ocho barriles por semana y se mantiene constante durante todo el juego, los jugadores desconocen la naturaleza de la demanda, razón por la cual se nota un cambio brusco entre los niveles de inventario de la semana cuatro y la cinco para todas las posiciones exceptuando la del minorista. Es razonable que el minorista no tenga cambios tan bruscos, puesto que, es la única posición dentro de la cadena de suministro que tiene contacto directo con la demanda. También observe que alrededor de la semana nueve el inventario de la fábrica llega a ser cero, esto se debe a que las posiciones inferiores en la cadena de suministro empiezan a aumentar sus pedidos con el objetivo de poder satisfacer la demanda y mantener sus niveles de inventario. La fábrica aumenta rápidamente sus solicitudes de producción y en cuestión de cuatro semanas alcanza un inventario de cuarenta barriles, inventario que mantiene por ocho semanas antes de un nuevo descenso. Es claro que por los efectos de la amplificación y la dinámica propia que caracteriza el juego, las demás posiciones muestran un comportamiento similar al de la fábrica pero a escalas menores.

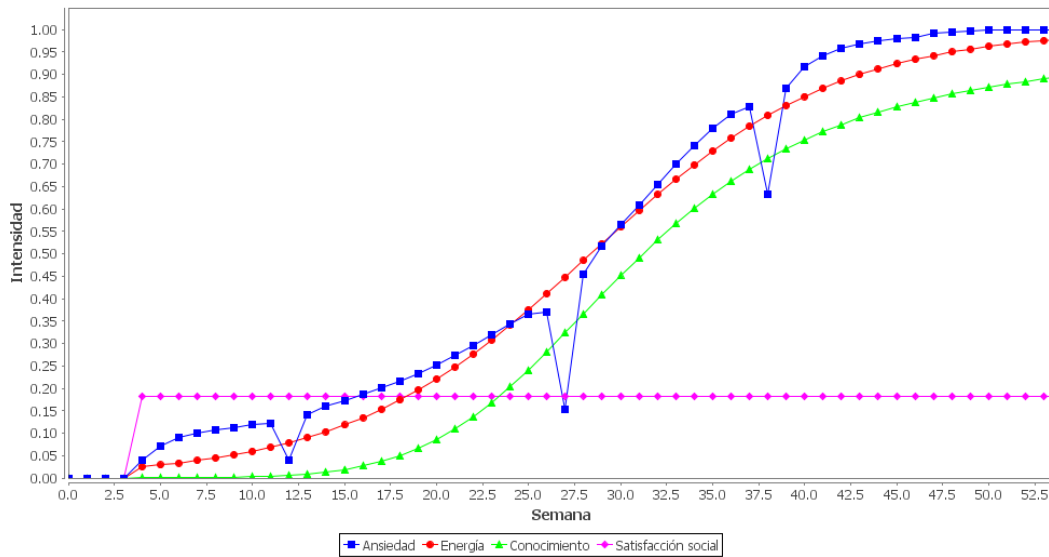


Figura 6 Intensidad de las variables de estado de la fábrica

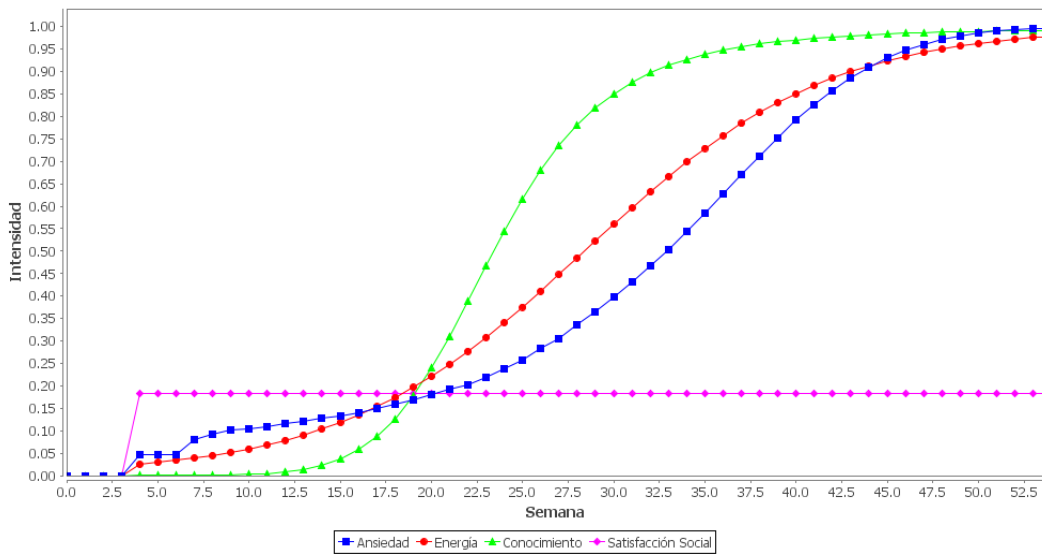


Figura 7 Intensidad de las variables de estado del minorista

Las figuras 6 y 7 muestran el comportamiento de la intensidad de las variables de estado en el tiempo. Nótese la gran diferencia entre el comportamiento de las intensidades de las variables de estado de la fábrica y del minorista. La diferencia radica principalmente en el hecho que en el caso de la fábrica la ansiedad es la variable de estado predominante, mientras que en el caso del minorista el conocimiento es la variable de estado predominante. Ello es una consecuencia natural del nivel de complejidad que afronta la fábrica, pues para ella es mucho más difícil estimar la demanda que para el minorista, en la medida que el minorista interactúa directamente con la demanda, mientras que la fábrica hace estimaciones con base a lo que le pide el distribuidor que a su vez es producto de la estimación que hace de lo que le pedirá el mayorista, y así sucesivamente hasta llegar al minorista. Esto genera que la fábrica maneje altos niveles de ansiedad y que su

tasa de aprendizaje sea mucho más lenta que la del minorista. El comportamiento de la fábrica y del minorista sugerido por el modelo es coherente con lo que se observa en el juego real, de hecho es bastante frecuente ver que la fábrica es la posición que suele mostrar más estrés, no sólo por lo anteriormente expuesto, sino también porque le toca contar grandes cantidades de barriles (en el juego real representado por fichas) en muy poco tiempo.

También es interesante ver que como el conocimiento es la variable interna que predomina en el caso del minorista, entonces se espera que tal posición mantenga relativamente estable su nivel de inventario, lo cual es afín con el comportamiento del nivel de inventario del minorista, como lo muestra la figura 5.

5. VERIFICACIÓN DEL MODELO

El objetivo de la etapa de verificación del modelo es constatar que efectivamente el modelo se comporta de acuerdo a como fue diseñado para que se comportara. Esto incluye revisar que no haya errores de programación, inicialización de variables, y en general todo tipo de errores que hagan que el modelo no se comporte como está supuesto a comportarse según el modelador. En éste caso, el proceso de verificación se llevo a cabo comprobando que las funciones de transferencia y las variables de estado tuvieran el comportamiento que describen las ecuaciones (1) – (5). De hecho es fácil ver que las figuras 6 y 7, muestran claramente que el comportamiento de la intensidad de las variables internas de estado tiene forma sigmoidea, como se especificó en (5) y satisfacen las propiedades allí planteadas.

Por otro lado, el modelo también fue verificado comprobando que los niveles de inventario en cada momento del tiempo y la cantidad de cerveza que ordenaba cada posición concordaran con lo establecido por el modelo adaptativo dado por las ecuaciones (6) – (8).

6. VALIDACIÓN DEL MODELO

A diferencia de la etapa de verificación, la etapa de validación tiene como principal objetivo asegurarse de que el modelo planteado captura adecuadamente la dinámica del sistema que se está modelando, y en consecuencia, es capaz de simular y reproducir resultados similares a los producidos por el sistema real.

Dado que no fue posible encontrar los datos experimentales completos con los que trabajó Stermán, la validación del modelo se efectuó con base a los datos estadísticos reportados por Stermán (1989) y a las características principales de la dinámica del juego de la cerveza. De acuerdo con los resultados arrojados por el modelo aquí planteado bajo los parámetros establecidos en la tabla 1 se compara con los obtenidos por Stermán (ver tabla 2).

Aunque los resultados son similares hay algunos valores en los que parecieran existir algunas diferencias considerables, sin embargo, hay que tener en cuenta que los datos reportados por Stermán están basados en una muestra de apenas 11 réplicas del juego de la cerveza y algunos de ellos con alta variabilidad.

Dado que en general los resultados son similares y además el modelo PECS preserva las características principales de la dinámica del juego de la cerveza, se concluye que el modelo logra capturar de manera adecuada el comportamiento real del juego.

		Minorista	Mayorista	Distribuidor	Fábrica
PECS	Inventario máximo	23	27	38	40
	Costo acumulado	385	550	520	382
Serman	Inventario máximo	20	41	49	50
	Costo acumulado	383	635	630	380

Tabla 2. Comparación entre algunos resultados obtenidos por Serman y el modelo PECS

7. CONCLUSIONES

En este punto es importante discutir la relevancia y practicidad de implementar un modelo basado en agentes que incorpora PECS para modelar el juego de la cerveza, cuando en realidad se obtienen resultados similares por medio de la implementación mediante dinámica de sistemas, que en términos prácticos puede ser incluso más sencilla.

Quizás la clave radica en el objetivo que pueda tener el modelador a la hora de plantear el modelo, si se quiere simplemente obtener resultados y mirar el comportamiento de los niveles de inventario, es probable que lo más práctico sea construir un modelo usando dinámica de sistemas (como el planteado por Serman), por otro lado, si la intención es observar el impacto de las emociones humanas sobre las decisiones que toman los jugadores y tratar de explicar las estrategias que toman los jugadores a partir de sus emociones, entonces el modelo basado en agentes que incorpora PECS puede ser más útil. En últimas el aporte que hace el modelo aquí planteado no es que los resultados concuerden con los encontrados por Serman, sino que más allá de eso, es un modelo que permite explicar desde el punto de vista de las emociones humanas el porqué cada posición del juego tiene un cierto patrón de comportamiento.

Es importante anotar que el modelo PECS que se propuso permite llegar a la misma conclusión a la que llegó Serman: “la estructura genera el comportamiento”, esto quiere decir, que independientemente de la personalidad de cada jugador, el comportamiento del juego sigue un patrón establecido debido a su estructura propia. La ventaja de incorporar el marco PECS es que se logró identificar cuáles son esas emociones que son generadas por la estructura, lo que sugiere que a la luz de éste modelo, los jugadores siguen unos esquemas de comportamiento debido a que cada posición genera al jugador ciertas emociones inherentes a ella. En el caso de la fábrica, por ejemplo, el modelo PECS sugiere que la emoción predominante en tal posición es el estrés y ello explica su comportamiento.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Sterman, J. D. (1989). Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science*, 35(3), 321-339.
- Schmidt, B. (2005). Human Factors in Complex Systems, the modelling of human behaviour. Proceedings 19th European Conference on Modelling and Simulation.
- Kimbrough, S. O., Wu, D. J., Zhong, F. (2002). Computers play the beer game: can artificial agents manage supply chains? *Decision Support Systems*, 323– 333.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems (Vol. 99, pp. 7280-7287): National Acad Sciences.
- Disney, S. M., Naim, M. M., & Potter, A. (2004). Assessing the impact of e-business on supply chain dynamics. *International Journal of production economics*, 89(2), 109-118.
- Kennedy, W. G. (2012). Modelling human behaviour in agent-based models. *Agent-based models of geographical systems*, 167-179.
- Korobkin, R. B., & Ulen, T. S. (2000). Law and behavioral science: Removing the rationality assumption from law and economics. [Review]. *California Law Review*, 88(4), 1051-1144. doi: 10.2307/3481255
- North, M. J., & Macal, C. M. (2007). *Managing Business Complexity: Discovering strategic solutions with Agent-Based Modeling and Simulation*. New York: Oxford University Press, Inc.
- Oren, T., & Ghasem-Aghaee, N. (2003). *Personality representation processable in fuzzy logic for human behavior simulation*. Paper presented at the Summer Computer Simulation Conference.
- Robinson, S., Alifantis, T., Hurrion, R., Ladbroke, J., Edwards, J., & Waller, T. (2001). *Modelling and improving human decision making with simulation*.
- Salamon, T. (2011). *Design of Agent-Based Models: Developing Computer Simulations for a Better Understanding of Social Processes*: Tomas Bruckner.
- Schmidt, B. (2000). *The Modelling of Human Behaviour: The PECS Reference Models*: SCS-Europe BVBA.
- Schmidt, B. (2005). *Human factors in complex systems: The modelling of human behaviour*. Paper presented at the 19th European Conference on Modelling and Simulation.
- Sterman, J. D. (1989). Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. *Management Science*, 35(3), 321-339.
- Sterman, J. D. (2001). System dynamics modeling. *California management review*, 43(4), 8-25.
- Van Ackere, A., Larsen, E. R., & Morecroft, J. D. (1993). Systems thinking and business process redesign: an application to the beer game. *European Management Journal*, 11(4), 412-423.