

PX1201-NN

**SIMULADOR BASADO EN AGENTES INTELIGENTES PARA EL APOYO A LA TOMA DE
DECISIONES EN LOS PLANES OPERACIONALES DE NEGOCIOS EN CENTROS COMERCIALES**

Daniel Steven Valencia Parada

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
BOGOTÁ, D.C.
2017**

PX1201-NN
SIMULADOR BASADO EN AGENTES INTELIGENTES PARA EL APOYO A LA
TOMA DE DECISIONES EN LOS PLANES OPERACIONALES DE NEGOCIOS
EN CENTROS COMERCIALES

Autor:

Daniel Steven Valencia Parada

MEMORIA DEL TRABAJO DE GRADO REALIZADO PARA CUMPLIR UNO DE LOS
REQUISITOS PARA OPTAR AL TITULO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

Director

Ingeniero Enrique González Guerrero PhD.

Comité de Evaluación del Trabajo de Grado

<Nombres y Apellidos Completos del Jurado >

<Nombres y Apellidos Completos del Jurado >

Página web del Trabajo de Grado

<http://pegasus.javeriana.edu.co/~PI171-9-SIMALL/>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRÍA EN INGENIERIA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

BOGOTÁ, D.C.
Mayo, 2017

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN**

Rector Magnífico

Jorge Humberto Peláez, S.J.

Decano Facultad de Ingeniería

Ingeniero Jorge Luis Sánchez Téllez

Director Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación

Ingeniera Angela Carrillo Ramos

Director Departamento de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Efraín Ortíz Pabón

Artículo 23 de la Resolución No. 1 de Junio de 1946

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la Justicia”

AGRADECIMIENTOS

Escribir un mensaje en caso de que sienta agradecimiento por alguien que lo haya apoyado en el desarrollo del Trabajo de Grado. Su familia, su pareja, sus amigos, su director, sus profesores, etc.

Tabla de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	13
2.	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	15
2.1	OPORTUNIDAD Y PROBLEMÁTICA	15
2.2	APROXIMACIÓN DE SOLUCIÓN	15
2.3	OBJETIVO GENERAL.....	16
2.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2.5	METODOLOGÍA Y FASES DE DESARROLLO	17
2.5.1	FASE I: CONTEXTUALIZACIÓN Y APROPIACIÓN DE CONCEPTOS.....	18
2.5.2	FASE II: DISEÑO DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	18
2.5.3	FASE III: IMPLEMENTACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	18
2.5.4	FASE IV: VALIDACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	18
3.	ESTADO DEL ARTE	19
3.1	CENTROS COMERCIALES	19
3.1.1	ESTRUCTURA Y CLASIFICACIÓN.....	20
3.1.2	DESAFÍOS EN LA PLANEACIÓN DE LA DISPOSICIÓN DE LOS LOCALES EN LOS CENTROS COMERCIALES	21
3.2	SIMULACIÓN DE MULTITUDES	22
3.2.1	CLASIFICACIÓN DE LOS SIMULADORES DE MULTITUDES	23
3.2.2	ENFOQUES PARA MODELADO DE SIMULACIÓN BASADO EN AGENTES	25
3.3	AGENTES Y SISTEMAS MULTIAGENTE	26
3.3.1	ARQUITECTURA DE AGENTES REACTIVOS, DELIBERATIVOS E HÍBRIDOS.....	28
3.3.2	ARQUITECTURA DE AGENTES BDI.....	28
3.4	MODELADO DE EMOCIONES	30
3.4.1	GENERALIDADES DE LAS EMOCIONES	30
3.4.2	CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS EMOCIONALES	31
3.4.3	MODELOS EMOCIONALES BASADOS EN AGENTES.....	32

3.4.4	PROCESO COGNITIVO DE LAS EMOCIONES	33
4.	MODELO DE SIMULACIÓN	36
4.1	GENERALIDADES DEL MODELO [1 PÁGINA].....	36
4.2	ESTRUCTURA E INTERACCIONES DEL MODELO DE AGENTES APLICANDO METODOLOGÍA AOPOA.....	38
4.2.1	DIAGRAMA DE CASOS DE USO	38
4.2.2	CARACTERIZACIÓN DE CLASES DE OBJETIVOS.....	39
4.2.3	CARACTERIZACIÓN DE ENTIDADES	40
4.2.3.1	ENTIDADES SOCIALES	40
4.2.3.2	ENTIDADES COMPLEMENTARIAS DE DOMINIO	40
4.2.4	CARACTERIZACIÓN DE HABILIDADES	41
4.2.5	CARACTERIZACIÓN DE RECURSOS	41
4.2.6	CARACTERIZACIÓN DE ROLES.....	42
4.3	MODELO DE ENTIDADES	42
4.4	PROCESO GENERAL DE SIMULACIÓN	45
4.5	ARQUITECTURA BDI DEL MODELO DE AGENTES.....	46
4.5.1	CREENCIAS	46
4.5.2	DESEOS	47
4.5.2.1	METAS DE SUPERVIVENCIA.....	47
4.5.2.2	METAS DE OBLIGACIÓN	48
4.5.2.3	METAS DE OPORTUNIDAD.....	48
4.5.2.4	METAS DE REQUERIMIENTO.....	49
4.5.2.5	METAS DE NECESIDAD.....	49
4.5.3	INTENSIONES.....	49
4.6	MODELO EMOCIONAL Y TOMA DE DECISIÓN BASADO EN LÓGICA DIFUSA.....	50
5.	CASO DE ESTUDIO	53
5.1	CARACTERIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	53
5.2	DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....	54
5.3	DEFINICIÓN DE VARIABLES DE DESEMPEÑO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

5.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
6.	CONCLUSIONES.....	54
7.	ANEXOS.....	56
8.	REFERENCIAS	57

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 - Clasificación de Modelos Crowd [ZHO2010].....	24
Ilustración 2 - Modelo OCCr [DAS2009].....	35
Ilustración 3 - Modelo AIDA.....	37

Índice de Tablas

Tabla 1 - Objetivos Específicos, Método Científico y Fases Metodológicas	17
Tabla 2 - Clasificación de los Centros Comerciales [PIT2005].....	20

ABSTRACT

Modeling customer behavior within a mall and explore the motivations that drive their actions, has been studied by several researchers and has generated new marketing theories. Viewed from a software modeling perspective, the system's design is complex given its emerging behavior nature. In this paper a supporting tool for decision-making through a simulation model based on multi-agent systems to study emergent behavior of customers within a mall is proposed. The proposed model was validated by an expert through the implementation of a case study.

RESUMEN

Modelar el comportamiento de los clientes dentro de un centro comercial y explorar las motivaciones que dirigen sus acciones, ha sido objeto de estudio de múltiples trabajos y ha generado nuevas teorías en mercadeo. Visto desde una perspectiva informática, el modelado de este sistema es complejo, dada su naturaleza de comportamiento emergente. En este trabajo se propone ofrecer una herramienta de apoyo para la toma de decisiones a través de un modelo de simulación basado en sistemas multiagente para el estudio del comportamiento emergente que tienen los clientes dentro de un centro comercial. El modelo propuesto fue validado por un experto a través de la implementación de un caso de estudio.

1. Introducción

Un informe reciente sobre la productividad del Reino Unido afirmó que, "... la clave para la productividad sigue siendo lo que sucede dentro de la empresa y esta es una caja negra..." [DEL2016]. Literatura reciente sobre prácticas de gestión y productividad de las organizaciones concluye que las prácticas de gestión se deben ver desde una perspectiva multidimensional y generalmente no denota una relación directa con las variables de productividad [SIE2008], y que tanto las prácticas de gestión, como las medidas de productividad deben estudiarse en un contexto específico para que estas sean efectivas y significativas. Una de las técnicas más ampliamente utilizadas para la identificación y medición de variables de desempeño sobre un sistema es la simulación. La simulación puede ser utilizada para analizar el funcionamiento de los sistemas dinámicos y estocásticos que muestran una evolución en el tiempo. Existen varios tipos diferentes de simulación, y cada uno tiene su campo de aplicación específico. Uno de ellos es la simulación basada en agentes, que resulta particularmente útil para representar interacciones altamente complejas entre las entidades del sistema, tales como procesos para toma de decisión, resolución de conflictos y/o comportamientos proactivos y emergentes. El modelado basado en agentes muestra cómo los procesos a nivel micro afectan los resultados a nivel macro; al nivel macro el comportamiento no se modela de forma explícita, este emerge de las micro-decisiones tomadas por las entidades individuales [POU2002].

Desde el punto de vista de modelado informático, uno de los problemas que plantea un escenario desafiante por su alta complejidad y naturaleza emergente, es estudiar el comportamiento de los clientes dentro de un centro comercial. Uno de los desafíos que propone la planeación de centros comerciales está relacionado con el desempeño de los establecimientos comerciales que allí funcionan, para asegurar que estos se mantengan productivos y redituables. Este se encuentra directamente relacionado con los factores que influyen la intención de compra de los clientes y cómo estos afectan los procesos de toma de decisiones. Se ha evidenciado que neurológicamente las emociones representan uno de los factores que juegan un rol importante y activo en el proceso humano de toma de decisiones [YEN2000]. Con el estudio de estos factores, se busca aportar información útil como insumo para los procesos de planeación de los centros comerciales, para tomar decisiones con el soporte de una verificación previa. En este trabajo se propone la construcción de un simulador de un centro comercial basado en agentes inteligentes y en representación de emociones. Sobre estas técnicas se fundamentan los procesos de toma de decisiones de los clientes y para ello, se crea un modelo computacional que permite representar las emociones que pueden experimentar los clientes de un comercio bajo ciertas condiciones y cómo influyen estas emociones en su intención de compra. En este trabajo se busca estudiar las emociones humanas, no experimentarlas. Teniendo en cuenta que obtener información de los clientes a través de experimentos de observación de personas reales resulta una labor compleja por la naturaleza emergente del sistema, a través de la solución propuesta expertos en planeación podrán formular experimentos con el simulador, a través de la manipulación de sus parámetros y examinando los resultados para observar los casos que resulten razonables y de esta forma afinar la herra-

mienta para lograr cierto grado de semejanza al comportamiento real del sistema. La herramienta de simulación se construye no sólo con el propósito de aportar al desarrollo de los centros comerciales, sino también como un punto de partida para el desarrollo de nuevos estudios sobre las emociones humanas y las interacciones de los individuos en el marco de las ciencias sociales.

2. Descripción General

En este capítulo se realizará un breve resumen sobre la problemática que generó la oportunidad sobre la cual se desarrolló este trabajo. De este modo, se plantean los objetivos principales y secundarios del proyecto, se presenta la aproximación a la solución propuesta, así como la metodología que se desarrolló para la construcción de la propuesta.

2.1 Oportunidad y Problemática

El comportamiento de los gastos financieros de un individuo es comúnmente catalogado como irracional; Este es un hecho que constituye la base fundamental para la generación de nuevas teorías en sectores como la publicidad y mercadeo, casinos, aseguradoras, economistas, etc. [DAG2007]. Explicar y predecir la intención de compra por parte de un cliente potencial en un establecimiento comercial ha sido el objeto de estudio de múltiples trabajos de investigación [HAN2004] [SHU2012] [CHU2013]. La adquisición de productos vista desde una perspectiva tradicional no explica por sí sola el valor de la actividad de compra porque se ha demostrado que los consumidores también compran por razones emocionales y/o experimentales [SIN2011]. La irracionalidad en los procesos de toma de decisiones que afectan la intención de compra denota un modelamiento del problema no determinista. El mecanismo de toma de decisiones es complejo porque incluye la resolución de conflictos de impulsos emocionales y/o experimentales contradictorios, y, por ende, si se implementa un agente racional que incorpore una lógica basada en el razonamiento humano, permitiría lograr la simulación de su comportamiento para que sea estudiado.

Varios autores han identificado que la intención de compra de los clientes se ve influenciada por factores que se encuentran relacionados tanto con el producto (ej. sensación de bienestar, percepción de valor, sensación de realización, estatus, etc.) [JK2015][BB2013], como con las instalaciones del comercio dentro del centro comercial (ej. comodidad, accesibilidad, seguridad, etc.) [JB2011][SA2012]. Del mismo modo, en los trabajos investigados se ha evidenciado que el comportamiento de otros consumidores puede afectar la intención de compra de un cliente [HK2015]. Cuando un cliente percibe valor por un factor externo al que le proporciona el comercio o el producto original, se presenta un fenómeno conocido como venta cruzada [YAN2010]. Este fenómeno ha sido objeto de estudio de varios autores, en donde a través de encuestas dirigidas a grupos focales de clientes, se logran elaborar modelos estadísticos para estudiar y predecir su comportamiento a través de encuestas. La elaboración de estas complejas encuestas requiere esfuerzos significativos en términos de tiempo y dinero por parte del equipo investigador [YAN2010]. Esta constituye la oportunidad para modelar la complejidad de las interacciones entre los clientes y su influencia indirecta en las intenciones de compra de otros clientes a través de un simulador basado en agentes.

2.2 Aproximación de Solución

En los trabajos investigados se evidencia un esfuerzo por modelar los estudios relacionados con el comportamiento de los clientes y el modelado de la intención de compra, a través de

diferentes herramientas de simulación basada en agentes de software [JC2014][AC2005], basada en inteligencia artificial [LL2006], basada en métodos estocásticos [KK2013] y basada en autómatas celulares [ESM2012]. En el contexto de la universidad, se han realizado trabajos que integran estos conceptos para el modelamiento de problemas complejos como herramienta de apoyo en la toma de decisiones que incluyen características tales como: incertidumbre, resolución de conflictos, alta complejidad y modelamiento de emociones [TM2013][AG2011]. Siguiendo la línea de investigación de sistemas inteligentes para modelar sistemas complejos basados en agentes racionales, se identificó la oportunidad de crear un modelo que integre y adapte en forma articulada conceptos tales como grafos topológicos para el modelamiento espacial del problema, sistemas multiagente y técnicas de inteligencia artificial para el modelamiento de los clientes concurrentes vistos como entidades autónomas, sociales y situadas, y modelado de emociones. Lo anterior, para identificar y evaluar medidas de desempeño del sistema que le permitan a un experto inferir oportunidades de mejora como herramienta de apoyo en la toma de decisiones en un proceso de planeación operativa.

Finalmente, teniendo en cuenta la descomposición del problema y los trabajos realizados previamente en la facultad de la universidad, se plantea proponer como aproximación de solución para el simulador, utilizar BESA [GE2003] como plataforma de sistema multiagente, el cual será especificado a través de la metodología para la especificación de sistemas multiagente AOPOA [GE2002]. Los clientes del centro comercial serán representados a través de agentes BDI dada la característica racional, esto se logrará a través de la plataforma BESA-BDI [AG2011] y la implementación de un motor de lógica difusa que permita evaluar la contribución de las metas con respecto a las condiciones del ambiente. Finalmente, para incorporar el componente emocional en el proceso de toma de decisiones BDI, se incorporará el modelo emocional propuesto en RoboAct [AP2014].

2.3 Objetivo General

Diseñar un modelo de simulación del comportamiento de un grupo focal de clientes, basado en agentes inteligentes, que permita identificar oportunidades de mejora en las ventas de negocios que operan dentro de un centro comercial.

2.4 Objetivos Específicos

1. Identificar y caracterizar los factores clave que influyen la intención de compra de los clientes en un centro comercial.
2. Diseñar un modelo informático para simular el funcionamiento de un comercio dentro basado en sistemas multiagente y técnicas de inteligencia artificial.
3. Validar el modelo de simulación propuesto a través del desarrollo de un caso de estudio, cuyo resultado será evaluado por el concepto de un experto, permitiendo identificar si la simulación es plausible, coherente y aplicable a la realidad.

2.5 Metodología y Fases de Desarrollo

Tomando en cuenta que la naturaleza del problema y el objetivo principal del proyecto, se fundamenta en la observación de fenómenos del comportamiento conductual de los clientes de un establecimiento comercial, se plantea desarrollar el trabajo investigativo a través de la aplicación del método científico inductivo que permita verificar empíricamente y en forma crítica, el modelo planteado a través de la valoración de las medidas de desempeño generadas por la ejecución de varios experimentos de simulaciones de escenarios dados. Se buscó generalizar conocimiento a través de la experimentación de escenarios particulares.

De acuerdo a los objetivos específicos y a las etapas del método científico, se plantean cuatro fases que se ejecutaron en cascada. Las fases se ejecutaron en forma secuencial y cada una de ellas generó una serie de artefactos que sirvieron de insumo a las fases subsecuentes. En la **Tabla 1**, se explica cómo se articularon cada una de estas fases del proyecto con los objetivos secundarios y las etapas del método científico.

Objetivo Específico	Etapas del Método Científico	Fases Metodológicas
1. Identificar y caracterizar los factores clave que influyen en la intención de compra de los clientes en un centro comercial.	1. Planteamiento del Problema	Fase I: Contextualización y Apropriación de Conceptos.
2. Diseñar un modelo informático para simular el funcionamiento de un comercio dentro de un centro comercial basado en sistemas multi-agente y técnicas de inteligencia artificial.	2. Formulación de Hipótesis	Fase II: Diseño del Modelo de Simulación.
	3. Levantamiento de Información	
3. Validar el modelo de simulación propuesto a través del desarrollo de un caso de estudio, cuyo resultado será evaluado por el concepto de un experto, permitiendo identificar si la simulación es plausible, coherente y aplicable a la realidad.	4. Análisis e Interpretación de Datos	Fase III: Implementación del Caso de Estudio.
	5. Comprobación de la Hipótesis	Fase IV: Evaluación del Caso de Estudio
	6. Conclusiones	

Tabla 1 - Objetivos Específicos, Método Científico y Fases Metodológicas

Los factores que influyen en la decisión de compra pueden ser valorados a través de mediciones en los cambios conductuales de los clientes o mediante pruebas de simulación frente a un grupo focal de clientes, donde se evalúen diferencias en su experiencia o percepción. Dado que el proceso de compra se puede plantear en un escenario de simulación de corto, mediano o largo plazo, se definió la naturaleza de su estudio en cada caso particular.

El método que se implementó de acuerdo con el modelado del problema y su naturaleza, consistió en ejecutar el proceso de simulación acorde con el escenario requerido. Se ejecutó una simulación por cada escenario y se compararon los resultados con un grupo focal de clientes de las mismas características para revisar la varianza de los mismos. La técnica a usar es de carácter cuantitativo y se fundamentó en la investigación experimental. Se compararon los resultados obtenidos y se compararon contra muestras significativas y diversas obtenidas de casos reales. Adicionalmente, se entregaron a un experto para la obtención de su concepto.

2.5.1 Fase I: Contextualización y Apropiación de Conceptos

La fase de contextualización y apropiación de conceptos se llevó a cabo a través de una labor investigativa sobre los conceptos requeridos para el desarrollo del objetivo general del proyecto. El primer objetivo específico se encuentra estrechamente asociado a la Fase I, porque en la generación de la base conceptual, se estudiaron los diferentes escenarios y factores que pueden influenciar la intención de compra. Adicionalmente, al final de la Fase I se definieron los casos de estudio candidatos que sirvieron como marco de validación conceptual de las fases siguientes.

2.5.2 Fase II: Diseño del Modelo de Simulación

En la fase de diseño se generaron los artefactos que permitieron la implementación del modelo. El segundo objetivo específico se desarrolló en la Fase II en donde se realizó el diseño del sistema multiagente para ejecutar la simulación. En esta fase se utilizaron los casos de estudio definidos en la Fase I para validar conceptualmente la completitud y generalidad del modelo a través de contrastar los casos entre sí. Para ello, se propuso un prototipo de diseño del modelo que se fue enriqueciendo incrementalmente a medida que se ejecutaron las iteraciones de diseño sobre las actividades de la fase.

2.5.3 Fase III: Implementación del Caso de Estudio

Una vez definido el documento de diseño del modelo del simulador y seleccionado el caso de estudio, se ejecutó el proceso de implementación de la solución. El tercer objetivo específico se cubre en parte con la Fase III orientada a la selección y construcción del sistema selectivo basado en el caso de estudio seleccionado como marco de validación conceptual.

2.5.4 Fase IV: Validación del Caso de Estudio

Luego de finalizar la fase de desarrollo del modelo propuesto, se ejecutó el proceso de validación y verificación del modelo implementado con respecto a los requerimientos funcionales definidos inicialmente a través de un caso de prueba. En esta fase se termina de cubrir el tercer objetivo orientado a la ejecución de los procesos de simulación del caso de estudio, se aplicaron las técnicas de inteligencia artificial para calibrar los parámetros de entrada, se generaron las oportunidades de mejora que se validaron a través de un experto.

3. Estado del Arte

En este capítulo se recopila un resumen sobre la literatura consultada que permitió definir el marco teórico sobre el cuál se fundamenta la propuesta realizada. En primer lugar, se presenta una exploración sobre los posibles desafíos que plantea la planeación de los centros comerciales para contextualizar la problemática. Seguido, se revisa el estado del arte sobre los trabajos de simulación de multitudes permitiendo identificar el enfoque y clasificación en el cuál se encuentra enmarcado el simulador a proponer como aproximación de la solución. Luego, se realiza una síntesis de los conceptos que permiten formular el modelo emocional que se tuvo en cuenta en los procesos de toma de decisiones de los clientes y que fue uno de los factores que generaron mayor comportamiento emergente en el sistema. Finalmente, se hace una breve explicación sobre los conceptos de agentes y sistemas multiagente, y su utilidad en la definición del modelo de la solución a implementar. A través de la explicación de estos conceptos se busca facilitar la comprensión de los capítulos subsecuentes.

3.1 Centros Comerciales

Los centros comerciales están ampliamente distribuidos en todo el mundo y son puntos de acceso que atraen a clientes pertenecientes a múltiples grupos demográficos para dedicar tiempo de calidad, realizar todo tipo de actividades o realizar todo tipo de compras. Los centros comerciales simulan la complejidad y vitalidad de un centro de una ciudad sin el ruido, la suciedad y la confusión que esta genera [KOC2010]. Gruen Victor, fue el arquitecto del primer centro comercial y propuso el concepto de centro comercial como la unidad básica de la planificación urbana, y diseñó el centro suburbano para que sea el núcleo de los desarrollos posteriores [HAR2003]. Los centros comerciales se introdujeron no sólo como entornos de venta al público, sino también como espacios públicos que permiten el acceso a todos los miembros de la comunidad. La idea del centro comercial evolucionó desde los clásicos espacios de mercado abierto como espacios comerciales y de comunicación, a través de tiendas departamentales y cadenas, llegando a la moderna forma ambientalmente controlada de ese espacio comercial llamado centro comercial.

El término “Centro Comercial” ha venido evolucionando desde principios de los años cincuenta. Se han desarrollado una serie de definiciones para los centros comerciales las cuales, a menudo, tienden a reflejar el hecho de que la industria también ha estado evolucionando. El Consejo Internacional de Centros Comerciales ha definido un centro comercial como un grupo de establecimientos comerciales y de otro tipo que se planifica, desarrolla, posee y gestiona como una sola propiedad, con estacionamientos en el sitio [PIT2005]. En términos más simples, un centro comercial puede ser definido como un edificio que contiene muchas unidades de tiendas, pero se gestiona como una única propiedad [PIT2008].

Los centros comerciales se han desarrollado para proporcionar un lugar de negocios que incluye espacios de ventas al por menor, instalaciones y servicios para los minoristas. Visto como un lugar de negocios, el factor de ubicación es muy importante. Esto se debe a que el factor de localización suele ser lo que primero atrae a los minoristas exitosos. Aparte de una

buena ubicación, la accesibilidad también crea el deseo de visitar y comprar en los centros comerciales. El Foro Nacional de Planeación Minorista concluye que la mayoría de los centros comerciales en el Reino Unido se han desarrollado en centros urbanos. Esto demuestra que los sitios adecuados en los centros urbanos parecen ofrecer las mejores oportunidades para un negocio [NAT2000].

Desde otra perspectiva, el diseño de un centro comercial es crucial para retratar su imagen como un lugar de negocios. Un diseño impactante se considera un factor de atracción que captura a los minoristas y clientes. El diseño de los centros comerciales es una síntesis de muchas demandas, incluyendo las limitaciones físicas, las fuerzas del mercado, las necesidades de gestión y los requisitos de las autoridades locales, desde los cuales se crea la infraestructura física para apoyar la actividad de compra. El diseño abarca desde la mecánica de la maniobra de la instalación del centro comercial, las habilidades para crearle una imagen y la completa comprensión de su construcción. Por encima de todo esto, sin embargo, está la creación de un sentido de lugar donde la gente quiere estar, y la transformación de la experiencia cotidiana de compra en una experiencia de disfrute y satisfacción [MOR1988].

3.1.1 Estructura y Clasificación

Los centros comerciales hoy en día son más complejos en términos de tamaño, tipo y características. Esta situación ha contribuido a la confusión en cuanto a las identidades de los centros comerciales. El mercado generalmente determina el tamaño del centro, la orientación y las características de la zona de comercio que sirve el centro.

Tipo Centro Comercial	Concepto	Tamaño en Miles (m2)	Acres	Cantidad de Anclas	Tipo de Anclas
Regional	Mercancía general; moda	160 – 400	40 - 100	2 o más	Almacenes de cadena (Full-line); almacenes de cadena (Jr.); comercio masivo; departamento de descuentos; ropa de moda
Super Regional	Similar al centro regional, pero tiene más variedad y surtido	240 – 480	60 - 120	2 o más	Almacenes de cadena (Full-line); almacenes de cadena (Jr.); comercio masivo; ropa de moda
Vencindario	Conveniencia	dic-60	mar-15	1 o más	Supermercado
Comunidad	Mercancía general; conveniencia	40 - 160	oct-40	2 o más	Tiendas de Descuento; supermercado; droguería; hogar; gran especialidad en tiendas de ropa en descuento.
Estilo de Vida	tiendas especializadas en cadena nacional de primer nivel; restaurantes y entretenimiento en escenario al aire libre	40 - 160	oct-40	0 - 2	No suelen tener anclado tradicional, pero pueden incluir tienda de libros; otros minoristas de gran formato de la especialidad; cines; tiendas pequeñas por departamentos
Poder	Categoría-dominante anclajes; locales pequeños	100 - 320	25 - 80	3 o más	Especialista por categoría; mejoras para el hogar; tiendas de descuento por departamentos; precios rebajados
Temático/ Festival	Ocio; Orientación turística; comercial y de servicios	20 - 80	may-20	No Aplica	Restaurantes; Entretenimiento
Outlet	Tiendas de venta de los fabricantes	40 - 200	oct-50	No Aplica	Tiendas de Venta de los Fabricantes

Tabla 2 - Clasificación de los Centros Comerciales [PIT2005]

Las tres principales configuraciones físicas de los centros comerciales son centros comerciales, centros al aire libre y centros híbridos. Dentro de estas configuraciones, se han identificado ocho principales tipos de centros comerciales de acuerdo con el mercado norteamericano [PIT2005] (ver **Tabla 2**). Con esta definición se busca identificar las guías para la comprensión de las principales diferencias entre los tipos básicos de centros comerciales.

3.1.2 Desafíos en la Planeación de la Disposición de los Locales en los Centros Comerciales

De acuerdo con la clasificación anterior, hay tres configuraciones físicas de los centros comerciales. El primero, es el centro al aire libre, donde todas las entradas de la tienda están en el espacio al aire libre. El segundo, es el centro comercial, que es un espacio cerrado, donde todas las entradas de las tiendas se enfrentan al interior. Y finalmente, el tercero es el centro híbrido, que combina características de las dos configuraciones anteriores. Las dos primeras configuraciones pueden variar según el tamaño y propósito.

Los centros comerciales tienen muchos desafíos de diseño, uno de ellos está relacionado con los aspectos financieros del diseño [BUC2002]; se refiere al compromiso de los propietarios y desarrolladores de los centros comerciales a asegurar un positivo rendimiento financiero sostenido en el tiempo. Dado este compromiso a largo plazo, existe un mayor interés en asegurar la rentabilidad en forma continua, lo que a su vez estimula un diseño de alta calidad. Otra cuestión de diseño a considerar es la viabilidad financiera del centro. Los centros comerciales se ven afectados por los cambios en el mercado, incluido el nivel de competencia. Aunque el riesgo de competencia se reconoce en el análisis de factibilidad, los cambios en la jerarquía minorista resultantes de las malas decisiones de planificación es un riesgo que no se puede predecir. Dado los montos significativos de capital necesario para desarrollar y reconstruir un centro comercial, el desarrollador del negocio necesita mitigar el riesgo de que exista una amenaza imprevista para lograr un retorno adecuado de su inversión [NEN2012].

Teniendo en cuenta estas dos cuestiones, surge la oportunidad de desarrollar diseños de centros comerciales que puedan asegurar, entre otros requisitos, que las entidades de las instalaciones recibirán el máximo flujo de clientes para aumentar su rentabilidad. La planificación de la disposición de las instalaciones juega un papel crucial en el éxito y la rentabilidad de cualquier organización; Un diseño eficaz puede minimizar los costos sustancialmente, lo que conduce a una mejora en el rendimiento general. Una instalación es una entidad que facilita el desempeño de cualquier tarea y la disposición, es la acomodación de todo lo necesario para la producción de bienes o la prestación de servicios en dicha instalación [JAM1996]. Según Ibrahim Cil [CIL2012], "*La disposición no sólo se refiere a la mejora de la utilización de los edificios y la tierra, sino que está muy relacionada con el aumento de las ventas. En el entorno minorista, los diseños deben centrarse en el cliente y las pantallas deben atraer la atención del público.*" (p. 8612).

El enfoque común para resolver el problema de la disposición de las instalaciones es asignar locales a ciertas ubicaciones con el objetivo de minimizar el costo y distancia para el manejo de materiales. Esto se logra evaluando los trayectos hacia y desde diferentes locales en las

ubicaciones asignadas [LOG2006]. Otros modelos de disposición de las instalaciones también han considerado el objetivo de maximizar el flujo de tráfico [DER2015]. El problema de captura de flujo máximo se aborda a partir del flujo en un sistema, en donde los locales deben capturar porciones de ese flujo [JUN2006]. La porción de flujo que cada local captura depende de su peso, que se interpreta como la capacidad potencial para capturar el flujo. En consecuencia, la teoría relacionada con el problema de captura de flujo máximo puede ser utilizada en la solución a problemas de asignación de ubicación en el centro comercial. El objetivo en este caso sería asegurar que cada porción flujo de visitas de clientes asignada a los locales sea maximizada, manteniendo el equilibrio de flujo entre diferentes áreas o bloques que conforman a estas tiendas.

De acuerdo a lo anterior, se encontró la oportunidad para delimitar el alcance de la herramienta de simulación para el apoyo a la toma de decisiones, para que a través de esta se logre verificar las aproximaciones teóricas de solución a la disposición optimizada de la ubicación de los locales dentro de un centro comercial, ayudando a confirmar o refutar dichas hipótesis en una forma eficiente en términos de tiempo y dinero.

3.2 Simulación de Multitudes

Vistos como grupos sociales colectivos y altamente dinámicos, las multitudes humanas son fenómenos muy interesantes que frecuentemente han sido objeto de estudio por expertos de diversas áreas. Recientemente, las tecnologías de modelado y simulación por computadora han surgido para apoyar la investigación de la dinámica de multitudes, como los comportamientos de una multitud bajo situaciones normales y emergentes. En esta sección se evalúa las principales tecnologías existentes para el modelado multitud y simulación. También se proponen criterios de evaluación para calificar los sistemas de simulación de multitudes existentes desde el punto de vista tanto de un modelador, como de un usuario final. Se revisan algunos trabajos que influyen en el modelado y la simulación de multitudes con respecto a sus características principales, el rendimiento y las tecnologías utilizadas. También se revisan algunos problemas abiertos en el tema.

El modelado y simulación de multitudes se ha convertido en un tema clave de diseño en muchos campos, incluyendo la simulación militar, ingeniería de seguridad, diseño arquitectónico, y el entretenimiento digital. La simulación de multitudes ha sido utilizada intensivamente tanto en tácticas para el entrenamiento militar en tiempo real, como en la simulación de los comportamientos de los civiles y las acciones de combate en escenarios de mantenimiento de la paz. Se ha modelado el comportamiento de muchos grupos de personas en un entorno virtual para identificar posibles riesgos o fallos en una amplia gama de situaciones de emergencia y facilitar el diseño de la arquitectura para garantizar la seguridad. Algunos programas de software comercial, como Massive [MAS2015] y AI.implant [PRE2015], han sido utilizados con éxito en la animación de las multitudes para el entretenimiento digital (por ejemplo, escenas de masas de la película *El Señor de los Anillos* y la saga de juegos de estrategia *Age of Empires*).

A pesar de muchos esfuerzos de investigación existentes y aplicaciones en el modelado y simulación de multitudes, aún se puede catalogar como un tema joven y emergente. Nuevos investigadores en esta área son a menudo confundidos por muchos aspectos que deben tener en cuenta cuando se modela el comportamiento de una multitud. Se han realizado algunos esfuerzos en resumir los modelos de simulación multitud. Por ejemplo, algunos autores hicieron una revisión crítica de los modelos de simulación multitud existentes para la evacuación de emergencia [SAN2004]. Sin embargo, sus discusiones se limitan a modelos para situaciones de evacuación de emergencia y por lo tanto no son suficientes para cubrir muchos de los aspectos del comportamiento de las multitudes humanas en diferentes situaciones. Este trabajo sirve como una revisión actualizada del trabajo existente en modelado y simulación de multitudes. No se trata de dar una explicación completa de todos los trabajos existentes. En su lugar, se realiza una descripción de las principales características de modelado y los mecanismos relacionados de alguna obra representativa. Para este fin, es necesario lograr una clara clasificación de trabajos existentes. De hecho, una de las preocupaciones principales al escribir este capítulo es la organización del trabajo existente. A pesar de la amplia variedad de tipos de simulación, los múltiples factores conductuales implicados, y las diversas áreas de aplicación, se logra concluir que el trabajo existente en referencia al modelado y simulación de multitudes puede clasificarse generalmente por el tamaño de la multitud simulada y/o la escala de tiempo de los fenómenos de multitudes de interés.

3.2.1 Clasificación de los Simuladores de Multitudes

De acuerdo con los diferentes tamaños de multitud y los plazos involucrados, en la bibliografía consultada se encuentra que los modelos consultados se pueden clasificar en tres categorías: modelos de fenómenos de largo plazo sin importar su tamaño, modelos de fenómenos a corto plazo a multitudes de dimensiones enormes y modelos de fenómenos a corto plazo a multitudes de pequeño y mediano tamaño [ZHO2010]. Cada categoría corresponde a una región en el espacio de dos dimensiones definido de acuerdo al tamaño de la multitud y la escala de tiempo seleccionada, como se muestra en la **Ilustración 1**.

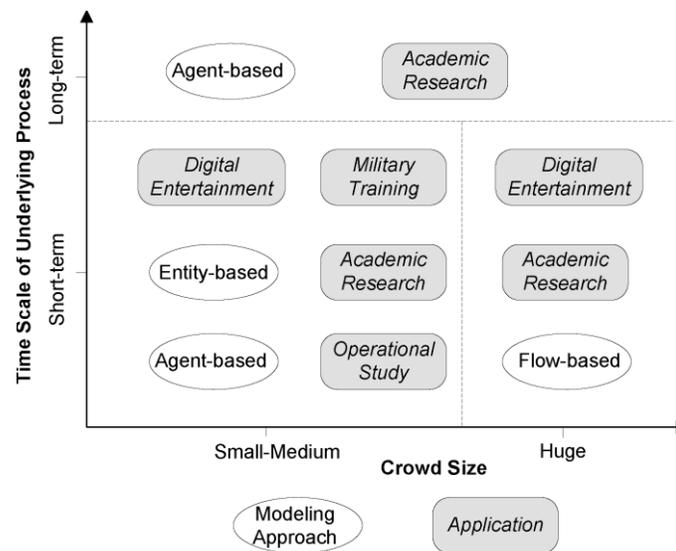


Ilustración 1 - Clasificación de Modelos Crowd [ZHO2010]

El tamaño y la escala de tiempo de una multitud simulada son características que están estrechamente relacionadas con los enfoques y características del modelo de la multitud. Varios métodos de modelado pueden reproducir la función, el estado y el comportamiento de la multitud en diferentes niveles de granularidad al modelar una multitud. Algunos enfoques tratan a la gente como un todo y estudian su dinámica dentro del ámbito de una multitud. Un ejemplo típico es el enfoque basado en flujos, en donde los modelos de la multitud son tratados como un flujo continuo y por lo general tienen por objetivo el patrón de movimiento de la multitud [HUG2003].

Un modelo para una multitud de tamaño enorme generalmente utiliza este tipo de enfoque debido al coste computacional involucrado. La ejecución de una gran cantidad de individuos virtuales exige proporcionalmente gran cantidad de recursos computacionales, especialmente cuando si cada individuo virtual es una entidad inteligente y autónoma en lugar de un simple objeto. En contraste, un modelo de multitud con escala de tamaño medio a pequeño, a menudo utiliza un enfoque de modelado con un nivel de granularidad más fina. Por ejemplo, cada individuo en la multitud puede ser modelado como un agente autónomo. La escala de tiempo de un fenómeno de multitud se determina de acuerdo al objetivo del sistema que también limita su aplicabilidad. Un modelo de simulación de multitudes para estudiar un fenómeno a largo plazo por lo general se centra en el estudio de factores sociales y psicológicos intangibles en lugar de las características físicas de la multitud. Los avances en esta categoría son adecuados para la investigación académica en ciencias sociales o de alto nivel de estudios operacionales, por ejemplo, para estudiar cómo se forman y se extienden las ideologías extremas entre los individuos de una multitud. Por otro lado, los modelos de simulación de multitudes para el estudio de fenómenos de corto plazo suelen describir características físicas,

especialmente las posiciones y patrones de movimiento. Además de la investigación académica, estos modelos han sido ampliamente aplicados en el entrenamiento militar, entretenimiento digital y estudios operacionales.

3.2.2 Enfoques para Modelado de Simulación Basado en Agentes

Los métodos de modelado de las multitudes reflejan el mecanismo general de simulación que controla el comportamiento del individuo simulado dentro de la multitud. La masa de individuos puede ser tratada como un todo, o como entidades colectivas homogéneas o heterogéneas con las interacciones entre ellos. En la bibliografía consultada, se identificaron tres modelos relevantes con diferentes niveles de granularidad y enfoque: basado en flujos, basado en entidades y basado en agentes. Para ampliar detalles sobre estos enfoques se sugiere revisar el Anexo 1 - Estado del Arte. A continuación, se hace una breve descripción sobre el enfoque basado en agentes que se aplicará en la aproximación a la solución.

En los modelos basados en agentes cada individuo en la multitud es visto como una entidad inteligente y autónoma, que puede tener la capacidad de comportarse en el mundo simulado y reaccionar a ciertos eventos para adaptarse a un entorno dinámico y complejo. Los agentes están regulados por un conjunto de reglas de decisión, y cada agente puede tomar la decisión de forma independiente. Las reglas de decisión para un agente se basan generalmente en información local o del ambiente que le resulte relevante. Sin embargo, algunos patrones globales pueden surgir incluso con algunas reglas simples. Este enfoque también permite considerar factores conductuales. El enfoque basado en agentes para el modelado y simulación de multitudes ha ganado un enorme impulso recientemente debido al aumento significativo de las capacidades computacionales. Cabe señalar que en ocasiones no resulta clara la diferencia entre un modelo basado en entidades y un modelo basado en agentes, ya que los investigadores tienden a incorporar más y más factores de comportamiento en modelos basados en entidades [BRA2005] y los agentes en algunos modelos de multitudes basados en agentes están equipados con algunas reglas bastante simples. Sin embargo, generalmente, un agente es más complejo que una entidad. Un agente tiene sus propios atributos y estados que representan diversos factores de comportamiento, como la velocidad de movimiento, la emoción, los lazos sociales, etc. Un agente también tiene cierto nivel de capacidad cognitiva y de razonamiento que le permiten percibir su entorno, evaluar su situación actual y tomar decisiones. Mientras que las entidades homogéneas en un modelo de multitudes basado en entidades generalmente carecen de esta capacidad; simplemente reacciona a la situación actual de una manera similar de acuerdo con algunas leyes globales o locales predefinidas.

De acuerdo con la clasificación y enfoque de implementación de simulación de multitudes descrita en los puntos anteriores, se concluye como un aporte importante para el proyecto que la solución propuesta se encuentra enmarcada en una simulación con enfoque de implementación basada en agentes dada la naturaleza del problema, con tamaño de multitud pequeño-mediano y con escala de tiempo a corto plazo. A continuación, se realiza una descripción de los conceptos sobre los cuales se fundamenta la implementación de la simulación basada en agentes.

3.3 Agentes y Sistemas MultiAgente

Dar una definición formal de agente aceptada por la industria no es tarea sencilla. Las características clave de agentes ampliamente entendidas en diferentes literaturas [LUC2004] indican que son entidades de software altamente autónomas, proactivas, situadas y dirigidas. Otras características tales como de movilidad son opcionales y crean un subtipo especial de agentes. En este contexto, un agente autónomo es independiente y puede decidir su propio comportamiento, particularmente decide cómo responderá a la interacción con otros agentes. Un agente proactivo es uno que puede actuar sin ninguna petición externa. Sin embargo, cabe notar que esto introduce algunos problemas, pues existe una extensa literatura en agentes puramente *reactivos* que no pueden ser clasificados como agentes con esta categorización. Aunque los agentes reactivos predominan en algunos dominios, en realidad, la mayoría de los agentes que se están diseñando actualmente tienen comportamiento tanto proactivo como reactivo. El balance de estas dos características es un reto clave para los desarrolladores de sistemas de software orientados a agentes. La característica de un agente situado significa que estos están contenidos en su totalidad dentro de un ambiente específico. Estos agentes son capaces de percibir este ambiente, de actuar según su estado, y como respuesta, lo afectan. Finalmente, la característica de direccionalidad significa que los agentes poseen al menos una meta bien definida y su comportamiento corresponde a la consecución de la totalidad de sus metas.

Es común que se haga la comparación entre agentes y objetos. Algunos autores describen los agentes como “objetos inteligentes” u “objetos que pueden decir no.” [LUC2004]. Esto significa que un sistema híbrido entre agentes y objetos es enteramente factible. Otros autores ven los agentes a un alto nivel de abstracción [MIL2001], tanto como en el mismo sentido especialistas en el paradigma orientado a objetos, ven los componentes en un nivel de granularidad similar. Algunas de las consecuencias de este alto nivel de abstracción son que los agentes participan en ciclos de toma de decisiones, algunas veces rotuladas como ciclos “percibir-decidir-actuar”. Para lograr esto, se debe considerar otras características como los roles que los agentes representan, la metáfora de los agentes con estado mental, incluyendo la posesión de habilidades y responsabilidades, aptitudes y capacidades. Cuando se consideran sus interacciones vía percepciones y acciones con otros agentes y su ambiente, se introducen nociones de percepción, acciones, y lenguajes de comunicación para agentes. Las habilidades de negociación involucran consideraciones de un concepto llamado “Contract Net” [SMI1980], estrategias de subastas, y las cuestiones de competición versus cooperación.

Definir un sistema multiagente (MAS por sus siglas en inglés de MultiAgent Systems) tampoco es tarea sencilla. Sin embargo, casi todas las definiciones dadas en la bibliografía consultada definen el concepto de MAS como un sistema compuesto de agentes cooperativos o competitivos que interactúan unos con otros con el objeto de lograr metas individuales o comunes. Desde el punto de vista de ingeniería de software, una de las características más importantes de un MAS es que el set de agentes final generalmente no está dado en tiempo de diseño (sólo es especificado el set inicial), sino en tiempo de ejecución. Esto permite inferir que, en la práctica, un MAS está basado en arquitecturas abiertas que permiten a los nuevos agentes

unirse y desligarse dinámicamente del sistema. La mayor diferencia con la aproximación orientada a objetos, donde los objetos pueden también estar dados en tiempo de ejecución y unirse y desligarse del sistema dinámicamente, es que los agentes pueden hacer esto en forma autónoma mostrando un comportamiento proactivo que no es completamente predecible a priori.

Un MAS contiene agentes; en consecuencia, este también tiene algunas de estas características típicas de los agentes. Las características claves de un agente en un MAS son: autónomo, situado, proactivo, y social. De las anteriores características, tal vez la proactividad es el más contencioso ya que, en primer lugar, como se notó anteriormente, es generalmente aceptado que los agentes poseen varios grados de comportamiento proactivo y reactivo. En segundo lugar, la autonomía tampoco es una característica binaria, dado que los objetos activos, usados por ejemplo en el contexto de programación manejada por eventos, se puede decir que poseen cierto grado de proactividad. A pesar de estas dos preocupaciones, las características propias de los agentes conducen a un conjunto de características de alto nivel en las que se incluyen adaptabilidad, flexibilidad, escalabilidad, mantenibilidad, y probablemente algún comportamiento emergente. De todas estas características "deseables", tal vez sea la última de esta lista la que seguramente cause mayor preocupación. Emergencia es usualmente enlazada con teoría de sistemas adaptivos complejos (CAS por sus siglas en inglés de Cognitive Adaptive Systems). Aunque aún hay muchos vacíos sobre la definición de lo que significa emergencia en la comunidad CAS, la interpretación general sobre comportamiento emergente es aquel que no puede ser predicho por una inspección de sus partes individuales. Esto significa que no puede ser visible desde un análisis de principio a fin y podría decirse que, por esta razón, tiene que ser considerado a nivel de sistema. Como quiera que este tipo de comportamiento emergente es generalmente provocado, permitiéndole emerger sin restricciones y en forma no planeada. Para aliviar la preocupación de lograr un sistema de agentes incontrolado e incontrolable causando estragos, claramente un comportamiento emergente tiene que ser considerado y planeado a nivel de sistema usando análisis de arriba hacia abajo y técnicas de diseño. Este sigue siendo un gran desafío sobre las metodologías para el diseño y desarrollo de MAS.

Muchas metodologías orientadas a agentes (AO por sus siglas en inglés de Agent Oriented) usan la metáfora de la organización humana (posiblemente divididas en sub-organizaciones) en las cuales los agentes juegan uno o más roles e interactúan con otros. Los modelos de organización humana y sus estructuras son consecuentemente usadas para diseñar MAS. Conceptos como rol, dependencia social, y reglas organizacionales son usados no solo para modelar el ambiente en el cual el sistema funciona, sino también para modelar el sistema como tal. Dada la naturaleza organizacional de un MAS, una de las actividades más importantes en una metodología AO resulta en la definición de modelos de interacción y cooperación que capturan las relaciones y dependencias sociales entre los agentes y los roles que estos representan dentro del sistema. Los modelos de interacción y cooperación son generalmente muy abstractos en etapas tempranas de diseño, y son refinados en protocolos de interacción detallados las etapas finales del diseño.

3.3.1 Arquitectura de Agentes Reactivos, Deliberativos e Híbridos

Una forma de construir modelos complejos de problemas es a través de agentes [ANA1995]. Un agente es una entidad que se encuentra ubicada en un ambiente el cuál percibe y dirige sus acciones en forma autónoma buscando la realización de sus metas. Un agente hace parte del entorno en que habita y por ende puede ser percibido y contactado por otros agentes que habiten en su ambiente a través del intercambio de señales. Esta comunicación le imprime características sociales al agente [FRA2006]. Existen muchas arquitecturas de agentes que modelan su forma de razonar frente a otros agentes y frente al ambiente que los rodea.

Las arquitecturas de agentes deliberativas, son aquellas que basan su raciocinio en la selección y ejecución de planes. El modelo de agentes deliberativos de mayor adopción por la industria y la academia es el modelo BDI. Este modelo se basa en la teoría de razonamiento práctico humano de Michael Bratman [BUS1994]. Los agentes con arquitectura BDI tienen la habilidad de modelar el mundo a través de una representación simbólica de éste. Lo anterior les da la posibilidad de tener su propia representación de su estado interno lo que le permite ejecutar un proceso de deliberación. Por otra parte, el modelo de agentes reactivos se basa en la reacción inmediata de los agentes a estímulos generados por otros agentes o por su medio ambiente. La representación simbólica plantea varios retos en relación al uso de los recursos que el modelo de agentes reactivos aborda, porque permite realizar una conducta inteligente sin usar representaciones simbólicas explícitas. Finalmente, surge una tercera arquitectura producto de una mezcla entre la arquitectura de agentes deliberativa y reactiva, y se conoce como arquitectura híbrida. Permite obtener el punto medio entre la representación del simbólica del mundo sin dejar de lado los estímulos generados por otros agentes o su medio ambiente [ZAH2014].

3.3.2 Arquitectura de Agentes BDI

La arquitectura de agentes BDI (por las siglas en inglés de Believes, Desire and Intentions) es un modelo de software para la construcción de agentes deliberativos basado en la teoría: Human Practical Reasoning de Michael Bratman [BUS1994]. El modelo BDI se formuló como una aproximación para resolver problemas relacionados con los planes y su planeación (la elección y su ejecución) y no tanto con la programación de agentes inteligentes [ANA1995]. En consecuencia, los agentes BDI son capaces de balancear el tiempo invertido en la deliberación sobre los planes y ejecutar los planes. La planeación no está definida en el alcance de este modelo y se delega al diseñador. Esta arquitectura propone tres conceptos clave para resolver problemas mediante agentes: Creencias, Deseos e Intenciones. Intención y Deseo son Pro-Actitudes (Actitudes mentales que se ocupan de la acción). La intención se distingue por ser una actitud de control de la conducta. Define que el compromiso es el factor distintivo entre el deseo y la intención. Esto conduce a la persistencia temporal en los planes iniciales y en otros planes que se construyen sobre la base de aquellos a los que ya se ha establecido un compromiso.

Las creencias, deseos e intenciones representan el estado informacional del agente. En otras palabras, sus creencias sobre el mundo (incluyéndose a sí mismo y a otros agentes) [FEL2015].

También se incluyen Reglas de Inferencia en donde a través de un Motor de Inferencias se pueden crear nuevas creencias. Se presentan dos tipos de raciocinio de creencias: Razonamiento Deductible (Data-Driven) y Razonamiento en Reversa (goal-driven). El Razonamiento Deductible puede ser descrito lógicamente como la aplicación repetida de la regla de inferencia de lógica proposicional *modus ponens* (Si $P \rightarrow Q$). Comienza con los datos disponibles y usa reglas de inferencia para extraer nuevos datos hasta que la meta es lograda[FEL2015]. Un motor de inferencia busca en las reglas de inferencia hasta que encuentra una donde se sabe que el antecedente es cierto. Cuando dicha regla es encontrada, el motor puede concluir o inferir la consecuencia (entonces), lo que resulta en la adición de nuevas creencias. Una de las ventajas sobre razonamiento deductivo es que la recepción de datos nuevos puede generar nuevas inferencias, lo que convierte el motor de inferencia en una herramienta ideal para situaciones dinámicas en las cuales las condiciones tienden a cambiar.

Por otra parte, el Razonamiento deductivo es un método de inferencia que parte desde la meta en reversa para obtener nuevas creencias. Ampliamente usado en teoría de juegos, como el ajedrez conocido como análisis retrógrado. Los sistemas de razonamiento en reversa usualmente emplean la estrategia de búsqueda depth-firsts. Nótese que las metas siempre hacen match con las versiones afirmativas de las consecuencias de las implicaciones (y no las versiones negativas como en *modus tollens*) y aun así, sus antecedentes son considerados entonces como las nuevas metas (y no las conclusiones como en afirmando las consecuencias) lo que finalmente hace match con los hechos conocidos (usualmente definidos como consecuencias cuyos antecedentes son siempre ciertos); por ende, la regla de inferencia que se usa es *modus ponens*. Usar el término “creencia” en lugar de “conocimiento” establece que lo que un agente cree puede no ser cierto (de hecho, puede cambiar en el futuro) [FEL2015].

Así mismo, los “deseos” representan el estado motivacional del agente. Representan los objetivos o situaciones que un agente “le gustaría” lograr. Ej. Encontrar el mejor precio, ir a la fiesta o volverse rico. Una meta es un deseo que el agente busca lograr activamente. El uso del término “meta” en consecuencia agrega nuevas restricciones que en el set de deseos activos deben ser consistentes. Por ejemplo, no se pueden tener activas en forma concurrente las metas “ir a la fiesta” y “quedarse en casa”, inclusive si ambas pueden ser deseables.

Finalmente, las “intenciones” representan el estado deliberativo del agente (lo que el agente ha decidido hacer). Las intenciones son deseos sobre los cuales el agente tiene el compromiso de lograrlas. En términos de implementación, significa que el agente ha iniciado la ejecución de un plan dado relacionado con la consecución de la meta. Provee mecanismos para separar la actividad de seleccionar un plan de la ejecución de los planes en curso. Los “planes” son secuencias de acciones (recetas o áreas de conocimiento) que un agente puede desempeñar para lograr una o más intenciones. Los planes iniciales pueden incluir otros planes en su definición. Esto refleja que en el modelo Bartman, los planes son concebidos inicialmente en forma parcial y completados en detalle en forma progresiva. Los “eventos” son disparadores para la actividad reactiva de los agentes. Un evento puede actualizar creencias, lanzar planes o modificar metas. Los eventos pueden ser generados externamente y recibidos por sensores o sistemas integrados.

De cara a la aproximación de solución propuesta, la arquitectura BDI supone algunas limitaciones. Por ejemplo, los Agentes BDI carecen de mecanismos específicos dentro de su arquitectura para aprender del comportamiento pasado y adaptarse a nuevas situaciones. Así mismo, la arquitectura no tiene diseñado ningún mecanismo que permita hacer deliberación a futuro o planeación anticipada. Esto puede no ser deseable porque los planes seleccionados pueden hacer uso de los recursos que son limitados, acciones que pueden no ser reversibles, la ejecución de tareas puede tomar más tiempo de lo planeado y las acciones pueden tener efectos secundarios indeseables, si estas fallan. Sin embargo, estas limitaciones fueron superadas en la solución propuesta a través de mecanismos de memoria que permiten a los agentes conocer su contexto y recordar las metas comprometidas para buscar lograrlas cuando se presente un conflicto de metas. El modelo BDI se implementó en el simulador para representar el razonamiento de los clientes inspirado en el razonamiento humano.

3.4 Modelado de Emociones

En esta sección se realizará una breve descripción de los conceptos sobre los cuales se fundamentó el modelo emocional implementado. Primero se realizará una descripción general sobre los conceptos que definen la emoción para el contexto de este trabajo, posteriormente, se revisarán algunos trabajos que facilitan la implementación del modelo y, finalmente, se presenta el modelo emocional escogido sobre el cuál se ejecutará el proceso de implementación de las emociones en los clientes de simulador del centro comercial. Para una descripción ampliada sobre los modelos emocionales y su caracterización, por favor consultar el Anexo 2 – Modelo Emocional.

3.4.1 Generalidades de las Emociones

La emoción es uno de los aspectos más centrales y penetrantes de la experiencia humana. Las personas experimentamos un amplio rango de emociones, desde la pequeña satisfacción de completar tareas mundanas hasta el agudo dolor de afrontar la muerte de un ser amado [IZA2009]. Aunque, mientras las emociones enriquecen, profundizan y dan color a la experiencia humana, también pueden generar disrupciones que pueden afectar dramáticamente nuestro juicio o nuestro comportamiento. Estas disrupciones pueden tener profundas y algunas veces terribles consecuencias para la sociedad y sus individuos, por ejemplo, en casos de crímenes pasionales, suicidios, y enfermedades mentales [XIA2014]. Este hecho es claramente reconocido por creadores de literatura, quienes se nutren de las emociones de sus personajes. La explicación de este concepto es muy simple: El escritor describe una situación que los lectores reconocen que son importantes para un personaje en el mismo sentido que tiene importantes implicaciones con respecto a las metas, estándares, o actitudes que el personaje conoce o asume tener. Luego, el lector hace un retrato correcto o incorrecto del personaje de acuerdo a si la situación es buena o mala con respecto de esas metas, estándares o actitudes, y típicamente se describen con una reacción con valencia (Ej. Positiva o negativa) a la situación. Finalmente, la conceptualización junto con la reacción usualmente resulta en una clase de cambio en el comportamiento o juicio del personaje. Si se considera, por ejemplo, la trama de *Othello*. Se inicia asumiendo que mantener el amor y la fidelidad de Desdemona es la meta de Othello. Luego él (equivocadamente) percibe las (presuntas) acciones de Cassio

como una amenaza para lograr su meta y comienza a consumirlo el enfado y los celos. El resultado es un dramático deterioro en su juzgamiento y la drástica acción correspondiente en la que termina matando a Desdemona y luego quitándose la vida.

Si la literatura es un microcosmo del mundo real, esta tiene que ser reconocida como tal [ORT1998]. Aparentemente, los escritores pueden producir en sus lectores una conciencia sobre los estados emocionales de los personajes caracterizando una situación cuya percepción permita la aparición de las mismas. Esto podría implicar que los escritores usen una teoría implícita en la que las emociones individuales pueden ser especificadas en términos de la descripción de una situación personal o interpersonal que son suficientes para producirlas. Así, los escritores no siempre tienen que hacer explícito que un personaje experimenta una emoción dada, porque si describen correctamente la situación de forma que contenga las *condiciones provocadoras* para una emoción particular, la experiencia de esta emoción puede ser inferida. El hecho que millones de lectores, durante décadas o incluso siglos, infieran emociones similares a partir de una descripción de situaciones sugiere que esta teoría implícita no debería estar tan equivocada.

Si las condiciones provocadoras de una emoción son efectivas, la experiencia individual debe codificar la situación relevante en una forma particular. En otras palabras, si una emoción como la angustia es una reacción de algún evento indeseado, el evento en sí debe ser percibido como indeseable, y dado que percibir el mundo es un proceso cognitivo, las condiciones provocadoras de las emociones constituyen las representaciones cognitivas que resultan de dichas percepciones. Quizás uno de los casos de mayor relevancia en donde se puede evidenciar que el proceso cognitivo a través de la percepción da forma a las emociones es el de los jugadores y fans en eventos deportivos. Cuando se observan las reacciones de los jugadores ante un juego importante (por ejemplo, la final de la Copa Mundial de Fútbol) es claro que los del equipo ganador se encuentren extasiados, mientras que los del equipo perdedor se encuentren devastados. Aun así, ambos equipos reaccionan ante el mismo evento. Son las percepciones del evento en sí lo que los diferencia. Los victoriosos lo perciben como deseable, los perdedores como indeseable, y son estas percepciones las que manejan el sistema emocional. Las emociones son muy reales e intensas, pero aun así son producto de interpretaciones cognitivas impuestas por una realidad externa, en vez de la realidad misma. Es en este sentido que se cree que hay una base cognitiva esencial y profunda en las emociones.

3.4.2 Clasificación de los Modelos Emocionales

Abelson [ABE2003] propone que un análisis de la emoción debe ir más allá de sólo diferenciar las emociones positivas de las negativas para proponer una consideración sistemática de las diferencias cualitativas entre emociones individuales como el miedo, envidia, ira, orgullo, alivio, y admiración. Una manera de evaluar las diferentes aproximaciones a la emoción es determinando qué tan adecuadamente logran esta tarea. Un número de estudios interesantes se han focalizado en emociones individuales o en un pequeño grupo de emociones. Por ejemplo, Averill [AVE1982] estudia la ira, Mowrer [MOW1975] se focaliza en la esperanza, miedo, decepción, y alivio, y Epstein [EPS1993] y Spielberg [SPI1992] representan dos de los muchos que han estudiado la ansiedad. Dichos estudios, sin embargo, tienden a no considerar las

emociones que investigan en el contexto de un sistema más grande y complejo y no han permitido obtener una conclusión ampliamente aceptada sobre las emociones en general. Una de las teorías de nivel sistémico incitación/valoración, tienen un mejor chance de éxito, pero generalmente tienden a ser débiles cuando afrontan el problema de diferenciar distintas emociones. Más aún, comúnmente se basan en un agudo rango de emociones generalmente negativas. Sin embargo, dichos problemas no son, atribuidos únicamente a aproximaciones a nivel de sistema.

Una de las metas principales de este trabajo es presentar una aproximación al estudio de las emociones que expliquen cómo las percepciones que las personas tienen del mundo –sus conceptualizaciones– les causan experimentar emociones. Se consideran entonces dos preguntas centrales: la primera es ¿cuál es la estructura cognitiva del sistema emocional como un todo?, y la segunda ¿cuál es la estructura cognitiva de las emociones individuales? La aproximación a la respuesta de la primera pregunta es tratar de mostrar las relaciones que existen a lo largo de las emociones individuales en grupos de las emociones relacionadas. La respuesta general que se propone es que las emociones son mejor representadas como un set de grupos substancialmente independiente basados en la naturaleza de sus orígenes cognitivos. La respuesta a la segunda pregunta está basada en asumir que la emoción particular que experimenta una persona en alguna ocasión está determinada por la forma en que interpreta el mundo o los cambios en él. De esta forma se intenta especificar tanto las condiciones provocadoras para las distintas emociones y las variables que influyen su intensidad. Teniendo en cuenta que una definición de emoción presupone una teoría, la adecuación de una definición propuesta finalmente depende de la definición de la teoría. Se define la emoción para el alcance de este trabajo como: *“reacciones valoradas a eventos, agentes u objetos, determinando su particular naturaleza por la forma en que las condiciones provocadoras fueron conceptualizadas”*.

Se cree que las preguntas generadoras sobre la estructura general del sistema emocional y la naturaleza de las emociones individuales están relacionadas en una forma importante y hasta ahora inexplorada. Con el ánimo de abordarlas, es importante distinguir entre los estados afectivos, y otras condiciones mentales, que son genuinamente emocionales y aquellas que no los son. Esta problemática es negada por la mayoría de teorías existentes, quizás porque no es considerada apropiada como parte de una teoría de emoción como tal. Sea como fuere, en este trabajo se considera tratar esta problemática como esencial para cualquier teoría de emoción porque delimita el rango de fenómenos que necesitan ser explicados.

3.4.3 Modelos Emocionales Basados en Agentes

De acuerdo a la bibliografía consultada, se han encontrado múltiples implementaciones de modelos emocionales basados en agentes en el marco de Computación Afectiva (Affecting Computing) [LUN2008] que busca estudiar y desarrollar sistemas y dispositivos que puedan reconocer, interpretar, procesar y simular afectos humanos. En este sentido, se han realizado varias implementaciones de modelos emocionales basadas en sistemas multiagente que utilizan la arquitectura BDI inspirado en la forma de pensar de los seres humanos. Jun Hu y Chun Guan [JUN2011], proponen un modelo de agentes BDI en donde proponen una estructura de

agente emocional. En su modelo, primero establece una nueva base de conocimiento basada en computación granular para representar las expresiones de las emociones, luego proponen un método para lograr metas emocionales basado en reglas de la base de conocimientos y, finalmente, implementa el tratamiento emocional. Sobre este trabajo cabe destacar que la implementación de este trabajo se realizó una extensión al modelo BDI para incorporar una base de conocimiento emocional y este es tenido en cuenta para el proceso de toma de decisiones. Adicionalmente, las emociones son representadas a través de símbolos y ejes emocionales valorados. Moga, Sandu, Danciu y Boboc [MOG2012], proponen un modelo de emocional basado en agentes basado en la teoría de Control Valor (Control-Value) enfocado en psicopedagogía como parte del diseño de un Sistema de Tutoría Afectiva (ATS por sus siglas en inglés). Con esta propuesta buscan ofrecer una plataforma para la adaptación de una estrategia de enseñanza individualizada considerando el estado emocional de los estudiantes, en donde su intención es identificar las emociones inactivas negativas (aburrimiento, frustración y desesperanza). Como una conclusión general de este trabajo, cabe resaltar que su modelo cognitivo emocional está fundamentado en el modelo emocional OCC propuesto por Ortony, Clore y Collins [ORT1988]. Sobre este modelo se considera de ayuda clarificar que los autores se focalizaron en distinguir agentes, objetos y eventos. Su concepción de eventos es muy sencilla: los eventos son simples percepciones que las personas tienen sobre las cosas que suceden, independientemente de las creencias que puedan tener sobre las posibles causas. Los objetos son objetos vistos puramente como elementos. Finalmente, los agentes son entidades que consideradas desde una perspectiva de sus instrumentos actuales se focalizan en causa de contribución a eventos. Los agentes no están limitados a las personas, aun cuando son la manifestación más común. Los agentes pueden ser seres animados no necesariamente humanos, objetos inanimados o abstracciones, como instituciones, e incluso situaciones, que son percibidas causalmente en un contexto particular. El modelo OCC permite definir un modelo cognitivo de las emociones, sin embargo, de acuerdo a la bibliografía consultada, su implementación en un modelo informático resulta desafiante. En la siguiente sección, se realiza una breve descripción del modelo OCCr [DAS2009] que facilita la implementación informática del modelo emocional.

3.4.4 Proceso Cognitivo de las Emociones

Sólo algunas teorías sobre la cognición tienen algo que aportar sobre las emociones, así que las teorías sobre las emociones tienden a ser inaceptablemente vagas sobre lo que exactamente hace el rol que juega la cognición en las emociones. Psicólogos y filósofos frecuentemente aceptan que la cognición juega un rol esencial en las emociones, pero para la mayoría, no suministra detalles sobre cómo estas se producen. Uno de los autores más representativos en este frente es Mandler [MAN1989], quien sugiere que lo que se conoce como “interpretación cognitiva” o “análisis de significados” por ejemplo la *valorización (appraisal)* es la parte “fría” de la emoción. La parte “caliente” la provee la *incitación (arousal)* que normalmente se ocasiona por la interrupción de planes o secuencias de acciones. La teoría de Mandler resulta ser más atractiva para esta investigación sobre otras teorías de tipo *incitación/valoración*, porque es muy específica con respecto al aspecto *valorativo* de las emociones, y también por

su reconocimiento explícito de la importancia de los planes, metas y representaciones de conocimiento. Sin embargo, Mandler no trata a profundidad sobre emociones específicas, especialmente las positivas, y no ofrece ninguna relación sistemática entre las diferentes emociones.

Otro problema con las teorías *incitación/valoración* es que no hace ninguna consideración sobre cómo interactúan la incitación y la valoración para producir la emoción. De acuerdo con Ortoy, Clore y Collins[ORT1988], este problema lo afrontan postulando un mecanismo de producción basado en la incitación que al mismo tiempo registre *valencia*. Esto obvia la necesidad de postular distintos mecanismos correspondientes a la incitación y valoración, eliminando la necesidad de explicar cómo interactúan dichos mecanismos para la experiencia ordinaria de la emoción. La presentación sobre la definición conceptual en el modelo OCC [ORT1998] es muy clara en hacer pensar a científicos de la computación en un diagrama de herencia; en la que cada tipo de emoción es como el tipo de su padre más una especialización. Por ejemplo, el disgusto es una forma de reacción valorada negativamente como consecuencia de un evento; la angustia es disgusto *más* un enfoque en sí mismo; el lamento es la angustia más la restricción de que la consecuencia en cuestión indica una pérdida de oportunidades, etc. Aunque pudo no haber sido la intención de los autores de OCC a presentar la estructura de las emociones como una jerarquía de herencia, los autores en OCCr [DAS2009] plantean que podría ser realmente útil plantearlo de esa manera y seguir esta orientación hacia el futuro. Sin embargo, esta interpretación revela varias ambigüedades en la estructura lógica que subyace en el modelo OCC.

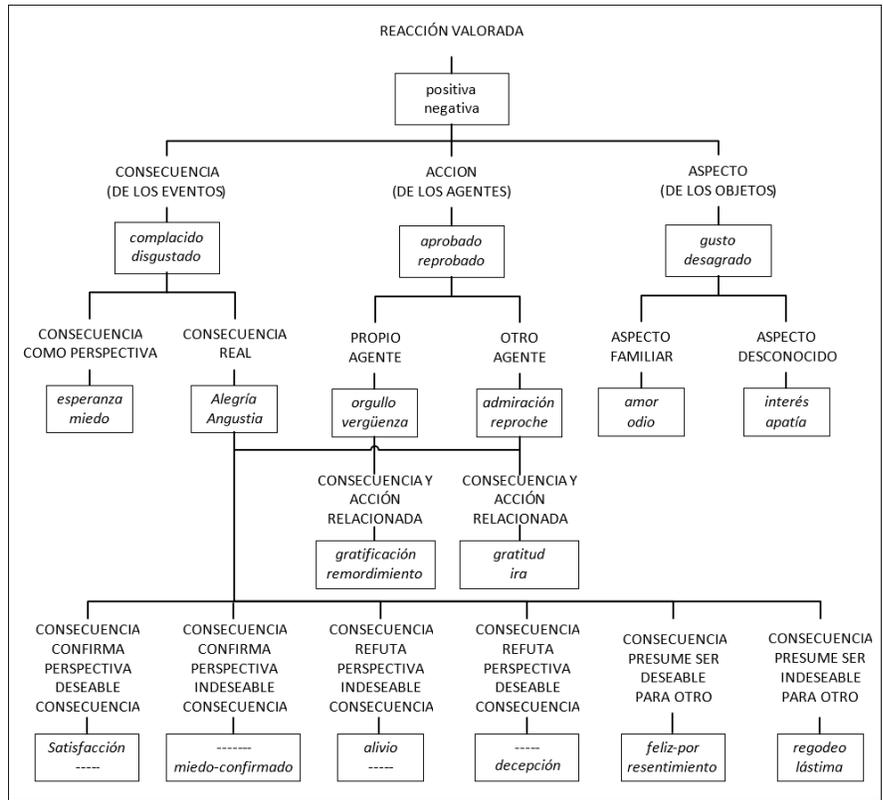


Ilustración 2 - Modelo OCCr [DAS2009]

La estructura de las emociones propuesta en OCC [ORT1998] puede ser intuitiva, pero tiene falencias en la captura de la estructura lógica subyacente del modelo. En OCCr [DAS2009] se ha construido una nueva jerarquía (ver **Ilustración 2**) con la que se busca resolver las ambigüedades y falencias de OCC. OCCr es la propuesta mejorada del modelo OCC en donde, a pesar de que realmente no contiene conceptos nuevos, la estructura jerárquica se ha modificado para enfocarla a que pueda ser implementada en un modelo informático a través del concepto de herencia. Para ampliar detalles sobre las diferencias de estos modelos emocionales y los procesos cognitivos de las emociones, se sugiere revisar el Anexo 2 – Modelo Emocional, en donde se explican estos conceptos con mayor profundidad.

El modelo emocional a utilizar se basó en el modelo OCCr para construir las emociones básicas de los clientes y fueron tenidas en cuenta en los procesos de toma de decisiones. Las emociones se construyeron a través de eventos emocionales contruidos a partir de la representación de tuplas de tres elementos: eventos, agentes y objetos. Esta representación, permite modelar distintos eventos que se asemejan a los experimentados por los clientes dentro de un centro comercial y constituirán el factor emergente de mayor importancia en el simulador.

4. Modelo de Simulación

4.1 Generalidades del Modelo [1 Página]

Buscar y retener clientes satisfechos y redituables es una condición de éxito para la mayoría de los negocios y la clave para lograrlo, radica en entender y modelar el comportamiento de los clientes. El propósito de un modelo de comportamiento de clientes es lograr aportar a los procesos estratégicos del negocio un entendimiento sobre cómo un cliente toma sus decisiones de compra. Si el comercio entiende el proceso de decisión, puede ser capaz de influenciarlo. Una aproximación al modelo del comportamiento de los clientes se compone de dos partes: factores influyentes y el proceso de toma de decisión. Entre los factores influyentes se encuentran las características personales del consumidor: demografía, preferencias individuales, y de comportamiento. Por otra parte, tenemos características ambientales: variables sociales, culturales, de comunidad, legales, morales, de infraestructura física, etc. También se encuentran los factores propios del producto o servicio: precio, promoción, calidad, ambiente físico, servicio al cliente, etc. Finalmente, factores comerciales y de intermediarios: reputación, confianza, mercadeo, etc. Estos factores constituyen la base fundamental del modelo conceptual propuesto para toma de decisiones de los clientes. Para la construcción del simulador del centro comercial, se implementa un modelo centrado en la toma de decisiones inspirado en el comportamiento de raciocinio humano. En la cual, los clientes son representados como agentes BDI, en donde sus creencias representan su conocimiento del mundo, y el logro de sus metas a través de la ejecución de sus intenciones dirigen su actuar. Así mismo, uno de los desafíos más importantes de este tipo de problemas es el modelado de comportamientos emergentes que surgen espontáneamente de acuerdo a los factores ya mencionados, y generan estados de incertidumbre e inexactitud. Uno de los factores emergentes que influyen en los procesos de toma de decisión es el factor emocional de los clientes. Por ello, se implementa un modelo de emociones que permite representar múltiples condiciones provocadoras de la emoción y de acuerdo al nivel de intensidad resultante, puede generar una influencia positiva o negativa intensa o sutil en los procesos de toma de decisión. Teniendo en cuenta que la compra es una decisión multicriterio, en la que se tienen en cuenta los factores influyentes, se propone un mecanismo de valoración de criterios de decisión a través de un árbol binario de criterios los cuales son contrastados entre sí a través de un motor de lógica difusa para ponderar los diferentes términos lingüísticos y de esta forma identificar su nivel de contribución al logro de las metas específicas del cliente.

En este capítulo se presenta el modelo conceptual de la solución propuesta. En la primera parte, se presenta la estructura de las interacciones del modelo de agentes como resultado de haber aplicado la metodología AOPOA [GE2002] y los protocolos de interacción. Luego, se presenta la arquitectura BDI del modelo de agentes y la estructura del mecanismo de toma de decisiones a través de lógica difusa. Finalmente, se hace una breve explicación del modelo emocional implementado. De acuerdo a la literatura consultada, el uso de simuladores para estudiar el comportamiento de sistemas complejos es una estrategia exitosa para evaluar diferentes configuraciones de un sistema complejo y permite obtener proyecciones del comportamiento de sus componentes ajustadas a la realidad.

Existen varios modelos que permiten representar los factores que influyen la intención de compra. El modelo AIDA presenta la teoría moderna sobre mercadeo y publicidad. Es un movimiento del mercadeo y la publicidad producto resultado de la percepción de los consumidores. Fue desarrollado por Elmo Lewis en 1988. AIDA, por sus siglas en inglés (Attention, Interest, Desire and Action), es un acrónimo ampliamente usado en mercadeo y publicidad que describe una lista común de etapas que pueden ocurrir cuando un consumidor se engancha con una publicidad (ver **Ilustración 3**). Sus partes son: Atención, atraer la atención (conciencia) del cliente; Interés, busca aumentar el interés del cliente logrando enfocándose y demostrándole las ventajas y beneficios (en vez de enfocarse en las características del producto o servicio, como en el mercadeo tradicional); Deseo, convence a los clientes que quieren y desean el producto o servicio y que logrará satisfacer sus necesidades. Acción: dirige a los clientes a tomar acción de compra. Basado en el modelo AIDA, el objetivo del mercadeo radica en atraer la atención de clientes potenciales, despertar su interés y deseo hacia la acción de compra final. Al ejecutar este proceso paso a paso, el número total de clientes potenciales va disminuyendo y, por ende, visto desde la perspectiva de poder de convencimiento, la base de clientes se convierte en un triángulo invertido. La estrategia de mercadeo de este modelo busca generalmente agrandar la parte inferior del triángulo, o aumentar la tasa de conversión (cuando un cliente potencial se convierte en un comprador real). La restricción más importante de este modelo sugiere que ampliar la parte inferior del triángulo aumentará el costo de comercialización en gran medida. La inconsistencia entre la comercialización y las necesidades de los clientes o la aversión de la propia comercialización, reducirá la tasa de conversión para lograr entrar en la siguiente capa de AIDA. Este modelo fue complementado en una nueva versión con la letra S de Satisfacción: generar lealtad y recompra.

El modelo AIDA representa un proceso de toma de decisión sobre la compra llevada a cabo por los clientes. Este modelo fue inspirado del proceso de razonamiento humano.

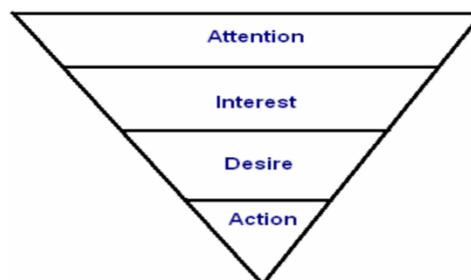


Ilustración 3 - Modelo AIDA

El modelo genérico para la decisión de compra consiste en 5 grandes fases, cada una compuesta por una o más actividades y acciones. No todas las decisiones de los consumidores proceden de este modo. La primera fase es la identificación de la necesidad: el consumidor identifica un desequilibrio entre su estado actual y un estado deseado. La segunda fase es la búsqueda de información: investigación de varias alternativas para satisfacer la necesidad. La tercera fase es la evaluación de alternativas: uso de la información recogida para establecer

criterios de selección. La cuarta fase es la compra y entrega: ejecutar el proceso de compra con el intercambio del pago con la entrega del producto o servicio. Finalmente, la quinta fase es la evaluación post-compra: uso del servicio al cliente, facilidad de instrucción para el uso, evaluación de la funcionalidad, etc. Este proceso relaciona los siguientes estados del cliente en el proceso de toma de decisión: iniciador, influyente, decisor, comprador y usuario. Este proceso general de compra permite definir los subprocesos subyacentes y la identificación de los elementos del modelo de simulación del centro comercial.

4.2 Estructura e Interacciones del Modelo de Agentes Aplicando Metodología AOPOA

Para la implementación del modelo propuesto se ha decidido utilizar la metodología AOPOA [GE2002] la cual facilitará realizar la descomposición del problema por objetivos. De forma que la consecución de las metas en los objetivos subyacentes, permitirá asegurar el logro de la meta global del sistema. Para ello, se implementarán todas las actividades propuestas por la metodología AOPOA, lo que generará los artefactos de diseño del sistema de simulación. El fin principal de este modelo es identificar y especificar los principales agentes del sistema, sus habilidades y recursos necesarios para el logro de sus metas. A continuación, se hace una descripción resumida de las actividades ejecutadas de acuerdo con la metodología para la identificación y especificación de los agentes del sistema, comenzando por la identificación de los casos de uso, la caracterización de los agentes, sus metas, sus habilidades y recursos.

4.2.1 Diagrama de Casos de Uso

El proceso de AOPOA comienza con la descripción de los casos de uso del modelo, en donde se caracterizan los usos para una entidad en un contexto social, en este caso, los clientes del centro comercial que interactúan entre sí y con otros actores. Estos casos de uso están alineados a las problemáticas descritas y facilitan la identificación de los objetivos principales del sistema:

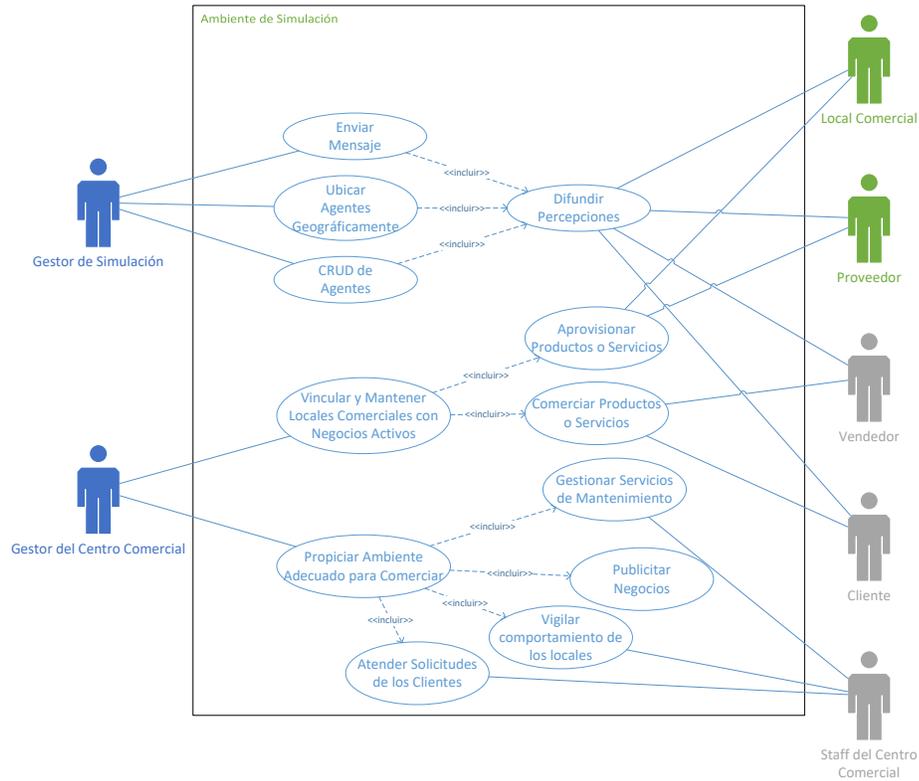


Ilustración 4 - Casos de Uso AOPOA

4.2.2 Caracterización de Clases de Objetivos

La tabla de clases de objetivos permite identificar el primer nivel de descomposición de las metas globales del sistema en sub-metas a través de la identificación de objetivos a lograr por parte del sistema. A continuación, se detalla la tabla de clases de objetivos de AOPOA para el contexto de este trabajo de investigación:

Alias Clase Objetivo	Descripción
C.1.	Cumplimiento Presupuesto de Ventas
C.1.1.	Aseguramiento de Ambiente Adecuado
C.1.1.1.	Vinculación y Mantenimiento de Negocios
C.1.1.1.1.	Gestión de Servicios de Mantenimiento
C.1.1.1.2.	Publicidad de Negocios
C.1.1.1.3.	Supervisión Comportamiento de Locales
C.1.1.1.4.	Atención de Solicitudes de Clientes
C.1.1.2.	Aprovisionamiento de Productos y Servicios
C.1.1.2.1.	Comercialización de Productos o Servicios

Tabla 3 - Identificación de Clases Objetivo

4.2.3 Caracterización de Entidades

Teniendo en cuenta la metodología AOPOA se identificaron las siguientes entidades representativas del modelo de simulación para el centro comercial:

4.2.3.1 Entidades Sociales

Entidades que representan organizaciones presentes dentro del centro comercial:

Cliente: Es la persona que se acerca al centro comercial cuyo fin supremo consiste en satisfacer sus necesidades. Las necesidades de los clientes es dinámica y cambiante, ya que conforme realiza las experiencias de compra dentro del centro comercial, puede crear nuevas necesidades y/o eliminar otras existentes que ya no puede o desea satisfacer. Esta dinámica representa una de las condiciones que generan un comportamiento emergente por parte de los clientes.

Vendedor: Personal vinculado a un local comercial que opera dentro del centro comercial y tiene como objeto persuadir a los clientes para que ejecuten transacciones comerciales dentro del negocio al cuál se encuentra vinculado como vendedor. El proceso de persuasión se realiza a través del intercambio de mensajes con los clientes en donde ofrece sus productos o servicios y enfatiza los beneficios para el cliente con el ánimo de convencerlos de adquirirlos.

Proveedor: Entidad encargada de atender las peticiones de aprovisionamiento de los locales comerciales. Para hacer el aprovisionamiento se requiere que el local comercial cuente con el dinero requerido para ejecutar la transacción de aprovisionamiento.

Local Comercial: Representa la ubicación física en donde se encuentra localizado el negocio particular vinculado al centro comercial. Entre sus características más representativas se encuentra: el tamaño, la capacidad de alojamiento de clientes, distribución interna, aspectos relacionados con la limpieza y la organización, etc. Un local comercial también está compuesto por una serie de vitrinas que permiten exhibir sus productos o servicios para atraer los clientes.

4.2.3.2 Entidades Complementarias de Dominio

Gestor de la Simulación: Es la entidad encargada de hacer modificaciones al mundo y de brindar una representación del estado actual del mismo a los agentes que lo requieran. Entre las características más importantes de esta entidad es informar a los agentes sobre su ubicación y la de los locales comerciales. Así mismo, define el ciclo de vida de los agentes que hacen parte de la simulación.

4.2.4 Caracterización de Habilidades

La tabla de habilidades permite identificar las habilidades y recursos requeridos para poder realizar un objetivo general del simulador:

Alias Clase de Objetivo	Descripción de Clase Objetivo	Habilidades	
		Alias de Habilidad	Descripción de Habilidad
C.1.	Cumplimiento Presupuesto de Ventas	H.1.	Totalizar Presupuesto Cumplido
		H.2.	Conocer el Presupuesto de Ventas
		H.3.	Implementar Estrategias de Ventas para lograr Presupuesto
C.1.1.	Aseguramiento de Ambiente Adecuado	H.4.	Vigilar el estado actual del ambiente
		H.5.	Implementar estrategias para mejorar el ambiente propicio para el comercio
		H.6.	Recibir y atender solicitudes de vinculación de nuevos locales
C.1.2.	Vinculación y Mantenimiento de Negocios	H.7.	Implementar estrategias para mejorar niveles de venta de locales.
		H.8.	Coordinar al staff para la ejecución de tareas
C.1.1.1.	Gestión de Servicios de Mantenimiento	H.9.	Atender solicitudes de publicidad por parte de los comercios para realizarla dentro del centro comercial.
C.1.1.2.	Publicidad de Negocios	H.10.	Implementar oportunidades de mejora en la operatividad de los locales
C.1.1.3.	Supervisión Comportamiento de Locales	H.11.	Acceder a las solicitudes de los clientes y tener los permisos suficientes para atenderlas.
C.1.2.1.	Aprovisionamiento de Productos y Servicios	H.12.	Acceder a las peticiones de los locales comerciales sobre necesidades de aprovisionamiento
		H.13.	Ejecutar transacción comercial.
C.1.2.2.	Comercialización de Productos o Servicios	H.14.	Conocer los productos y servicios del local comercial.
		H.13.	Ejecutar transacción comercial.

Tabla 4 - Caracterización de Habilidades

4.2.5 Caracterización de Recursos

Revisando las Clases Objetivo y las Habilidades requeridas, se logran identificar los recursos de mayor relevancia con respecto al objetivo del trabajo de investigación. A continuación, se hace una lista de los recursos identificados inicialmente:

Alias de Recurso	Descripción
R.1.	Presupuesto de Ventas
R.2.	Producto o servicio
R.3.	Dinero
R.4.	Tiempo

R.5.	Staff del Centro Comercial
R.6.	Vendedores
R.7.	Vallas Publicitarias
R.8.	Capacidad para Atender de Clientes
R.9.	Altavoces
R.10.	Cajas Registradoras
R.11.	Capacidad Parquaderos

Tabla 5 - Caracterización de Recursos

4.2.6 Caracterización de Roles

Una vez identificados los recursos y estos habiéndolos asociado a las clases de objeto y a las habilidades, se puede generalizar los roles del sistema a través de una descomposición. A continuación, se presenta una estructura desglosada de los roles del sistema.

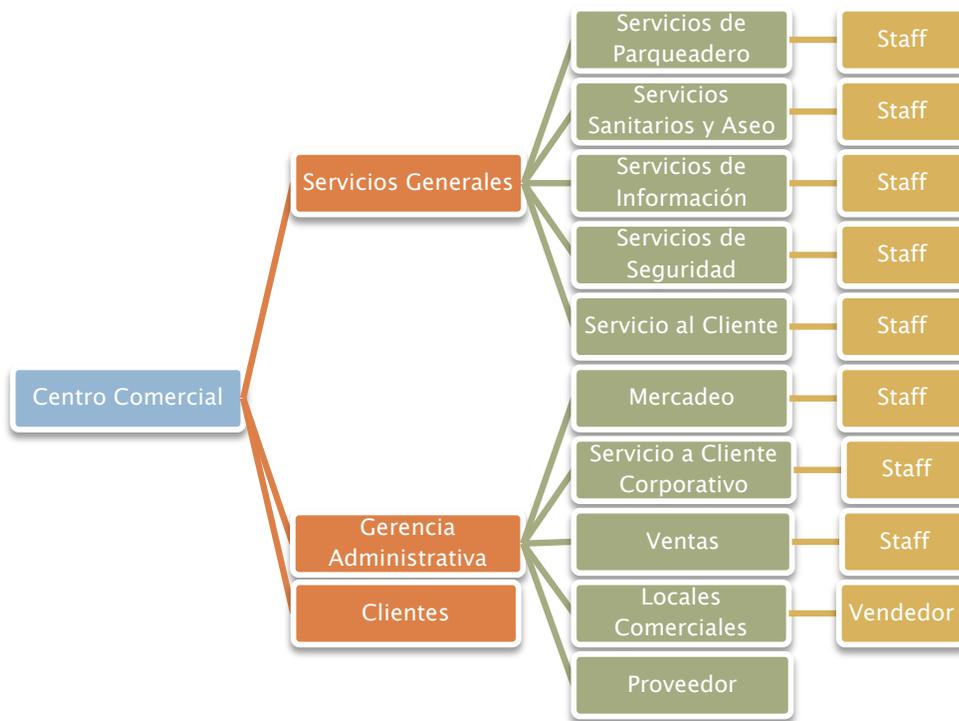


Ilustración 5 - Descomposición de Roles

4.3 Modelo de Entidades

De acuerdo con la descripción del problema, la descomposición de roles, habilidades y recursos, se identifican las entidades representativas para la construcción del modelo de simulación. A continuación se hace una breve descripción de las entidades del sistema y sus relaciones.

Gestor de Simulación: Es la entidad encargada de controlar el ciclo de vida de la simulación. Establece el punto de partida del sistema y controla la instanciación inicial de los objetos. Así mismo, se encarga de extraer y consolidar los resultados de la simulación.

Centro Comercial: Es la entidad central del simulador, en donde ocurren las interacciones entre las entidades dinámicas del sistema. Define la ubicación y distribución de componentes de infraestructura física del centro comercial. La distribución física de los comercios que operan del centro comercial puede realizarse en forma clusterizada en donde los comercios se agrupan físicamente por cercanía de acuerdo al nicho al que pertenecen, o también, puede realizarse en forma no clusterizada en donde los comercios buscan que sus competencias directas en el nicho se encuentren lo más alejadas posibles entre sí.

Lugares: Es la representación abstracta de los espacios del centro comercial en donde confluyen los clientes. Puede ser concretada como Entradas, Comercios, Pasillos, Servicios Sanitarios, Puntos de Información, etc. Define la forma de interacción de los clientes y los espacios de infraestructura física del centro comercial. Los lugares del centro comercial se encuentran conectados entre sí a través de un grafo topológico que permite representar su ubicación y conexión con los lugares circundantes.

Pasillos: Es la representación de los corredores por los cuales transitan los clientes de un lado a otro dentro del centro comercial. En los pasillos se pueden ubicar los elementos publicitarios o impulsores de los comercios. Así mismo, los pasillos, tienen una capacidad limitada para albergar clientes y la representación de los mismos se realizará de manera uniforme en cuanto a tamaño y distribución.

Muros: Los muros del centro comercial representan una línea divisoria entre los comercios, sanitarios, y los pasillos, también pueden cumplir la función de vitrinas de los comercios que operan dentro del centro comercial y envían mensajes promocionales a los clientes cercanos para atraer su atención.

Comercio: Es la entidad que representa el lugar en el que los clientes realizan sus operaciones de compra. Así mismo, cuenta con una disponibilidad de inventario de productos y servicios que los clientes pueden adquirir a través de una transacción comercial. Su objetivo es lograr la mayor cantidad de operaciones de venta para generar la mayor utilidad posible. Así mismo, los comercios pertenecen a un nicho o industria en el mercado que identifica su generalidad.

Productos y Servicios: Representan la mercancía que se transa en las operaciones comerciales entre los negocios que operan dentro del centro comercial y los clientes que lo visitan. Los productos y servicios pertenecen a una categoría específica que permite segmentar la demanda de los clientes.

Cotización: Es un documento generado por los comercios en donde dan a conocer una oferta de un producto o servicio por un precio dado. Estas cotizaciones son recolectadas y evaluadas

por los clientes para satisfacer sus necesidades. La mejor cotización de acuerdo a los criterios de selección de cotizaciones por parte de los clientes, definirá el lugar y producto a adquirir.

Categorías: Las categorías representan la forma de clasificar los productos del mercado objetivo del centro comercial y sus comercios asociados. Una categoría puede estar compuesta por una lista de productos asociados a ella y así mismo, puede definir una lista de subcategorías pertenecientes a ella. De esta forma se construye un árbol jerárquico para su representación.

Clientes: Representa las personas que se acercan al centro comercial para satisfacer sus necesidades a través de operaciones comerciales con los negocios que operan dentro del centro comercial.

Perfil de Contexto Demográfico: Permiten segmentar los clientes que visitan el centro comercial. Entre los datos representativos se encuentran: edad, género, nivel socioeconómico, ocupación y nivel de escolaridad. Estos atributos permiten definir un mercado objetivo del centro comercial y de los comercios que operan dentro de él.

Perfil de Contexto Económico: Los datos representan el estado económico de los clientes entre los que se encuentra la disponibilidad de dinero en efectivo, débito y crédito con el que cuentan los clientes para realizar sus operaciones de compra. Así mismo, en esta entidad se define el nivel de apetito de endeudamiento que tienen los clientes y el presupuesto para gasto.

Perfil de Contexto del Comprador: Es la entidad encargada de definir los criterios de selección de las cotizaciones, define los mecanismos para la toma de decisión en los procesos de compra y al almacenar las compras realizadas.

Necesidades: Las necesidades representan los productos o servicios requeridos por los clientes para lograr niveles de satisfacción aceptables. Las necesidades se diferencian de los deseos en que el hecho de no satisfacerlas produce resultados negativos evidentes en los clientes. Las necesidades representan la sensación de carencia unida al deseo de satisfacerla. Existen necesidades más relevantes que otras para los clientes, por ello, se encuentran ordenadas de acuerdo a un nivel de intensidad de tal forma que las que tienen un nivel más alto de intensidad representan un mayor nivel de beneficio para el cliente y por ende será la necesidad que buscará satisfacer primero.

Intereses: Son aquellos señalamientos o énfasis que se descubren en los clientes hacia un determinado medio de satisfacer una necesidad, creando o aumentando con ello el impulso necesario para que ponga en obra la satisfacción de sus necesidades. Los intereses están representados a través de una lista de categorías sobre las cuales los clientes tienen un nivel de afinidad, de forma que en la experiencia de compra, pueden surgir nuevas necesidades por nueva información recibida sobre productos o servicios pertenecientes a categorías de su interés.

Componente Emocional: El componente emocional permite establecer los niveles de intensidad de las emociones que el cliente experimenta en su experiencia de compra. Este atributo es tenido en cuenta en los procesos de toma de decisión por parte de los clientes en el momento de la compra.

4.4 Proceso General de Simulación

Las relaciones entre las entidades permiten identificar cómo se encuentran articuladas entre sí y facilita definir el proceso general de simulación (**ver Ilustración 6**). El proceso de simulación comienza a través de la activación de un gestor que se encarga de instanciar y configurar las entidades principales del sistema. Así mismo, el gestor del simulador se encarga de la creación de los clientes y de activarlos para que inicien el logro de sus metas.

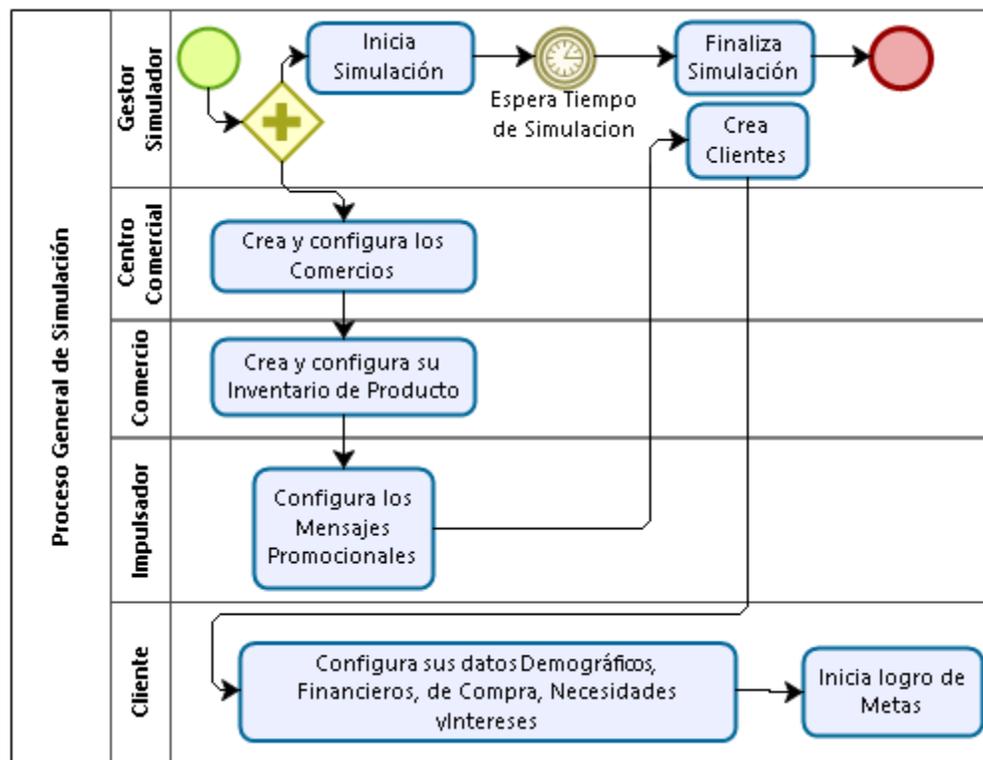


Ilustración 6 - Proceso General De Simulación

4.5 Arquitectura BDI del Modelo de Agentes

La arquitectura BDI implementa los principales aspectos de la teoría basada en el raciocinio práctico humano de Michael Bratman (también denominada Creencia-Deseo-Intención o BDI) [BUS1994]. Es decir, implementa las nociones de creencia, deseo e intenciones, de una manera inspirada en el proceso de razonamiento Bratman. Para Bratman, la intención y el deseo son a la vez proactitudes (actitudes mentales relacionadas con la acción), pero la intención se distingue como una actitud favorable al control de la conducta. Identifica el compromiso como el factor distintivo entre deseo e intención, observando que conduce a la persistencia temporal en los planes y a la ejecución de planes adicionales que se hacen sobre la base de aquellos a los que ya está comprometido.

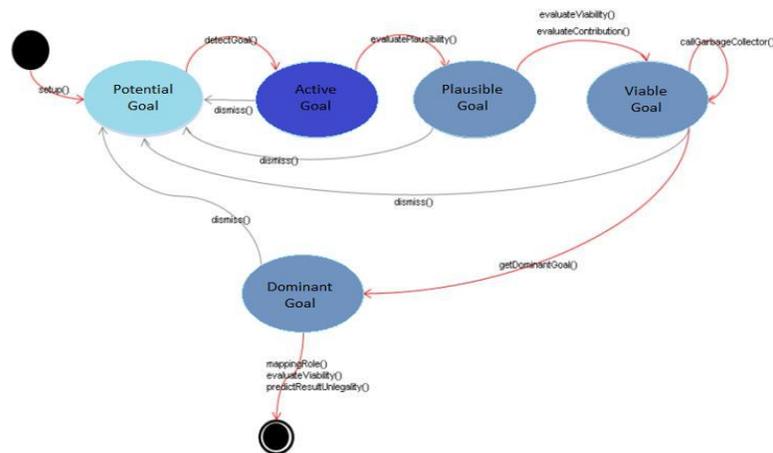


Ilustración 7 - Ciclo de Vida de las Metas

La arquitectura de agentes BDI se inspiró en el proceso natural de raciocinio de las personas y por ende, facilita el modelado de agentes que representan personas el sistema y que llevan a cabo procesos de toma de decisión para el logro de sus metas. De acuerdo a lo anterior, se ha definido que los agentes que se implementarán con la arquitectura BDI serán los clientes del centro comercial. En la Universidad Javeriana se han realizado varios trabajos de investigación en donde se propone una arquitectura de agentes [GE2003] y se enriquece con la arquitectura BDI [GON2011] para el modelado de sistemas complejos. En la arquitectura BDI propuesta se plantea una estructura de metas piramidal en la cual, de acuerdo al análisis de requerimientos de desempeño, de adaptabilidad, y de interoperabilidad, se organizan y orquesta la ejecución de las metas. A continuación, se realizará una breve descripción de las creencias, intenciones y metas de la arquitectura BDI de los clientes.

4.5.1 Creencias

Las creencias definen la percepción del ambiente en el que el agente se encuentra inmerso. Para el caso de las creencias de los clientes se resumen las entidades que los caracterizan: datos demográficos, económicos y de comprador. Así mismo, el lugar en el que se encuentra,

la ruta que lo lleva a su lugar de desplazamiento, su estado emocional y sus mecanismos para toma de decisiones. Adicionalmente, entre las creencias se encuentra un mecanismo que le permite a las metas definir su nivel de activación y contribución.

4.5.2 Deseos

Los deseos están representados a través de la descomposición de metas resultado de aplicar la metodología AOPOA. Teniendo en cuenta las definiciones obtenidas del modelo AIDA, se define la estructura piramidal de metas las cuales serán explicadas a continuación.

Tipo de Meta	Alias de Meta	Nombre
Supervivencia	M1	Alimentarse
Supervivencia	M2	Ir Al Sanitario
Obligación	M3	Satisfacer Necesidades
Oportunidad	M4	Comprar
Oportunidad	M5	Salir
Oportunidad	M6	Usar Servicios Bancarios
Requerimiento	M7	Cotizar Necesidad
Requerimiento	M8	Trasladarse a Lugar
Requerimiento	M9	Solicitar Información
Requerimiento	M10	Retirar Dinero en Efectivo
Necesidad	M11	Deambular

Tabla 6 - Jerarquía de Metas

4.5.2.1 Metas de Supervivencia

Las metas de supervivencia corresponden a metas vitales para mantener el agente vivo en el sistema. Dadas las condiciones ambientales del agente cliente, las condiciones que definen su supervivencia están directamente relacionadas con condiciones fisiológicas.

M1. Alimentarse: Esta meta está relacionada con el nivel de hambre que los clientes pueden experimentar durante su visita al centro comercial. Se valida a través de una variable mide el nivel de satisfacción de hambre que se puede experimentar en un momento dado y que con el tiempo tiende a bajar. Cuando se logra superar umbral mínimo requerido, la meta se activa y prioriza la necesidad de alimentarse, buscando que el cliente satisfaga su hambre consumiendo alimentos dentro del centro comercial. Para ello, utiliza la meta M3. Satisfacer Necesidad y todas sus metas subsecuentes. Una vez satisfecha la necesidad, los niveles de satisfacción del hambre suben de nuevo y vuelven a descender a través de un factor de atenuación.

M2. Ir Al Sanitario: Al igual que la alimentación, la necesidad fisiológica de usar los servicios sanitarios del centro comercial es una necesidad vital. Se valida a través de una variable que mide el nivel de necesidad de usar los servicios sanitarios y una vez superado los umbrales aceptables, se activa la meta y se lleva a cabo un proceso de expropiación sobre las demás metas. El objetivo principal de esta meta es mantener al cliente bajo los niveles de necesidades sanitarias aceptables. En caso de activarse y no estar frente a un sanitario, se activa la

meta de requerimiento M8. Trasládarse a Lugar, para ubicarse frente a un sanitario y utilizar sus servicios.

4.5.2.2 Metas de Obligación

Las metas de obligación son aquellas que están asociadas con reglas del mundo o del contexto del problema. Es decir, definen las normas con las cuales el cliente se debe comportar dentro del centro comercial y están directamente relacionadas con el objetivo general del agente.

M3. Satisfacer Necesidades: Engloba el objetivo principal del agente, a través del logro de esta meta se busca lograr el mayor nivel de satisfacción de las necesidades que tiene el cliente. Para el cumplimiento de esta meta, el cliente identifica y ordena las necesidades sin satisfacer, lleva a cabo un proceso de selección de la próxima necesidad a satisfacer, e inicia un proceso de obtención de cotizaciones de la necesidad seleccionada. Para ello, activa la meta de requerimiento M7. Cotizar Necesidad. Una vez terminada, evalúa las cotizaciones obtenidas y de acuerdo a su criterio de selección, escoge la mejor cotización y evalúa si la forma de pago se ajusta a las condiciones económicas del cliente. En caso que el pago en efectivo no se pueda realizar porque no cuenta con dinero en efectivo suficiente, se activa la meta M.10 Retirar Dinero. Finalmente, dadas todas las condiciones requeridas intenta comprar a través de la activación de la meta de oportunidad M.4 Comprar. Esta meta finaliza cuando el cliente ha intentado satisfacer todas sus necesidades.

4.5.2.3 Metas de Oportunidad

Las metas de oportunidad son aquellas orientadas al cumplimiento del objetivo del agente. En este caso, la satisfacción de las necesidades se logra a través de llevar a cabo procesos de compra. Las metas de oportunidad buscan activarse a través del logro de metas de requerimiento y necesidad, que buscan generar las condiciones ideales para la ejecución de las metas de oportunidad.

M4 Comprar: Esta meta busca identificar las condiciones ideales para realizar una compra. La primera de ellas es que el cliente haya previamente decidido llevar a cabo un proceso de compra, y la segunda es que el cliente se encuentre en frente del comercio relacionado en la cotización seleccionada. En caso de no estar frente al comercio, activa la meta de requerimiento M8. Trasládarse a Lugar. Una vez que se encuentre frente al comercio, lleva a cabo el proceso de toma de decisión sobre la realización de la compra que será explicado en mayor detalle en el numeral 4.6.

M5. Salir: Esta meta se activa cuando el cliente no ha podido satisfacer una necesidad de supervivencia o ha finalizado la satisfacción de la meta M11. Deambular y desea salir del centro comercial. Inicia activando la meta M8. Trasládarse a Lugar, buscando la entrada del centro comercial más cercana para salir del mismo. Una vez el cliente se encuentra afuera del centro comercial, la meta finaliza.

M6. Usar Servicios Bancarios: Existe un tipo de necesidad relacionado con utilizar los servicios bancarios dentro del centro comercial. Esta meta es activada cuando el cliente en el proceso de compra se da cuenta que el dinero que tiene disponible en efectivo no es suficiente para realizar una compra. Este meta primero activa la meta de requerimiento M8. Trasladarse a Lugar en busca del banco de su preferencia más cercano para hacer uso de sus servicios. Una vez ubicado en el lugar correcto utiliza los servicios bancarios y finaliza la meta.

4.5.2.4 Metas de Requerimiento

M7. Cotizar Necesidad: Una vez identificada la próxima necesidad a satisfacer, se identifican los comercios que pueden satisfacer dicha necesidad y procede a activar en un proceso iterativo la meta de requerimiento M.8 Trasladarse a Lugar buscando ubicarse frente al comercio seleccionado. Posteriormente, el cliente decide solicitar una cotización al comercio y en forma iterativa repite este proceso en los comercios candidatos a visitar. Una vez recolectadas todas las cotizaciones, la meta finaliza.

M8. Trasladarse a Lugar: Esta meta es la encargada de llevar a cabo el proceso de trasladar al cliente entre los diferentes lugares del centro comercial hacia un destino específico. Si entre las creencias el cliente desconoce la ruta para llegar al lugar de destino, se activa la meta de requerimiento M9. Solicitar Información. Esta es la meta de requerimiento más utilizada para el logro de las metas del cliente y es a través de la ejecución de esta meta que se generan comportamientos emergentes gracias a los mensajes publicitarios que el cliente recibe en su trayecto.

M9. Solicitar Información: Esta meta se encarga de entregar al cliente la ruta requerida para poderse desplazar a un lugar específico cuando este no la conoce.

M10. Retirar Dinero en Efectivo: Esta meta se encarga de ubicar el banco de su conveniencia y realizar el procedimiento de retiro del dinero en efectivo, para lo cual primero activa la meta de requerimiento M.8 Trasladarse a Lugar para llegar al banco seleccionado. La meta finaliza cuando el cliente logra obtener el dinero en efectivo requerido.

4.5.2.5 Metas de Necesidad

Las metas de necesidad son aquellas metas que se realizan cómo último recurso luego que no se hayan activado las metas de la parte superior de la pirámide de metas.

M11 Deambular: Esta meta permite al cliente explorar el centro comercial y visitar los locales que corresponda a sus intereses. Finaliza cuando se agote el tiempo estimado de permanencia dentro del centro comercial.

4.5.3 Intensiones

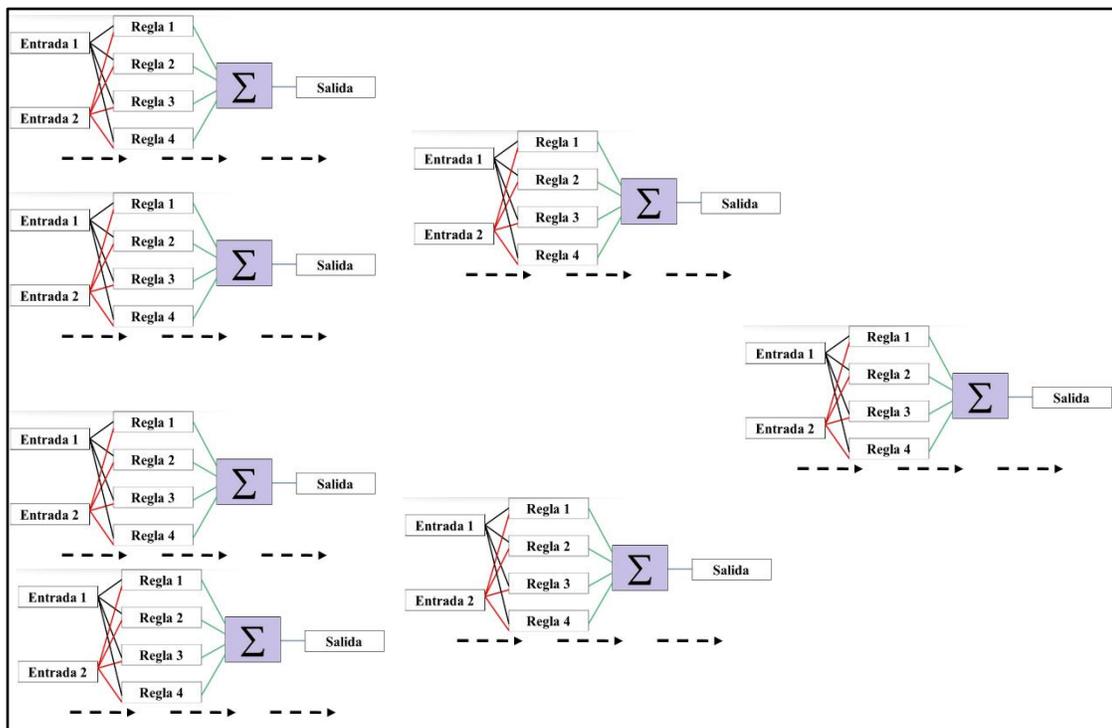
Las intensiones son las metas comprometidas para su ejecución. Se definen mecanismos de persistencia para asegurar la completa ejecución de las metas. Sin embargo, durante la ejecución de una meta, se pueden activar otras metas en simultánea las cuales a través de un

proceso controlado de expropiación, toman el control del comportamiento del agente y prevalece en el hilo de ejecución. Es el caso en el cuál durante la ejecución del proceso de compra, se genera una nueva necesidad que se sobrepone a la necesidad actual. En este caso, cuando el nivel de persistencia de la meta supere el umbral de aceptación, tomará el control del hilo de ejecución y se impondrá sobre las otras metas a través de un proceso de expropiación.

4.6 Modelo Emocional y Toma de Decisión Basado en Lógica Difusa

El proceso de toma de decisiones principal del sistema es el relacionado con la evaluación de las variables intervinientes en una compra. Para este proceso intervienen múltiples variables como: costo/beneficio del producto, calidad del producto, nivel de atención de servicio al cliente, representación de la marca en el mercado, el estado emocional del cliente, entre otras. Teniendo en cuenta que la combinación de estas variables puede ser cambiante de acuerdo a la personalidad, demografía, y otras variables del cliente, se decidió utilizar lógica difusa para la representación de estas variables a través de la construcción de una jerarquía de atributos formando un árbol binario que permite obtener una conclusión a partir de la contraposición por partes de los datos de entrada.

Teniendo en cuenta la funcionalidad requerida, se propuso utilizar una forma simplificada para contraponer dos atributos a través de un árbol en donde las hojas del mismo definen un método para capturar un valor entre 0 y 1 como un calificativo del atributo y a través de un método recursivo se generan los procesos de fuzzificación y defuzzificación para contrastar dichas variables. Estas se capturan desde el archivo de configuración del sistema lo que facilitaría al usuario la parametrización de las mismas sin que esto requiera complejos procesos



de implementación. Con el ánimo de hacer una explicación descriptiva de este proceso se ilustra la estructura del árbol jerárquico de atributos a poner en contraposición para evaluar el nivel de contribución de una compra (**ver ilustración 7**)

En la figura se puede observar que las hojas del árbol corresponden a los valores extraídos del proceso valorativo de los atributos en donde cada función retorna un valor entre 0 y 1 como calificación. Los atributos valorados tienen una polaridad que permite definir su proporcionalidad de contribución directa o inversa. Es decir, existen variables que definen una condición deseable o indeseable para el cliente según corresponda. Por ejemplo, la variable *costo* del producto es una variable cuyo valor de mayor contribución se da cuando este es muy bajo (valencia *negativa*), mientras que la variable *beneficio* genera un valor de contribución mayor cuando este es muy alto (valencia *positiva*). Así, se define un bloque de reglas específico para cada caso de valencia (++,+,-,+,-). También se definen tres variables lingüísticas para cada bloque de reglas a evaluar: alto, medio y bajo con los mismos conjunto difusos para cada bloque de forma que se pueda realizar una la fuzzificación y defuzzificación en forma recursiva para las variables de entrada v1 y v2, y genera una variable de salida v3. (**ver Ilustración 8**).

V1 (+)	V2 (+)	V3 (SALIDA)	V1 (+)	V2 (-)	V3 (SALIDA)	V1 (-)	V2 (+)	V3 (SALIDA)	V1 (-)	V2 (-)	V3 (SALIDA)
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Alto
Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Bajo	Alto	Medio	Bajo	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Alto	Medio
Medio	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Alto
Medio	Medio	Medio									
Medio	Alto	Alto	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Alto	Medio	Alto	Bajo
Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Bajo	Medio
Alto	Medio	Alto	Alto	Medio	Alto	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto	Alto	Medio	Alto	Alto	Bajo

Tabla 7 - Bloque de Reglas Fuzzy para toma de decisiones

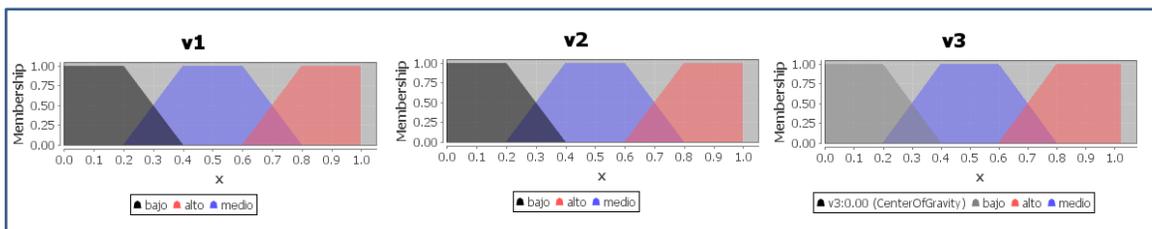


Ilustración 9 – Conjuntos Difusos Fuzzy de las Variables Lingüísticas

Esta solución fuzzy permite realizar la valoración dinámica de múltiples variables fácilmente intercambiables en tiempo de configuración a través de un archivo descriptor. Por otra parte, uno de los atributos a tener en cuenta en el proceso de toma de decisiones es el componente emocional. A través de la adaptación del modelo emocional propuesto en el trabajo RoboAct [AP2014] desarrollado en la universidad, se permite el modelado de emociones discretas el

cuál funciona a través de ejes emocionales que definen la polaridad de la emoción. Cada eje emocional representa la valencia positiva o negativa de la emoción, por ende, cada eje emocional tiene los polos emociones opuestas (ej. Felicidad/Tristeza, Amor/Odio, etc.), la valoración de las emociones se presenta bajo un rango de valores de -1 a 1. Adicionalmente, cada eje tiene configurado un valor de línea base dentro de ese rango que corresponde el nivel de restitución de la emoción al valor definido por el carácter o personalidad particular. Es decir, una persona feliz podría tener una línea base de 0.7 en un eje emocional en donde el polo positivo representa la felicidad. Los niveles emocionales se ven afectados por eventos emocionales constituidos por tupas de tres valores: personas, eventos y objetos. Cada evento es valorado de acuerdo a una semántica preestablecida para cada elemento de la tupla. Es decir, las relaciones de afinidad entre las personas pueden hacer que el mismo evento proveniente de diferentes personas u objetos pueda generar valoraciones diferentes. Para ilustrarlo con un ejemplo, tenemos el evento en el que una madre le hace una broma a su hijo. En este caso, dada una semántica de la relación entre madre e hijo que podría estar valorada como Familiar o cercana, ocasiona que el evento sea deseable. Mientras que el mismo evento entre profesor y alumno, en donde la semántica de la relación es valorada como Formal, ocasiona que el evento se indeseable para mantener dicha formalidad. Así, para el caso del centro comercial, se adaptó el modelo de emociones propuesto en RoboAct para incluirlo entre las creencias de los agentes y de esta forma lograr modular el proceso de toma de decisiones.

Los eventos emocionales implementados en el simulador del centro comercial están relacionados con el intercambio de mensajes publicitarios entre los comercios, sus vitrinas e impulsores y los clientes. La semántica definida para lograr este objetivo se puede encontrar en la **Tabla 8** y **Tabla 9**.

Personas		Eventos		Objetos	
Etiqueta	Valor	Etiqueta	Valor	Etiqueta	Valor
Enemigo	-1	Indeseable	-1	Repulsivo	-1
No amigable	-0,3	Algo Indeseable	-0,4	No valioso	-0,2
Desconocido	0	Indiferente	0	Indiferente	0
Amigo	0,7	Algo Deseable	0,4	Valioso	0,4
Cercano	0,9	Deseable	0,8	Importante	0,8

Tabla 8 - Semántica del Modelo Emocional

Evento	Valoración	Factor de Influencia
Recibe Publicidad	Algo Deseable	0.1
Observa Compra	Deseable	0.8
Observa Robo	Indeseable	0.5
Observa Suciedad	Indeseable	0.7
Se Alimenta	Deseable	1
Utiliza Sanitario	Deseable	1

Tabla 9 - Valoración de Eventos

5. Caso de Estudio

5.1 Caracterización del Caso de Estudio

En este capítulo se realiza una descripción del caso de estudio con el cual se pretende validar y verificar el simulador propuesto. Teniendo en cuenta la definición del problema, se buscó representar el comportamiento del centro comercial tomando datos reales de comercios que operan dentro de un centro comercial existente. Para ello se realizó una visita al Centro Comercial Calima de la ciudad de Bogotá y se tomó una muestra estadística de algunas variables de desempeño de los locales comerciales visitados. Entre las variables a estudiar, se encuentran las relacionadas con el comportamiento de los clientes dentro del local comercial en relación al tiempo de permanencia dentro de los locales comerciales, la cantidad de ventas realizadas durante el día, el monto al que ascienden las ventas realizadas y la diversidad de productos y/o servicios ofrecidos. Sobre estas variables se obtuvo los valores mínimos, promedio y máximo, y con esta información se logró generar las funciones de distribución triangular para calibrar el simulador y que se ajustara el comportamiento de consumo de los clientes con respecto a estas variables de oferta y demanda. El caso de estudio se centró en observar el comportamiento del centro comercial real y buscar lograr una verificación del simulador a través de la comprobación de comportamientos triviales para los escenarios estudiados. Adicionalmente, se realiza la evaluación de un escenario de validación que permite obtener conclusiones sobre el desempeño general del simulador.

5.2 Diseño del Experimento

Para realizar el diseño del experimento de simulación se tuvo en cuenta variables de desempeño que permitieran verificar que la construcción del modelo de simulación se ajuste a condiciones básicas de comportamiento en dos escenarios concretos, buscando resolver las siguientes hipótesis nulas: 1. El nivel de ventas de los comercios del centro comercial es directamente proporcional a la capacidad adquisitiva de los clientes que lo visitan. 2. El nivel de ventas de los comercios dentro del centro comercial está directamente relacionado con la cantidad de necesidades que tienen los clientes que lo visitan. 3. La distribución de locales en forma clusterizada agiliza los procesos de compra y aumenta la cantidad de ventas en el tiempo vs. la distribución aleatoria porque los tiempos de desplazamientos de los clientes para hacer las cotizaciones es menor. Para realizar este escenario se definieron las siguientes variables:

Variables Dependientes	Descripción	Rango de Valores
Cantidad de Ventas Realizadas	Corresponde a la cantidad de operaciones de venta realizadas en forma exitosa dentro del centro comercial	
Variables Independientes		
Capacidad Adquisitiva	Es la cantidad de dinero con el que los clientes cuentan dentro del centro comercial	[Bajo] – Capacidad de pago no superior a 100.000

		[Alto] – Capacidad de pago superior a 2'000.000
Cantidad de Necesidades	Corresponde a la cantidad de necesidades con las que llega un cliente al centro comercial	[Bajo] – menos de 3 necesidades [Alto] – más de 20 necesidades
Distribución de Locales (Clusterizada y Aleatoria)	Define la organización y distribución física de los locales que pertenecen a un mismo nicho del mercado dentro del centro comercial	
Variables Intervinientes		
Mercado Objetivo	Son las variables que definen el perfil de clientes asociado a las categorías de los productos ofrecidos	
Perfil Demográfico	Corresponde a los datos personales del cliente, edad, nivel de estudio, etc.	

Tabla 10 – Variables Dependientes, Independientes e Intervinientes del Caso de Estudio

5.3 Ejecución del Experimento y análisis de resultados

Para realizar el experimento se realizaron 10 corridas del simulador en el que se simuló 8 horas del tiempo real en 4.5 de tiempo virtual para cada escenario generando la siguiente matriz:

Cantidad de Dinero	Nivel de Necesidades	Distribución	Media de Cantidad de Ventas (10 Corridas)
Alto	Alto	Clusterizada	957
Alto	Alto	Aleatoria	882
Alto	Bajo	Clusterizada	584
Alto	Bajo	Aleatoria	443
Bajo	Alto	Clusterizada	74
Bajo	Alto	Aleatoria	65
Bajo	Bajo	Clusterizada	37
Bajo	Bajo	Aleatoria	32

De acuerdo con el análisis estadístico realizado se puede concluir que los escenarios de verificación demuestran que las hipótesis nulas planteadas son válidas porque sí se está representando los fenómenos más representativos o comunes de amplio conocimiento en los centros comerciales y las pruebas estadísticas demuestran que cumplen con este comportamiento. Para consultar más detalles sobre el análisis estadístico por favor consultar los anexos de las pruebas ejecutadas en el software IBS SPSS.

6. Conclusiones

El simulador construido permitió realizar la representación de los escenarios de verificación del comportamiento del centro comercial. El modelo de agentes BDI permitió la construcción

7. Anexos

Anexo 1 – Estado del Arte

Anexo 2 – Modelo Emocional

Anexo 3 – Diseño del Simulador

Anexo 4 – Resultados de Pruebas de Verificación del Simulador

8. Referencias

- [ABE1982] Abelson, R., Kinder, D., and Peters, M. *Affective and Semantic Components in Political Person Perception*. USA. 1982.
- [ADA2007] Adam, C.: *The Emotions: From Psychological Theories to Logical Formalization and Implementation in a BDI Agent*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Toulouse. Francia. 2007.
- [ARE2009] ARENTZE, T. AND TIMMERMANS, H. 2009. A need-based model of multi-day, multi-party activity generation. *Transport. Resear. Part B* 43, 251–265.
- [AVE1983] Averill, J. *Studies on anger and aggression: Implications for theories of emotion*. *American Psychologist*, 38, 1145–1160. USA. 1983.
- [AXT2000] Axtell, R., *Why Agents? On the Varied Motivations for Agent Computing in the Social Sciences*, in *Working Paper No. 17*. 2000, center on Social and Economic Dynamics, The Brookings Institution: Washington, DC.
- [BAN2007] BANDINI, S., FEDERICI, M. L., AND VIZZARI, G. 2007. Situated cellular agents approach to crowd modeling and simulation. *Cybernetics Syst.* 38, 7, 729–753.
- [BAT2003] BATTY, M., DESYLLAS, J., AND DUXBURY, E. 2003. The discrete dynamics of small-scale spatial events: Agent-based models of mobility in carnivals and street parades. *Int. J. Geograph. Inform. Science* 17, 7, 673–697.
- [BAT1994] J. Bates, “The role of emotion in believable agents,” *Communications of the ACM*, vol. 37, no. 7, pp. 122–125, 1994.
- [BUC2002] *Ingham Planning with the assistance of The Buchan Group (Brisbane)*; Report on shopping center design, prepared for The Shopping Centre Council of Australia. Australia. 2002.
- [CHE2004] CHENNEY, S. 2004. Flow tiles. In *Proceedings of the ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, 233–242.
- [CHO2002] E. Chown, R.M. Jones, and A. E. Henninger, “An architecture for emotional decision-making agents,” in *Proceedings of the 1st International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, pp. 352–353, July 2002.
- [CIL2012] Cil, I. *Consumption Universes Based Supermarket Layout Through Association Rule Mining and Multidimensional Scaling*. *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, pp. 8611–8625. USA. 2012.

- [CRW2009] CROWD DYNAMICS PTE LTD. 2009a. Crowd disasters. <http://www.crowddynamics.com/>. Ultimo acceso: 07/07/2015.
- [DAN2008] Daniel T. Tsoi, Kwang-Hyuk Lee, Waqqas A. Khokhar, Nusrat U. Mir, Jaspal S. Swalli, Kate A. Gee, Graham Pluck, Peter W.R. Woodruff. *Is facial emotion recognition impairment in schizophrenia identical for different emotions? A signal detection analysis*.
- [DAS2009] Dastani, M., Steunebrink, B.R., and Meyer, J.J.Ch. *The OCC Model Revisited*. In D. Reichardt (Ed.), *Proceedings of the 4th Workshop on Emotion and Computing - Current Research and Future Impact*. Paderborn, Alemania. 2009.
- [DEF2006] DEFFUANT, G. 2006. Comparing extremism propagation patterns in continuous opinion models. *J. Artif. Societies Social Simul.* 9, 3.
- [DER2015] Derakhshan, A., Wong, K.Y. *Solving unequal-area static and dynamic facility layout problems using modified particle swarm optimization*. *Journal of Intelligent Manufacturing*. USA. 2015.
- [EPS1996] Epstein, J.M., R. Axtell. *Growing artificial societies: social science from the bottom up*. Complex adaptive systems. 1996, Washington, D.C.: Brookings Institution Press.
- [EPS1970] Epstein, S. *Anxiety, Reality and Schizophrenia*. USA. 1970.
- [GRA2004] Gratch, J., Marsella, S.: A domain-independent framework for modeling emotions. *Journal of Cognitive Systems Research* 5(4) (2004) 269–306
- [GRA2000] Gratch, J. "Modeling the interplay between emotion and decision making," in *Proceedings of the 9th Conference on Computer Generated Forces and Behavioral Representation*, 2000.
- [GON2011] González, Alejandra. "Agentes BDI Híbridos en Implementación de Dominio". Tesis de Grado de Doctorado. Universidad Javeriana. Colombia. 2011.
- [HAR2003] Harwick, J. *Mall Maker: Victor Gruen, Architect of an American Dream*. University of Pennsylvania Press. Libro. USA. 2003.
- [GIL1996] Gilbert, N., K.G. Troitzsch. *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press. Buckingham, U.K.1996
- [HEL2000] HELBING, D., FARKAS, I., AND VICSEK, T. 2000. Simulating dynamical features of escape panic. *Letters to Nature* 407, 487–490.
- [HOL1998] Holland, J.H. *Emergence: from chaos to order*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley. USA. 1998

- [HUG2003] Hughes, R. L. *The flow of human crowds*. Ann. Rev. Fluid Mechanics 35, 169–182. UK. 2003
- [IZA2009] Izard, C.E. *Emotion theory and research: Highlights, unanswered questions, and emerging issues*. Annual Review of Psychology. USA. 2009.
- [JAM1884] James, W. *What is an Emotion?* Oxford University Press on behalf of the Mind Association. U.K. 1884.
- [JAM1996] Tompkins, J., White, J., Bozer, Y., Tanchoco, J. *Facilities Planning*, 2nd Edition, Ed. John Wiley and Sons Inc. USA. 1996.
- [JMG2000] J. M. George, “Emotions and leadership: the role of emotional intelligence,” Human Relations, vol. 53, no. 8, pp. 1027–1055, 2000.
- [JUN2006] Jun, Y., Min, Z., *Flow Capturing Location-allocation Problem with Piecewise Linear Value Time Function Based on Max-min Ant Colony Optimization*, International Conference on Computational Intelligence and Security. China. 2006.
- [JUN2011] Jun, H. Guan, C. *A Model of Emotional Agent Based on Granular Computing*. Seventh International Conference on Computational Intelligence and Security. USA. 2011.
- [KIS1998] KISKO, T. M., FRANCIS, R. L., AND NOBEL, C. R. 1998. Evacnet4 user’s guide. <http://www.ise.ufl.edu/kisko/files/evacnet/EVAC4UG.HTM>. Último acceso 23/08/2015.
- [KOC2010] Kocaili, B.E. *Evolution of shopping malls: recent trends and the question of regeneration*. School of Natural and Applied Sciences, Çankaya University. Turquía. 2010.
- [KOR2014] Korečko, S. , Herich, T., Sobota, B. *JBdiEmo – OCC Model Based Emotional Engine for Jadex BDI Agent System*. Department of Computers and Informatics. Faculty of Electrical Engineering and Informatics. Eslovaquia, 2014.
- [LOG2006] Logendran, R., Kriausakul, T. *A methodology for solving the unequal area facility layout problem using distance and shape-based measures*. International Journal of Production Research 44 (7), pp. 1243-1272. UK. 2006.
- [LUN2008] Luneski, A., Moore, R.K. *Affective computing and collaborative networks: Towards emotion-aware interaction*. IFIP International Federation for Information Processing 283, pp. 315-322. USA. 2008.
- [MAN1989] Mandler, G., McDowell A. *Constructions of emotion: Discrepancy, arousal, and mood*. Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers. USA. 1989.
- [MAR2007] K. A. Maria and R. A. Zitar, “Emotional agents: a modeling and an application,” Information and Software Technology, vol. 49, no. 7, pp. 695–716, 2007.

[MAS2015] MASSIVE SOFTWARE. 2015. Massive. <http://www.massivesoftware.com>. Último acceso: 13/10/2015.

[MCK2004] MCKENZIE, F. D., NGUYEN, Q.-A. H., AND PETTY, M. D. 2004. Crowd federate architecture and api design. In Proceedings of the Fall Simulation Interoperability Workshop. 574–587

[MEY2007] Meyer, J.-J.Ch., Steunebrink, B.R., Dastani, M.: *A logic of emotions for intelligent agents*. In: Proceedings of the 22nd Conference on Artificial Intelligence (AAAI'07), AAAI Press (2007)

[MOG2012] Moga, H., Sandu, F., Danciu G.M., Boboc, R. *Extended Control-Value Emotional Agent Based on Fuzzy Logic Approach*. Faculty of Electrical Engineering and Computer Science. Transilvania University, Brasov, Romania. 2012.

[MOR1988]

[MOR2002] Moretti, S. *Computer Simulation in Sociology: What Contribution?* Social Science Computer Review Vol. 20(1): p. 43-57. Italia. 2002.

[MOW1960] Mowrer, O. H. (1960). *Learning theory and behavior*. USA. 1960.

[MSE2000] M. S. El-Nasr, J. Yen, and T. R. Ioerger, "FLAME—a fuzzy logic adaptive model of emotions," *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, vol. 3, no. 3, pp. 219–257, 2000.

[MUS2001] MUSSE, S. R. AND THALMANN, D. 2001. Hierarchical model for real time simulation of virtual human crowds. *IEEE Trans. Visualiz. Comput. Graph.* 7, 2, 152–164.

[NAT2000] *What Makes for a Successful Shopping Centre Scheme?* National Retail Planning Forum. UK. 2000.

[NEN2012] Nenonen, S., Tytykoski, K. *Risk Assessment Method for Shopping Centres*. Advances in Safety, Reliability and Risk Management - Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL. UK. 2012

[NIS2008] Nissan E (2008a) Nested beliefs, goals, duties, and agents reasoning about their own or each other's body in the TIMUR model: a formalism for the narrative of Tamerlane and the three painters. *Journal of Robotic and Intelligent Robotic Systems* 52(3/4):515–582. paper's contents on pp 340–341

[ORT1988] Ortony, A., Clore, G.L., Collins, A.: *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 1988.

[PAN2005] PAN, X., HAN, C. S., AND LAW, K. H. 2005. A multi-agent based simulation framework for the study of human and social behavior in egress analysis. In Proceedings of the International Conference on Computing in Civil Engineering. 12–15.

- [PAO2001] P. Paolo and T. Robert, "Emotions and agents," in *Mutli-Agents Systems and Applications*, 2001.
- [PAR2006] PARIS, S., DONIKIAN, S., AND BONVALET, N. 2006. Environmental abstraction and path planning techniques for realistic crowd simulation. *Computer Animat. Virtual Worlds* 17, 3-4, 325–335.
- [PEL2008] PELECHANO, N., ALLBECK, J. M., AND BADLER, N. I. 2008. *Virtual Crowds: Methods, Simulation, and Control*. Morgan & Claypool.
- [PIT2008] Pitt, M., Musa, Z.N. *Towards defining shopping centres and their management systems*. *Journal of Retail and Leisure Property*. 8 (1), pp. 39-55. UK. 2008.
- [PIT2005] Pitt, M. *Trends in shopping centre waste management*. The International Council of Shopping Centres (ICSC). *Shopping Center Definitions* pp 522 – 533. USA. 2005.
- [POE2002] M. Poel, R. Akker, A. Nijholt, and A. Kesteren, "Learning emotions in virtual environments," in *Proceedings of the 60th European Meeting on Cybernetics and System Research*, vol. 2, pp. 751–756, 2002.
- [PRE2015] PRESAGIS. 2015. Ai.implant. <http://www.presagis.com/products/simulation/aiimplant/>. Último acceso: 01/09/2015.
- [SAN2004] SANTOS, G. AND AGUIRRE, B. E. 2004. A critical review of emergency evacuation simulation models. In *Proceedings of the NIST Workshop on Building Occupant Movement during Fire Emergencies*. 25–50.
- [SPE1983] Spielberg CD. *State-Trait Anxiety Inventory. A comprehensive bibliography*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press. USA. 1983
- [SHA2005] SHAO, W. AND TERZOPOULOS, D. 2005b. Environmental modeling for autonomous virtual pedestrians. In *Proceedings of the SAE Symposium on Digital Human Modeling for Design and Engineering*. 420–433.
- [STE2010] Steunebrink, B.R. (2010). *The Logical Structure of Emotions*. Ph.D. thesis, Utrecht University, ISBN 978-90-393-5329-5. Holanda. 2010.
- [STE2009] Steunebrink, B.R., Dastani, M.M. *Modularity in BDI-based Agent Programming Languages*. In *Proceedings of the International Conference on Intelligent Agent Technology*. Milan, Italia. 2009.
- [SUL2011] Sullivan, R. *Words Inherently Limit the Accuracy of Human Information-Processing*. *Journal of Engineering and Technology* Vol.2, No.1. 2011.

[SUN2004] SUNG, M.,GLEICHER, M., AND CHENNEY, S. 2004. Scalable behaviors for crowd simulation. *Comput. Graph. Forum* 23, 3, 519–528.

[TYL1997] T. Y. Lin, “Granular computing,” in *Announcement of the BISC Special Interest Group on Granular Computing*, 1997.

[USH1998] H. Ushida, Y. Hirayama, and H. Nakajima, “Emotion model for life-like agent and its evaluation,” in *Proceedings of the 15th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI/IAAI '98)*, pp. 62–69, July 1998.

[XIA2014] Xiao, Q., Ding, G., Liu, Y. *An emotional model based on multiple factors*. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 250, pp. 43-53. UK. 2014.

[YEN2000] Yen, J., El-Nasr, M.S. “*FLAME a fuzzy logic adaptive model of emotions*”. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. USA. 2000.

[YER2009] YERSIN, B., PETTRE, J., AND THALMANN, D. 2009. Crowd patches: Populating large-scale virtual environments for real-time applications. In *Proceedings of the ACM/SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D graphics and games (I3D'09)*. 207–214.

[ZHO2010] Zhou, S., Chen, D., Cai, W., Luo, L., Low, M., Tian, F., Tay, V. Ong, D.W.S., Hamilton, B.D. *Crowd Modeling and Simulation Technologies*. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*. Singapore. 2010.