

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

TÉSIS DE MAESTRÍA

---

**Modelamiento y Simulación de la Adopción  
Tecnológica de Consumidores Heterogéneos  
en una Red Social Dinámica**

---

*Autor:*

Daniel A. SOTO FORERO, Ing.

*Director:*

Fernando CEBALLOS, Ph.D.  
Germán SÁNCHEZ, Ph.D.

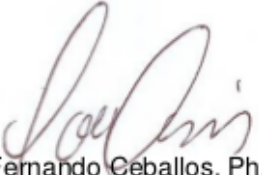
*Un trabajo de investigación presentado en cumplimiento de los requisitos  
para el grado de Master of Science*

*en*

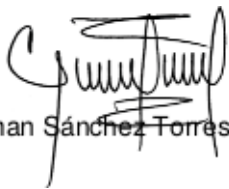
Ingeniería y Software  
Departamento de Ingeniería  
Universidad de Antioquia

25 de julio de 2017

Este trabajo ha sido leído y aprobado por los directores:



Fernando Ceballos. Ph.D.  
Tutor



German Sánchez Torres. Ph.D.

*«Todo lo complejo puede dividirse en partes simples»*

Rene Descartes

*«A partir de cierto punto en adelante no hay regreso. Es el punto que hay que alcanzar»*

Franz Kafka

*«El hombre se descubre cuando se mide con un obstáculo»*

Antoine de Saint-Exupéry

Universidad de Antioquia

## *Resumen*

Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería  
Universidad de Antioquia

Master of Science

### **Modelamiento y Simulación de la Adopción Tecnológica de Consumidores Heterogéneos en una Red Social Dinámica**

por Daniel A. SOTO FORERO, Ing.

Los inconvenientes al momento de estudiar problemas como concebir un nuevo producto; definir una estrategia efectiva de inversión en el mundo económico; optimizar el proceso de vacunación en una comunidad, con el fin de evitar una epidemia, entre otros; se asocian a que dichos problemas presentan un comportamiento estocástico, existen situaciones emergentes y es difícil reconocer patrones sin repetir el proceso muchas veces, además experimentar directamente en el mundo real puede costar mucho económicamente y en algunos casos implica riesgos altos; es por ello que se hace necesario el uso de la simulación.

Los actores que hacen parte de estos problemas constituyen redes sociales que representan las múltiples interacciones entre ellos. En estas redes sociales, los modelos basados en agentes y los sistemas multiagentes han permitido el descubrimiento de patrones de comportamiento, evolución de interacciones, formación de grupos o comunidades, e incluso se pueden llegar a predecir algunas situaciones del mundo real.

En este trabajo de investigación, se pretende implementar la simulación de una red social de consumidores utilizando modelos basado en agentes, razonamiento basado en lógica difusa para representar los niveles de preferencias y diversos modelos de redes que representan la interacción entre los agentes. Se espera que la simulación propuesta permita reconocer patrones globales de comportamiento de los consumidores en una red social dinámica, además identificar algunos de los factores relevantes al momento de la toma de decisiones.

## *Agradecimientos*

Agradezco a todos aquellos que hicieron posible este trabajo colaborando de alguna manera.

# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>III</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>IV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. La difusión/adopción y los modelos de simulación . . . . .	2
<b>2. Descripción del problema</b>	<b>4</b>
2.1. Pregunta de investigación . . . . .	5
2.2. Objetivos . . . . .	5
2.2.1. Objetivo general . . . . .	5
2.2.2. Objetivos específicos . . . . .	5
<b>3. Metodología</b>	<b>6</b>
<b>4. Cómo los individuos se relacionan y adoptan tecnología</b>	<b>8</b>
4.1. Racionalidad limitada . . . . .	9
4.2. Regulación social . . . . .	10
4.3. Jerarquía de las necesidades humanas . . . . .	10
4.4. Comportamiento irracional . . . . .	10
4.5. Modelos de adopción/difusión . . . . .	11
4.5.1. Modelo de Rogers . . . . .	11
4.5.2. El modelo de Bass . . . . .	12
4.5.3. Modelos centrados en los individuos . . . . .	12
4.5.4. Modelo epidémico de transmisión de la información . . . . .	13
4.6. Modelos basados en agentes . . . . .	13
4.6.1. Agentes . . . . .	14
4.6.2. Sistema multiagente . . . . .	15
4.6.3. Niveles de organización . . . . .	15
4.7. Lógica difusa . . . . .	17
4.7.1. Funciones de pertenencia . . . . .	18
4.7.2. Reglas . . . . .	19
4.7.3. Modelo Mamdani . . . . .	20
4.8. Consumat II . . . . .	20
4.8.1. Conceptos asociados a Consumat . . . . .	20
4.8.2. Necesidades . . . . .	21
4.8.3. Estrategias de decisión . . . . .	21
4.8.4. Personalidad . . . . .	22
4.8.5. Otros conceptos . . . . .	22

4.9. Redes sociales . . . . .	23
4.9.1. Concepto de vecindad . . . . .	24
4.9.2. Topologías . . . . .	24
4.9.3. Dinámica de las redes sociales . . . . .	25
Formación de enlaces . . . . .	26
4.9.4. Difusión de innovaciones en redes sociales . . . . .	26
4.9.5. Adopción de innovaciones en redes sociales . . . . .	26
4.9.6. Redes sociales estocásticas . . . . .	27
4.10. Credibilidad y confianza . . . . .	27
4.11. Modelos de propagación . . . . .	27
4.12. Simulación de toma de decisiones y adopción . . . . .	29
4.13. Limitaciones de los modelos descritos . . . . .	32
<b>5. Modelo propuesto</b>	<b>33</b>
5.1. Supuestos de modelo . . . . .	33
5.2. Componentes . . . . .	33
5.3. Variables . . . . .	34
5.4. Parámetros del modelo . . . . .	35
5.5. Ecuaciones de modelo . . . . .	37
5.5.1. Indagación . . . . .	40
5.5.2. Optimización . . . . .	41
5.5.3. Imitación . . . . .	41
5.5.4. Repetición . . . . .	42
5.6. Definición de las reglas difusas . . . . .	43
5.7. Implementación del modelo propuesto . . . . .	44
<b>6. Resultados</b>	<b>46</b>
6.1. Análisis principal de componentes (APC) . . . . .	56
6.2. Análisis de sensibilidad . . . . .	59
6.3. Escenarios . . . . .	67
<b>7. Conclusiones</b>	<b>76</b>
<b>A. Especificación de las reglas difusas</b>	<b>78</b>
A.1. Caso de teléfonos móviles inteligentes . . . . .	78
A.2. Caso de automóviles . . . . .	81
<b>B. Especificación de las funciones de pertenencia</b>	<b>84</b>
B.1. Funciones de pertenencia para el escenario 1 (teléfonos móviles inteligentes) . . . . .	84
B.2. Funciones de pertenencia para el escenario 1 (automóviles) . . . . .	85
B.3. Funciones de pertenencia para el escenario 2 (teléfonos móviles inteligentes) . . . . .	87
<b>Bibliografía</b>	<b>89</b>

# Índice de figuras

4.1. Modelo teórico tradicional de adopción de consumidores (Adaptado de (Zhang, 2007)) . . . . .	9
4.2. Difusión de innovaciones durante diferentes momentos del proceso (Curva amarilla), diferentes categorías de adoptadores (Curva azul)(Adaptado de (Kangur, 2014)) . . . . .	12
4.3. Niveles de los sistemas multiagentes (Adaptado de (Kiesling y col., 2011))	16
4.4. Jerarquía de los sistemas multiagentes con relaciones locales (Adaptado de (Boussard, 2008)) . . . . .	16
4.5. Función de pertenencia triangular . . . . .	18
4.6. Función de pertenencia trapezoidal . . . . .	19
4.7. Función de pertenencia gaussiana . . . . .	19
4.8. Método de inferencia Mamdani (Adaptado de (Ross, 2010)) . . . . .	21
4.9. Estructura del Consumat (Adaptado de (Jager, 2000)) . . . . .	23
4.10. Topologías de Red. a) Red aleatoria, b) Red regular, c) Red pequeño mundo, d) Red escala libre (Adaptado de (Cho, 2015)) . . . . .	25
5.1. Gráfico de la red social especificada en la tabla 5.4 . . . . .	36
5.2. Flujo del modelo propuesto . . . . .	43
5.3. Esquema de definición de bloques de reglas . . . . .	44
5.4. Diagrama de clases UML de la implementación del modelo . . . . .	45
6.1. Evolución de incertidumbre y satisfacción global de los individuos (1 ejecución, TMI) . . . . .	49
6.2. Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (12 ejecuciones, TMI) . . . . .	49
6.3. Variabilidad de total compradores (12 ejecuciones, TMI) . . . . .	50
6.4. Ventas trimestrales por marca (12 ejecuciones, TMI) . . . . .	50
6.5. Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (12 ejecuciones, A) . . . . .	51
6.6. Variabilidad de total compradores (12 ejecuciones, A) . . . . .	52
6.7. Ventas trimestrales por marca (12 ejecuciones, A) . . . . .	52
6.8. Ventas diarias por producto (1 ejecución, TMI) . . . . .	53
6.9. Propagación de la preferencia de productos (1 ejecución, TMI) . . . . .	53
6.10. Evolución de las preferencias por características (1 ejecución, TMI) . . . . .	54
6.11. Evolución de los estados de los individuos (1 ejecución, TMI) . . . . .	55
6.12. Curvas de preferencias según las reglas difusas definidas . . . . .	55
6.13. Varianza explicada de las características de los productos . . . . .	58
6.14. Proyección sobre los tres primeros componentes principales (Análisis APC)	58
6.15. Variabilidad de total compradores (Prueba de sensibilidad 1) . . . . .	60



6.16. Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Prueba de sensibilidad 1) . . . . .	61
6.17. Ventas trimestrales por marca (Prueba de sensibilidad 1) . . . . .	61
6.18. Variabilidad de total compradores (Prueba de sensibilidad 2) . . . . .	62
6.19. Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Prueba de sensibilidad 2) . . . . .	62
6.20. Ventas trimestrales por marca (Prueba de sensibilidad 2) . . . . .	63
6.21. Variabilidad de total compradores (Prueba de sensibilidad 3) . . . . .	64
6.22. Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Prueba de sensibilidad 3) . . . . .	64
6.23. Ventas trimestrales por marca (Prueba de sensibilidad 3) . . . . .	65
6.24. Variabilidad de total compradores (Prueba de sensibilidad 4) . . . . .	66
6.25. Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Prueba de sensibilidad 4) . . . . .	66
6.26. Ventas trimestrales por marca (Prueba de sensibilidad 4) . . . . .	67
6.27. Variabilidad del total de compradores (Escenario 2) . . . . .	69
6.28. Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Escenario 2) . . . . .	69
6.29. Ventas trimestrales por marca (Escenario 2) . . . . .	70
6.30. Variabilidad del total de compradores (Escenario 3) . . . . .	70
6.31. Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Escenario 3) . . . . .	71
6.32. Ventas trimestrales por marca (Escenario 3) . . . . .	71
6.33. Variabilidad del total de compradores (Escenario 4) . . . . .	72
6.34. Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Escenario 4) . . . . .	72
6.35. Ventas trimestrales por marca (Escenario 4) . . . . .	73
6.36. Variabilidad del total de compradores (Escenario 5) . . . . .	73
6.37. Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Escenario 5) . . . . .	74
6.38. Ventas trimestrales por marca (Escenario 5) . . . . .	74
6.39. Red de escala libre que representa el estado de 100 agentes consumidores (Blanco-Compradores, Rojo-Indagación, Azul-Imitación, Verde-Optimización) . . . . .	75

# Índice de tablas

4.1. Características de técnicas de simulación . . . . .	14
4.2. Estrategias de decisión (Adaptado de (Kangur, 2014)) . . . . .	22
4.3. Trabajos de modelos de propagación . . . . .	28
4.4. Trabajos de simulación de adopción y toma de decisiones . . . . .	29
5.1. Tabla de propiedades de los individuos . . . . .	34
5.2. Tabla de propiedades de los productos (Teléfonos móviles inteligentes) . .	35
5.3. Tabla de propiedades de los productos (Automóviles) . . . . .	35
5.4. Ejemplo de red social . . . . .	35
5.5. Ejemplo de base de conocimiento . . . . .	36
5.6. Parámetros del modelo propuesto . . . . .	38
6.1. Parámetros usados para el escenario 1 (Escenario de base, TMI y A) . . . .	47
6.2. Parámetros de productos para el escenario 1 (Escenario de base, TMI) . . .	47
6.3. Parámetros de productos para el escenario 1 (Escenario de base, A) . . . .	48
6.4. Variación de parámetros para análisis de sensibilidad . . . . .	59
6.5. Parámetros usados para los escenarios . . . . .	68

## Capítulo 1

# Introducción

*“En el fondo, se sabe cuando poco se sabe;  
con el saber la duda crece”.*  
Johann Wolfgang von Goethe

*“Una palabra bien elegida puede economizar  
no sólo cien palabras sino cien pensamientos”.*  
Henri Poincaré

El estudio de la realidad mediante el proceso de modelado y simulación se ha venido realizando por las ciencias experimentales desde hace siglos. Se pueden citar sus comienzos con las ecuaciones diferenciales en el siglo XVIII, y algo más tarde con los procesos estocásticos. Pero los modelos directamente relacionados con las simulaciones actuales no surgen hasta la primera mitad del siglo XX con la teoría de juegos, área de la matemática aplicada que utiliza modelos para estudiar interacciones en estructuras formalizadas de incentivos y llevar a cabo procesos de decisión (Arroyo y Hassan, 2007).

A partir de los años 70 se desarrolla la simulación computacional tomando como base los principios enunciados por Jay Forrester, en los años 80 áreas como la ingeniería y ciencias como la física y la química utilizan extensivamente los modelos computacionales, no es sino a partir de finales de los años 90 que los modelos computacionales se empiezan a difundir en las ciencias humanas y sociales con contribuciones representativas como las de Epstein, Axtell, Gilbert y Troitzsch, entre otros (Varenne, 2010). Desde la perspectiva de las ciencias humanas y sociales el interés se centra en la evaluación de los comportamientos con el fin de comprender al ser humano. Esto corresponde a las acciones observables de un individuo, es decir, su capacidad de interactuar en el ambiente exterior. La complejidad del comportamiento de un individuo está dada por la variabilidad individual y ésta depende de sus preferencias, sus deseos, sus motivaciones, sus afectos, sus pensamientos y sus creencias, no obstante, este comportamiento no es necesariamente racional y algunas veces es difícilmente explicable (Darty, 2015).

En el trabajo de Schoenmacker, 2014 se resalta que estudiar el comportamiento del consumidor es estudiar la psicología de la persona, así como el comportamiento grupal, los aspectos sociales de las dinámicas humanas y cómo estas se combinan en los procesos de toma de decisiones. Además, se evidencia que el comportamiento de los consumidores es de interés para las empresas que tratan de promover y vender sus

productos, porque permite determinar un esquema de precios que maximice los beneficios, determinar estrategias para la introducción efectiva de un nuevo producto, etc.

Es por ello que la simulación social se ha establecido como una nueva disciplina que intenta reproducir los fenómenos sociales macroscópicos a través de la informática, utilizando una descripción microscópica de los mecanismos y de las interacciones a nivel individual y basándose en los sistemas multiagentes que permiten simular entidades individuales dotadas de atributos y mecanismos personales así como las interacciones entre dichas entidades (Brousmitche, 2015).

## 1.1. La difusión/adopción y los modelos de simulación

La adopción es un proceso basado en una secuencia de decisiones que los individuos toman para decidir si usan o rechazan una innovación (Gatignon y Robertson, 1991). Rogers, 1995 define la innovación como toda idea nueva (producto, idea, concepto) que se pretende sea adoptado por una comunidad, y señala que la adopción de una innovación no ocurre al mismo tiempo en todos, algunos la adoptan rápidamente, otros son más rezagados y también están los desconfiados que no la adoptarán nunca; también define el proceso de difusión como aquel que permite la transmisión de una innovación por canales determinados entre los miembros de una sociedad. Según Alaminos, 2005, la progresiva adopción de la innovación constituye el fenómeno de difusión.

Para modelar y simular un fenómeno social de difusión/adopción, como indica Gazquez, 2007, dicho modelo debe considerar el comportamiento heterogéneo de los consumidores, así como la percepción, la variabilidad en las preferencias y la sensibilidad a las variables con respecto productos del mercado.

El interés particular del estudio de la adopción tecnológica se presenta porque, además de poder conocer los factores que influyen en el proceso de toma de decisiones de los consumidores, se puede ver cómo la sociedad en general se adapta a la tecnología, se apropia de ella y comprende cuales son las características específicas que le proporcionan beneficios en función de sus necesidades.

En este trabajo se consideran dos casos; los teléfonos móviles inteligentes, porque es un caso representativo, porque su adopción crece rápidamente, solo en el año 2014 el índice de adopción global estuvo por encima del 24 % (Heimerl y Menon, 2015), el caso particular de Corea muestra un incremento de adopción de un poco más del 60 % en 4 años (2010-2014)(Lee, 2016). Además, han revolucionado la forma como los individuos usan y consumen tecnología y han sustituido otros dispositivos electrónicos lo cual afecta de manera significativa el mercado tecnológico.

El caso de los automóviles, también es un caso representativo en el mercado mundial a pesar de su variabilidad; en China las ventas han aumentado en 10 % en 2014; el crecimiento en Europa es de 5 %, pero se espera que continúe creciendo y en Estados Unidos es de 4 %. Además, los analistas consideran que los automóviles son sinónimo

de progreso y juegan un papel determinante en la sociedad, por lo cual la industria automotriz es dinámica (Subran, 2014).

El modelo propuesto presenta una red social de consumidores utilizando como base los modelos basados en agentes, el razonamiento individual basado en lógica difusa para representar las preferencias, así como varios modelos de redes que representan la interacción entre los agentes. Con este modelo se espera reconocer patrones globales de comportamiento de los consumidores en una red social, identificar algunos de los factores más importantes al momento de la toma de decisiones y caracterizar los posibles efectos emergentes.

El documento está estructurado de la siguiente manera: el capítulo 2 presenta una descripción detallada del problema de modelamiento y simulación de consumidores en una red social, aparecen las preguntas de investigación y los objetivos asociados. En el capítulo 3 se describe la metodología que se ha seguido para el desarrollo del trabajo de investigación. En el capítulo 4 se describen las teorías y los conceptos que se han utilizado para caracterizar los comportamientos de los consumidores y las relaciones que establecen entre ellos al momento de evaluar y adoptar productos tecnológicos; así como las técnicas usadas para modelar y simular los fenómenos sociales desde una perspectiva *bottom-up* partiendo desde el nivel micro, es decir a partir de los comportamientos individuales hasta obtener los comportamientos globales del grupo social; allí también aparece el Estado del Arte, que describe el trabajo de varios autores en relación con los modelos de propagación, la toma de decisiones y adopción. El capítulo 5 muestra en detalle el modelo de consumidores propuesto, desde los supuestos, pasando por las variables, los componentes, las ecuaciones, el flujo, las reglas definidas y la estructura de la implementación. El capítulo 6 se enfoca en los resultados obtenidos de la simulación sobre un escenario base y el análisis de dichos resultados; también presenta la validación de los resultados desde el punto de vista teórico y desde el comparativo con datos del mundo real; además especifica algunos escenarios alternativos que se han definido y muestra los resultados obtenidos con cada uno de ellos. Finalmente, el capítulo 7 contiene las conclusiones del trabajo realizado y presenta los aportes realizados en este trabajo.

## Capítulo 2

# Descripción del problema

*“El hombre debe descubrir sus propias leyes,  
con lo cual después puede hacer algo”.*  
Iván Mándy

*“El pensamiento es sólo un relámpago en medio de la noche,  
pero ese relámpago lo es todo”.*  
Henri Poincaré

La principal diferencia de los sistemas sociales respecto a otros sistemas, es que ellos están compuestos de agentes activos, que realizan actividades específicas de acuerdo con el cumplimiento de sus decisiones y tienen la capacidad de reflexionar sobre sus acciones y la acción de los otros sujetos. La capacidad que poseen los sujetos a un cambio en la estrategia y la táctica de sus actividades sobre la base de la reflexión sin una relación directa con respecto a las condiciones externas hace que el sistema social se torne internamente inestable. La inestabilidad se agrava por el hecho de que los sujetos como regla general no coinciden, y a menudo persiguen objetivos opuestos (Petukhov, 2015).

De la misma manera, Amblard, 2010 indica que los sistemas sociales están compuestos de entidades heterogéneas, cuya racionalidad es limitada y cuyas interacciones pueden ser directas o indirectas. Estos sistemas se clasifican dentro de los sistemas complejos (Delli, 2015) y por la descripción de Camus, 2015, se caracterizan porque son difíciles de comprender, pueden presentar un comportamiento caótico con lo cual son difícilmente predecibles, ya que están compuestos por múltiples entidades heterogéneas y diversas interacciones, entonces son difíciles de describir. Para estudiar estos sistemas es necesario disponer de herramientas y métodos que permitan ver sus propiedades principales y comprender los mecanismos subyacentes productores de las regularidades observadas en ciertos fenómenos colectivos.

En el caso de los consumidores, los problemas se relacionan con las necesidades específicas de los individuos y cómo ellos toman decisiones a partir de la información incompleta que poseen, así como en qué casos se producen comportamientos irracionales, además ellos se encuentran conectados e intercambian información a través de una red social que constituye en conjunto un sistema social (Kangur, 2014).

Por tanto; el problema es, dada la cantidad de variables, las condiciones externas, la

inestabilidad global, la variabilidad, la heterogeneidad y las interacciones; cómo se podría lograr una simulación que permita identificar los aspectos más relevantes del proceso cognitivo de los consumidores y también la dinámica implícita en el proceso.

## **2.1. Pregunta de investigación**

¿Cómo representar los comportamientos de los agentes consumidores que adoptan nueva tecnología y están parcialmente conectados, considerando la toma de decisiones individuales y las influencias sociales?

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo general**

- Modelar y simular la adopción tecnológica de consumidores heterogéneos en una red social dinámica para caracterizar el proceso cognitivo y la influencia de las relaciones sociales en la adopción tecnológica.

### **2.2.2. Objetivos específicos**

- Identificar los factores que intervienen en el proceso de toma de decisiones de los individuos que pertenecen a una red social de consumidores.
- Formular un modelo para el proceso de toma de decisiones de cada consumidor.
- Modelar las interacciones dinámicas entre los individuos que pertenecen a la red social.
- Validar el modelo elaborado a través del análisis de los datos obtenidos con la implementación y ejecución de la simulación realizada.
- Identificar las diferentes variables que hacen parte de los escenarios que permiten modificar el entorno en donde se desenvuelven los consumidores.

## Capítulo 3

# Metodología

*“Ningún árbol crece en un día,  
ninguno cae con el primer golpe”.*  
Jacob Cats

La primera fase es un proceso de revisión de la literatura con la cual se obtiene información para la construcción del marco teórico y estado del arte, los temas definidos son: modelos basados en agentes, lógica difusa, racionalidad limitada, simulación de redes sociales, toma de decisiones y Consumat II. Los modelos orientados a agentes han sido propuestos para el estudio propio de las redes sociales. Ellos estudian la propagación de la información en un sistema social, la presión social e incluso la dinámica de opiniones. El modelo Consumat ofrece un *framework* de simulación que captura algunos de los más importantes principios discutidos en la literatura acerca del comportamiento de los consumidores.

La metodología que se va a usar es la propuesta en (Rouse, 2015), que consiste en 10 pasos secuenciales, los primeros cuatro pasos se enfocan en la formulación del problema:

El primer paso es decidir las preguntas centrales de interés. Un modelo provee un medio para responder preguntas, generalmente los modelos socio-técnicos están diseñados para responder las preguntas de aquellos que toman decisiones acerca de las políticas, estrategia u operaciones que puedan realizar. El objetivo del primer paso es establecer claramente los objetivos del modelo que se va a desarrollar para evitar fallos en cuanto a los resultados esperados.

El segundo paso consiste en definir los fenómenos que subyacen a las preguntas de interés. Dado que las variables asociadas con las preguntas de interés involucran varios fenómenos, el objetivo de este paso es definir los fenómenos asociados y encontrar teorías maduras que permitan su descripción, con lo cual se puede alimentar el modelo.

En el paso tres, se desarrolla una o más visualizaciones de relaciones entre los fenómenos; es decir describir los fenómenos en términos de entradas, salidas y conexiones con los otros fenómenos identificados en el paso dos.

Como cuarto paso, se determinan las concesiones mutuas (*trade-off*) que aparecen en



los fenómenos para justificar una profunda exploración. En algunos casos las teorías seleccionadas para representar los fenómenos presentan diferencias en cuanto al nivel de detalle, en tales situaciones se debe definir el alcance global del modelo.

Luego en el quinto paso, se identifican las representaciones alternativas de los fenómenos. En este paso se seleccionan y diseñan las estructuras que permiten la representación de los fenómenos y el conjunto macro del modelo.

El paso seis es para evaluar la posibilidad de conectar las representaciones alternativas. Para las representaciones de diferentes niveles se evalúa la conexión del flujo de datos entre los niveles que componen el modelo.

Determinar un conjunto coherente de hipótesis corresponde al paso siete. A partir de la representación y las conexiones, se determina la o las hipótesis que pueden ser demostradas de manera coherente con el modelo realizado.

El paso ocho identifica el conjunto de datos que apoyan la parametrización. Aquí se busca un conjunto de datos que permite calibrar los parámetros del modelo, no necesariamente deben ser los datos específicos de lo que se está modelando.

En el noveno paso se procede a programar y verificar el cálculo de las instancias. En este paso se confirma que la implementación realizada cumple con lo que se ha diseñado, esto se realiza ejecutando pruebas unitarias sobre los módulos y sobre los valores de las variables.

El paso diez es donde se validan las predicciones del modelo con respecto a una línea base de datos. Si el modelo requiere validación, se puede buscar información detallada sobre el fenómeno estudiado y comparar los resultados obtenidos con los datos; pero esta es una etapa complicada, por lo cual es posible hacer una verificación débil explorando las posibilidades sobre el modelo mismo y con datos empíricos.

En el caso que se va a abordar, la metodología se aplica de la siguiente manera; en el primer paso se define el problema tal como aparece en el capítulo 2; en el segundo, las teorías útiles para cada uno de los módulos que componen el modelo diseñado (capítulo 4); el tercer paso define las variables, entidades, influencias externas, para cada uno de los niveles micro, meso y macro (variables de agente, módulo de decisión, variables de producto, variables de vecindad y variables de red) (capítulo 5); el cuarto y quinto pasos consideran el diseño de la estructura global de la implementación (capítulo 5); el sexto paso define el ensamble de las estructuras definidas de acuerdo con los objetivos (capítulo 5); el paso siete determina una hipótesis sobre el modelo y los resultados obtenidos, generalmente se aplica el análisis de sensibilidad (capítulo 6); el paso ocho es para configurar conjuntos de parámetros para los diferentes escenarios diseñados, variando la inicialización de parámetros como: ambición, incertidumbre, variabilidad de conceptos difusos e incluso la topología de la vecindad (capítulo 6); en el paso nueve, se debe verificar la consistencia de la implementación y obtener datos reales que puedan servir para contrastar los resultados obtenidos (capítulo 6); finalmente, en el paso diez, se analizan los resultados obtenidos (capítulo 6).

## Capítulo 4

# Cómo los individuos se relacionan y adoptan tecnología

*“El hombre no es otra cosa que la serie de sus actos”.*  
Georg Wilhelm Friedrich Hegel

El comportamiento humano es un fenómeno complejo por la diversidad que implica, modelar dicho comportamiento requiere considerar múltiples variables. Si además se pretende modelar un sistema social compuesto por varios individuos, entonces se habla de un sistema complejo, que está definido como un conjunto de entidades en interacción, lo cual impide al observador prever su evolución o comportamiento a través del cálculo. La dinámica de la actividad humana depende de las características de cada individuo, la percepción que tiene cada uno de ellos del mundo y las interacciones entre ellos y el entorno. Además, los individuos cambian de comportamiento en función de su historia personal, su cultura, sus emociones, etc (Huraux, 2015).

Los sistemas sociales que modelan comportamientos y adopción de productos contienen componentes esenciales ya identificados, entre ellos se encuentra el módulo de toma de decisiones en el cual se especifican las características, los comportamientos y actitudes que puede considerar y evaluar un individuo según el contexto en el que se encuentra (Thiriot, 2009).

Una teoría ampliamente utilizada en economía es la teoría de la elección racional, y es así por dos razones: primero porque prima el interés personal y segundo, los comportamientos no racionales tienen fuertes consecuencias. El comportamiento racional se asocia con el principio de la maximización de la utilidad esperada que considera que el individuo es racional y realizará la misma evaluación independientemente del contexto, siempre con el fin de maximizar el valor que recibirá. A cada producto se asocia un valor que depende del producto en sí mismo y de sus características, excluyendo factores externos adicionales (Jongmans, 2014).

Más allá de la toma de decisiones, en el caso de un sistema social de consumidores se habla del proceso de adopción (El modelo teórico de adopción de consumidores puede verse en la figura 4.1), que es un proceso cognitivo complejo que requiere percepción, aprendizaje y procesamiento de información. Los consumidores intentan elegir un comportamiento en función del esfuerzo realizado y el rendimiento obtenido (Zhang,

2007) y ya que las capacidades de evaluación tienen límites y el esfuerzo realizado no puede ser infinito, se introduce el concepto de racionalidad limitada.

#### 4.1. Racionalidad limitada

El concepto de racionalidad limitada fue introducido por Simon, 1955 y considera que el actor social tiene un comportamiento racional, pero su racionalidad está limitada en términos de capacidad cognitiva e información disponible. Para el actor social es difícil estimar las consecuencias de sus acciones. Según esta hipótesis, el comportamiento de un actor no consiste en optimizar sus decisiones en función de sus aspiraciones, sino seleccionar la primera solución que él encuentra satisfactoria en su situación concreta, evitando consumir tiempo y energía efectuando una elección (Sibertin y Roggero, 2013).

La racionalidad limitada depende de tres conceptos: la imperfección de la información, la dificultad de la anticipación y el número limitado de comportamientos que se pueden considerar (El-Gemayel, 2013).

Basado en el concepto de racionalidad limitada, el comportamiento de un actor social sigue un ciclo de tres operaciones: percepción, decisión y ejecución. La percepción consiste en obtener información sobre su propia situación y el contexto. La decisión busca encontrar las acciones que puede considerar, evaluarlas y seleccionar aquella que le parece más deseable en la situación en que se encuentra y en función de sus objetivos. La ejecución que consiste en llevar a cabo la acción previamente seleccionada, en la medida en que dicha acción sea realizable (El-Gemayel, 2013).

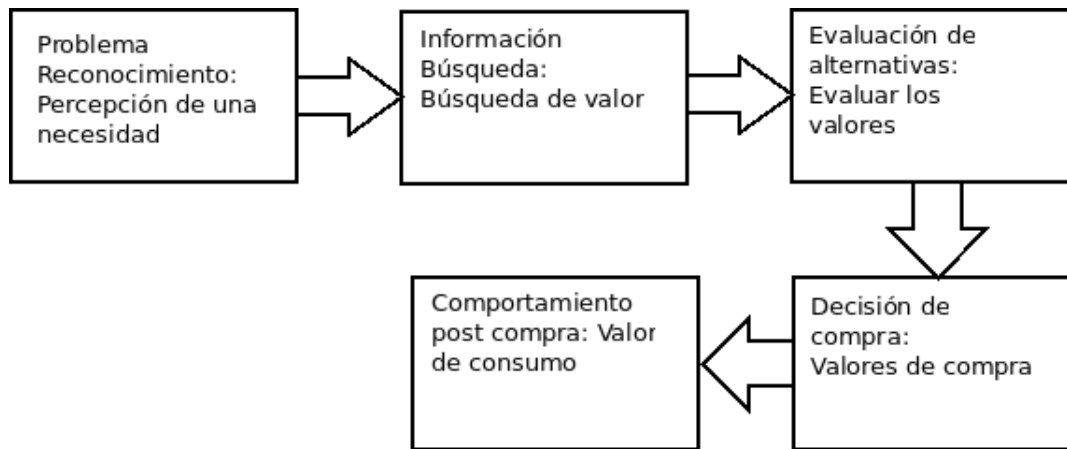


FIGURA 4.1: Modelo teórico tradicional de adopción de consumidores (Adaptado de (Zhang, 2007))

## 4.2. Regulación social

Los individuos tienden a maximizar sus intereses sociológicos por la necesidad de pertenecer a un grupo y ser reconocidos por sus pares. Lo cual influye de manera convergente o divergente en el comportamiento de los agentes. A nivel colectivo, las redes sociales densas generan fenómenos culturales de retribución simbólica y estatutaria ligadas al reconocimiento de los otros miembros del grupo. La racionalidad de los agentes los lleva a un control social de las interacciones con los otros miembros de la comunidad (Ferrary, 2010).

Las señales sociales se refieren a la información social que un individuo infiere de la adopción de una innovación por otros, de manera que estas señales contienen información sobre las consecuencias sociales de adoptar el producto, es decir lo que se conoce como el riesgo social de la adopción. Las señales sociales pueden operar de dos formas: verticalmente, indicando el estatus del adoptador y horizontalmente, cuando indica la identidad de un grupo (Cadavid, 2015).

## 4.3. Jerarquía de las necesidades humanas

Es una teoría propuesta por Abraham Maslow en su obra *A theory of human motivation* de 1943, que se amplió en 1954 en la obra *Motivation and personality* (Maslow, 1954). Allí intenta clasificar las motivaciones humanas y comprender su incidencia sobre la conducta, donde se parte del supuesto que el ser humano actúa motivado por sus necesidades. A medida que un individuo satisface una necesidad, otra surge. Las necesidades no satisfechas son las que motivan el comportamiento de los individuos. La escala de las necesidades se describe como una pirámide de cinco niveles, en las que las necesidades primarias se encuentran en la base y las superiores en los niveles más altos, estos son (Morlán, 2010):

- Necesidades fisiológicas. Tienden a garantizar la supervivencia del individuo y de la especie.
- Necesidades de seguridad. Se refieren a la seguridad y a sentirse protegido.
- Necesidades sociales o de pertenencia. Están relacionadas con la naturaleza social, manifestar y recibir afecto en un grupo social.
- Necesidades de reconocimiento. Es la necesidad de estimación propia (autoestima) y por los demás (estatus social).
- Necesidades de autorrealización. Es la necesidad más elevada e intenta encontrar una justificación o un sentido a la vida mediante el desarrollo potencial de una actividad.

## 4.4. Comportamiento irracional

Es importante considerar el comportamiento irracional, ya que como evidencia (Darty, 2015), en primer lugar, los conocimientos de un ser humano pueden conducirlo

a comportamientos inesperados, de esa manera el hecho de tener como referencia al ser humano implica tener en cuenta numerosos comportamientos con fuerte variabilidad, en segundo lugar la personalidad y el estado mental influyen también sobre su comportamiento: la función de utilidad de una tarea difiere según los individuos y en tercer lugar, se debe notar que las emociones hacen parte del comportamiento, lo cual puede conllevar hacia la irracionalidad en sentido incoherente respecto a la meta que se quiere alcanzar. Además, los humanos pueden elegir no respetar ciertas reglas, es decir, pueden exhibir comportamientos no normativos.

Santos-Pinto, 2016 resalta que al momento de evaluar un producto, los individuos generalmente son influenciados por la presentación de los productos competidores; lo cual puede llevar a errores de evaluación por optimismo, exceso de confianza, subestimación de la probabilidad de los eventos, ambigüedades, falta de anticipación y por lo tanto a un comportamiento irracional.

Factores como búsqueda de facilidad, intereses opuestos y el tiempo intervienen en el proceso de toma de decisiones y por buscar facilidad o por falta de tiempo un individuo puede tomar una decisión sin haber obtenido toda la información necesaria o puede estar evaluando los productos sobre objetivos e intereses opuestos; además hay factores perturbadores como la moda; el contagio, que puede llevar a un comportamiento irracional colectivo; las emociones como, el entusiasmo, la admiración, la tensión, la rabia, etc o por el contacto social a la imitación (Mahboub, 2011). Todos estos factores tienen efectos diferentes en el proceso cognitivo y pueden llevar a un individuo o grupo de individuos a tomar una decisión errónea (Hoorebeke, 2013).

## 4.5. Modelos de adopción/difusión

El estudio de la difusión busca explicar la propagación modelando el ciclo de vida desde la perspectiva de las interacciones entre los consumidores y las comunicaciones y el estudio de la adopción busca explicar el proceso a través del cual un individuo toma la decisión de adoptar o no una innovación (Cadavid, 2015).

### 4.5.1. Modelo de Rogers

Rogers, 1995 ha identificado diferentes segmentos de consumidores llamados 'categorías de adoptadores', cada uno de ellos juega un papel importante en diferentes momentos del proceso de adopción. Los llamados innovadores (2.5% aproximadamente) y adoptadores tempranos (13.5% aproximadamente), son los primeros en obtener el nuevo producto. La primera mayoría (34% aproximadamente) y la mayoría tardía (34% aproximadamente) son los que siguen en el proceso de adopción y representan la mayoría de la población. Finalmente se encuentran los rezagados (16% aproximadamente) que son los últimos en adoptar el producto (Kangur, 2014).

### 4.5.2. El modelo de Bass

El modelo de Bass es el más conocido de los modelos de difusión de innovaciones, surge como una formalización del modelo de Rogers, que además resalta la existencia de dos fuerzas que conducen hacia la adopción: la innovación y la imitación. Lo que quiere decir que una parte de los individuos adoptan por presión social de aquellos que ya han adoptado y aquellos que adoptan de forma espontánea. La presión de imitación es proporcional a la cantidad de adoptantes, si el número de adoptantes es alto entonces el número de personas susceptibles de adoptar por presión social es elevado. El número de adoptantes espontáneos es elevado al comienzo, pero va disminuyendo con el paso del tiempo. (Thiriot, 2009). Cuando una innovación es introducida, la tasa de adopción se compone inicialmente por las personas que se enteran de la innovación por medio de fuentes externas, luego el número de adoptadores potenciales decrece mientras la cantidad de adoptadores aumenta. Finalmente, después de un cierto periodo este número decrece (Stermán, 2000). El modelo de Rogers y el modelo de Bass son complementarios y puede verse el efecto de los tipos de consumidores, los innovadores y la presión social en la figura 4.2. La difusión de la innovación describe una curva en forma de S, como una función sigmoideal que representa la forma como inicialmente los individuos adoptan la innovación progresivamente hasta saturar el mercado.

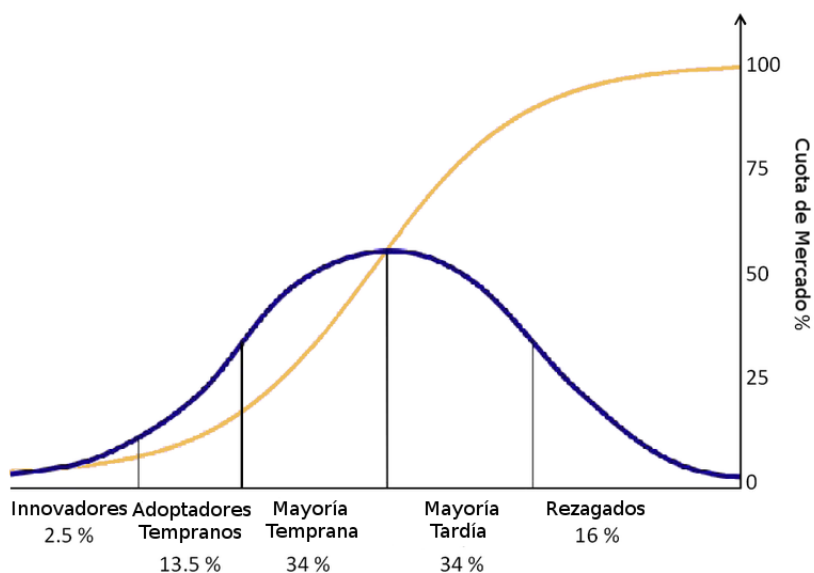


FIGURA 4.2: Difusión de innovaciones durante diferentes momentos del proceso (Curva amarilla), diferentes categorías de adoptadores (Curva azul)(Adaptado de (Kangur, 2014))

### 4.5.3. Modelos centrados en los individuos

En estos modelos se considera el proceso individual como un compromiso entre el valor social y el beneficio individual. Lo que indica que en la mayoría de los casos un

individuo rodeado por adoptantes termina por adoptar, pero no siempre es así, ya que existen individuos que son reticentes a la adopción. Por lo cual en estos modelos se fija un umbral de decisión arbitrario para uno de los individuos, que indica que tan susceptible es dicho individuo a sucumbir a la presión social (Thiriot, 2009). Las ventajas de la utilización de estos modelos son: permite adicionar heterogeneidad, permite una descripción natural del sistema, es más fácil de implementar y permite obtener efectos globales inesperados que resultan a partir de la descripción individual y de las interacciones locales (efectos emergentes) (Delli, 2015).

#### **4.5.4. Modelo epidémico de transmisión de la información**

Este modelo se centra en la transmisión de la información, asume que un individuo que es expuesto a una información se considera informado y puede potencialmente transmitir la información que ha recibido. La transmisión de la información se produce entre individuos conectados que pueden potencialmente transmitir la información recibida, para lo cual se define un umbral para cada individuo (Thiriot, 2009). El proceso inicia con un individuo 'susceptible' quien tiene contacto con el agente infeccioso, esto desencadena un estado 'latente' durante el cual la enfermedad se desarrolla en el interior del cuerpo del receptor, al final del estado de 'latencia' comienza el estado de 'infección' que consiste en la transmisión de la enfermedad a otros individuos 'susceptibles' con quienes tiene contacto, manteniendo en cascada la infección en la red de individuos conectados (Mao, 2014).

## **4.6. Modelos basados en agentes**

Existen múltiples técnicas para llevar a cabo la simulación de fenómenos sociales, las técnicas más usadas son: los autómatas celulares, la dinámica de sistemas y los modelos basados en agentes como aparecen en (Cadavid, 2015). Cada una de dichas técnicas tiene sus ventajas y desventajas, la elección de la técnica depende del modelo que se pretende desarrollar y el fin del mismo.

Según la descripción detallada de los autómatas celulares descritos en (Sayama, 2015) y la comparación realizada en (Izquierdo y col., 2008) entre la dinámica de sistemas y modelos basados en agentes, se construye la tabla 4.1 que muestra las características relevantes de cada una de las técnicas de simulación exploradas.

Para el modelo que se va a desarrollar se requiere una técnica que permita representar entidades heterogéneas e independientes, así como interacciones complejas y conexiones parciales entre entidades; según la comparación realizada entre las técnicas de simulación exploradas, una de las técnicas apropiadas puede ser los modelos basados en agentes.

En (Treuil, Drogoul y Zucker, 2008) se define todo modelo basado en agentes como un sistema compuesto de entidades múltiples o agentes que evolucionan en un entorno, concebido como una entidad particular, en la cual están localizados. Los agentes están dotados de atributos, comportamientos, percepción y comunicación. El conjunto de los valores de los atributos de una entidad en un instante dado constituye el estado de

TABLA 4.1: Características de técnicas de simulación

Técnica	Características
Autómatas Celulares	Entidades homogéneas Vecindad Homogénea, uniforme y estática Reglas de transición homogéneas Interacciones geográficas
Dinámica de Sistemas	Entidades homogéneas Modelo basado en variables observables Vecindad completa y estática Sistemas centralizados
Modelos Basados en Agentes	Nivel de representación de entidades y vecindades flexible Entidades autónomas, heterogéneas e independientes Componentes adaptativos Sistemas descentralizados Efectos emergentes

dicha entidad, y la reunión del conjunto de los estados de las entidades forma el estado microscópico del sistema. La capacidad de percepción de las entidades les permite consultar un subconjunto de dicho estado microscópico. Los comportamientos son reglas que controlan en cada instante la evolución del estado de cada entidad interviniendo en las acciones, la comunicación o las interacciones con otras entidades.

Thiriot, 2009, explica que la simulación orientada a agentes es un paradigma de modelamiento, que propone la representación explícita de los individuos, sus interacciones y simula la dinámica colectiva que surge de los procesos locales. Además, muestra que varios modelos orientados a agentes han sido propuestos para el estudio propio de las redes sociales. El autor estudia la propagación de la información en un sistema social, la presión social, la dinámica de opiniones y de esa manera logra identificar los factores determinantes en el éxito o fracaso de la difusión de innovaciones.

La simulación multi-agentes es utilizada en numerosos campos como la simulación económica, la simulación social y la simulación de tráfico. Estos dominios tienen en común el interés por los sistemas complejos que son caracterizados por un gran número de entidades en interacción que impiden al observador la predicción de su retroacción, su comportamiento o su evolución por análisis (Darty, 2015). Además, es un paradigma de modelamiento e implantación de sistemas caracterizados por múltiples componentes que tienen propiedades dinámicas internas (dinámica endógena) e interacciones con el entorno fuertemente inciertas y dinámicas (dinámica exógena) (Picard, 2014).

#### 4.6.1. Agentes

Formalmente se puede definir un agente como una entidad autónoma que se caracteriza por:

- Es capaz de actuar en el entorno



- Se puede comunicar con otros agentes
- Se mueve por un conjunto de tendencias
- Posee recursos propios
- Es capaz de percibir el entorno (de forma limitada)
- Posee competencias y ofrece servicios
- Puede reproducirse
- Su comportamiento tiende a satisfacer sus necesidades

A partir de estas características se puede decir que un agente es casi cualquier entidad física que existe en el mundo real. Las características listadas permiten al agente actuar de forma autónoma en función de necesidades individuales o grupales (Ferber, 1995).

#### 4.6.2. Sistema multiagente

Según (Ferber, 1995), se llama sistema multiagente a un sistema compuesto por:

- Un entorno  $E$ .
- Un conjunto de objetos  $O$ , son objetos pasivos que se encuentran dentro del espacio  $E$  que pueden ser percibidos, creados y destruidos.
- Un conjunto  $A$  de agentes, que representan las entidades activas del sistema.
- Un conjunto  $R$  de relaciones entre los agentes.
- Un conjunto de operaciones  $Op$  que permite al conjunto de los agentes  $A$  percibir, producir, consumir, transformar y manipular los objetos  $O$ .
- Las leyes que gobiernan el universo en el que está el conjunto de los agentes  $A$ .

#### 4.6.3. Niveles de organización

Los agentes que componen los sistemas multiagentes se relacionan entre si conformando un sistema social que se divide en tres niveles como aparece en (Ferber, 1995):

- Nivel micro donde se producen las diferentes formas de interacción entre dos o un pequeño número de agentes.
- Nivel meso son las estructuras intermedias que aparecen y los roles y actividades de cada uno de los agentes.
- Nivel macro es la visión completa del sistema, donde se ve la dinámica completa, así como la estructura general del sistema y su evolución. Gráficamente, los niveles pueden verse en la figura 4.3.

Generalmente, los sistemas multiagentes establecen una estructura organizada, ya que la organización es lo que permite mejorar la comunicación y eficiencia del sistema (Patricx, 2013). La figura 4.4 presenta una jerarquía en donde los agentes interactúan con sus vecinos locales.

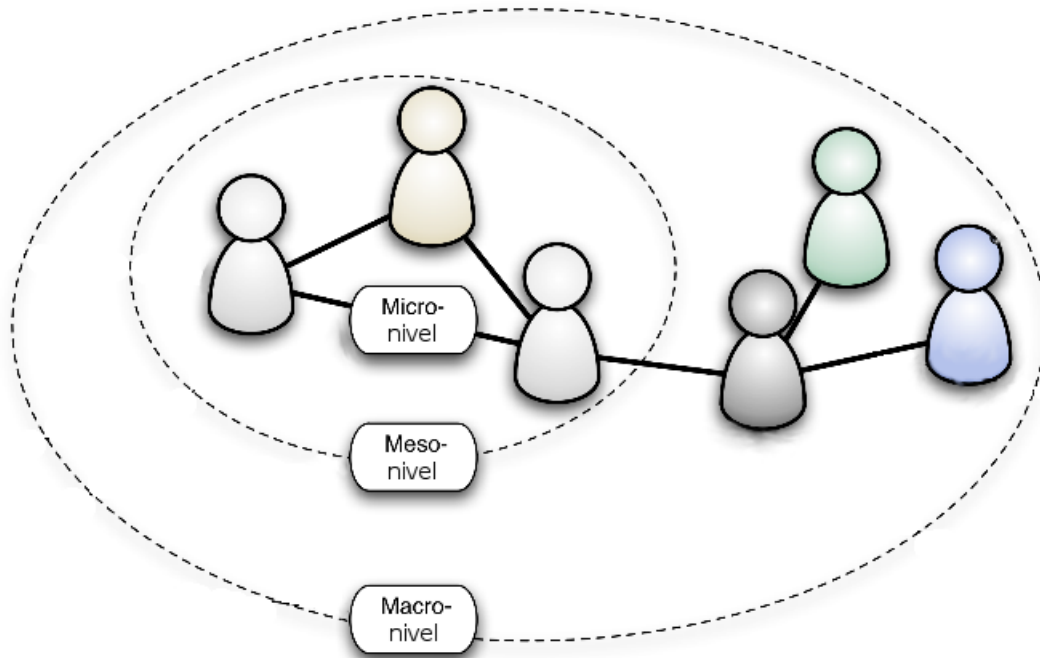


FIGURA 4.3: Niveles de los sistemas multiagentes (Adaptado de (Kiesling y col., 2011))

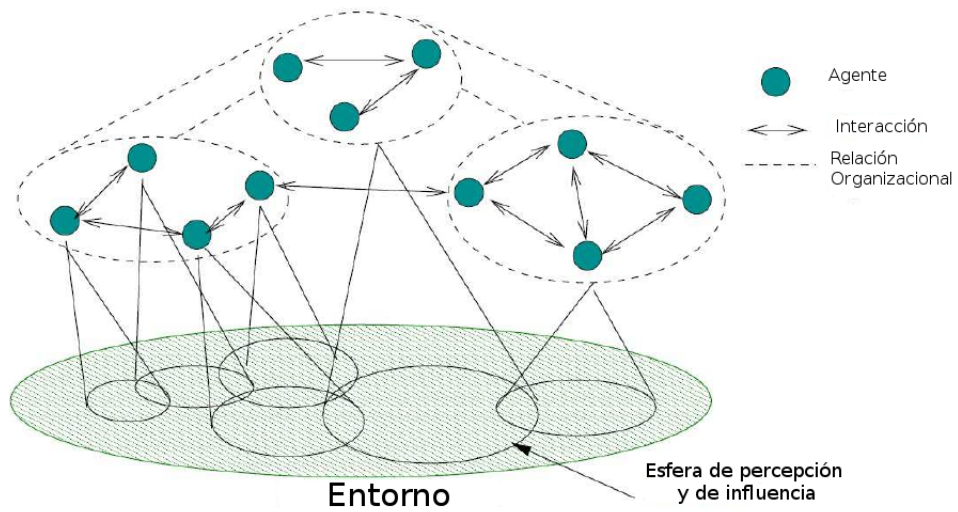


FIGURA 4.4: Jerarquía de los sistemas multiagentes con relaciones locales (Adaptado de (Boussard, 2008))

## 4.7. Lógica difusa

En modelos de comportamiento y toma de decisiones, tal como en los trabajos de (Salim, 2009), (Lee, Lee y Kim, 2014), (Izquierdo y col., 2015) y (Dykstra y col., 2015), se usa la lógica difusa para representar la diversidad de preferencias y opiniones, así como el conocimiento propio de cada uno de los agentes que componen la población simulada.

La lógica difusa (“fuzzy logic”) fue desarrollada por Lofti Zadeh en 1965 a partir de su teoría de sub-conjuntos difusos. Los sub-conjuntos difusos son una manera matemática de representar la imprecisión de la lengua natural, ellos pueden ser considerados como una generalización de la teoría de conjuntos clásicos. La lógica difusa es también llamada lógica lingüística ya que sus valores de verdad son palabras del lenguaje común: “casi”, “cerca”, “grande”, “pequeño”. La lógica difusa tiene por objetivo el estudio y la representación de conocimientos imprecisos, razonamientos aproximados y además busca modelar las nociones vagas del lenguaje natural para superar la deficiencia de los conjuntos clásicos en este dominio (Bonilla, 2008).

Nuestro entendimiento de la mayoría de los procesos físicos está ampliamente basado en la imprecisión propia del razonamiento humano. Esta imprecisión (cuando se compara con las cantidades precisas que requieren los computadores) es una forma de información que puede ser útil para los seres humanos. La capacidad de introducir este tipo de razonamiento en los problemas complejos es el criterio sobre el cuál se juzga la eficiencia de la lógica difusa. Indudablemente, esta habilidad no puede resolver problemas que requieren precisión. Hay muchos problemas humanos que no requieren precisión como parquear un automóvil, control de tráfico en intersecciones y entendimiento preliminar de sistemas complejos. La incertidumbre puede manifestarse de muchas formas: difuso (amorfo, no claro, impreciso, aproximado), vago (no específico, amorfo), ambiguo (muchas elecciones, contradictorio), ignorancia (disonante, desconocimiento), o variabilidad natural (conflictivo, aleatorio, caótico, impredecible). Los conjuntos difusos proveen una vía matemática para representar la imprecisión e indefinición en los sistemas humanos (Ross, 2010).

La noción de pertenencia es central para la representación de los objetos dentro de una serie de conjuntos definidos en el universo. Los conjuntos clásicos contienen objetos que satisfacen precisamente las propiedades de pertenencia; los conjuntos difusos contienen objetos que satisfacen imprecisamente las propiedades de pertenencia, es decir la pertenencia de un objeto en un conjunto difuso puede ser aproximada. Un conjunto difuso es un conjunto que contiene elementos que tienen diferentes grados de pertenencia en el conjunto (Ross, 2010). Un modelo de lógica difusa se compone de una entrada, una salida, un conjunto de funciones de pertenencia, un módulo de “fuzzificación”, un conjunto de reglas difusas, un módulo de inferencia y un módulo de “defuzzificación”.

### 4.7.1. Funciones de pertenencia

Un subconjunto difuso A de un universo de discurso U es caracterizado por una función de pertenencia. Existen múltiples funciones de pertenencia, pero las tres más comunes son: triangular, trapezoidal y gaussiana.

La función de pertenencia triangular se expresa matemáticamente como indica la ecuación 4.1 y gráficamente se puede ver en la figura 4.5.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_1-a_2}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & x > a_3 \end{cases} \quad (4.1)$$

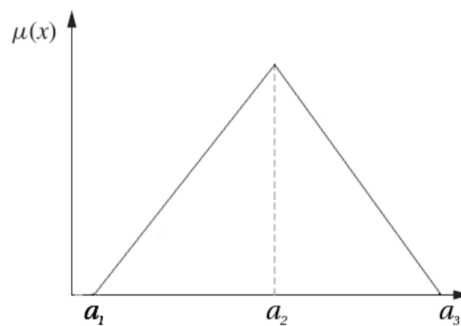


FIGURA 4.5: Función de pertenencia triangular

La función de pertenencia trapezoidal se expresa matemáticamente como indica la ecuación 4.2 y gráficamente se puede ver en la figura 4.6.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (4.2)$$

La función de pertenencia gaussiana se expresa matemáticamente como indica la ecuación 4.3 y gráficamente se puede ver en la figura 4.7.

$$\mu(x) = e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-c_i}{\delta_i} \right)^2} \quad (4.3)$$

Para construir un modelo basado en lógica difusa es necesario definir las variables que sirven como entrada al sistema y caracterizarlas dentro de las variable lingüísticas definidas y las funciones de pertenencia asociadas, para ello está el proceso de "fuzzificación" que consiste precisamente en hacer de una variable nítida una variable difusa. Muchas variables se consideran nítidas y deterministas, pero ellas no lo son del

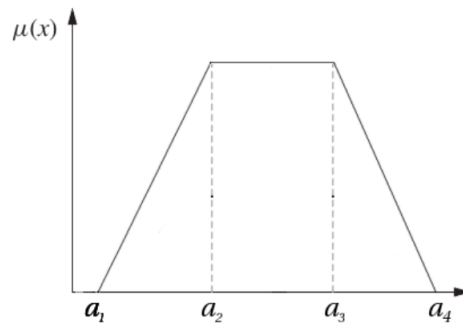


FIGURA 4.6: Función de pertenencia trapezoidal

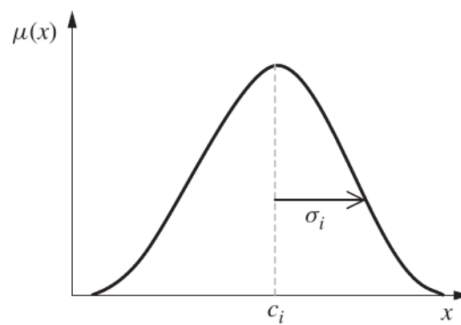


FIGURA 4.7: Función de pertenencia gaussiana

todo, ya que llevan consigo incertidumbre. Esto es debido a la imprecisión o ambigüedad, entonces es muy probable que la variable sea difusa y puede ser representada por una función de pertenencia. Además, una vez procesada la información a través del sistema difuso se requiere en muchos casos un escalar como salida del proceso difuso, el proceso de “defuzzificación” se encarga de la conversión de una variable difusa en una variable nítida. La salida de un proceso difuso puede ser la unión lógica de dos o más funciones de membresía definidas sobre el universo de discurso. Muchos métodos han sido propuestos en la literatura reciente, pero los métodos más utilizados son: principio de maximización, método de centroide, método de peso promedio y medio del máximo (Ross, 2010).

#### 4.7.2. Reglas

Las reglas intervienen en el método de interpolación de los sistemas difusos y se establecen usando la estructura IF-THEN. Dentro del contexto de una simulación social el método de interpolación puede ser útil para definir una función por medio de reglas difusas. Como ejemplo se puede suponer que un agente artificial debe seleccionar una casa adecuada entre varias opciones, y sus dos principales preocupaciones son el precio de la casa y la distancia de la casa a su lugar de trabajo. Una posible aproximación a dicha función puede ser  $f(p, d)$ , un función que toma dos valores, el precio  $p$  y la distancia  $d$  y produce una salida llamada  $s$  que se interpreta como una calificación asignada a cada casa según los valores de los datos de entrada.

Se puede especificar la función en términos de reglas lingüísticas difusas de la forma IF antecedente THEN consecuente.

R1: IF (precio IS económica OR distancia IS cerca ) THEN calificación IS alta

R2: IF (precio IS costosa OR distancia IS lejos) THEN calificación IS baja

R3: IF (precio IS promedio AND distancia IS promedio) THEN calificación IS regular

Como parte del proceso no solamente es necesario especificar las reglas, sino que también se deben definir explícitamente los conceptos difusos (“económica”, “costosa”, “cerca”, “lejos”, etc) y la forma como se van a asumir las funciones lógicas OR y AND. Dependiendo de la elección de estas funciones, obtendremos la inferencia (Izquierdo y col., 2015).

### 4.7.3. Modelo Mamdani

El método de inferencia Mamdani es el proceso de ‘defuzificación’ más comúnmente utilizado en la literatura. La inferencia max-min o Mamdani aparece cuando se selecciona el valor mínimo para la función lógica AND y el valor máximo para la función lógica OR (Izquierdo y col., 2015). Gráficamente el modelo Mamdani puede verse en la figura 4.8, en donde se obtiene un valor a partir de la evaluación de dos reglas. Regla1: IF  $A_{11}$ =Pequeño OR  $A_{12}$ =Alto THEN  $B_1$ =Medio y Regla2: IF  $A_{21}$ =Grande AND  $A_{22}$ =Medio THEN  $B_2$ =Alto.

## 4.8. Consumat II

El modelo *Consumat* como indica (Jager y Janssen, 2012), es usado como un modelo genérico del comportamiento humano sobre las decisiones que toman las personas para satisfacer sus necesidades, ofrece un *framework* de simulación que captura algunos de los más importantes principios discutidos en la literatura acerca del comportamiento de los consumidores.

*Consumat* no es capaz de simular procesos cognitivos elaborados, razonamiento lógico o moralidad de los agentes; sin embargo, si permite simular procesos clave que en conjunto capturan las decisiones humanas en diversas situaciones, como consumidores comprando productos, ciudadanos decidiendo donde vivir, y otras situaciones donde las personas seleccionan un comportamiento de un conjunto de posibilidades (Jager y Janssen, 2012).

### 4.8.1. Conceptos asociados a Consumat

En *Consumat*, los componentes clave del agente son el proceso de toma de decisiones, sus necesidades y sus habilidades. Las necesidades pueden satisfacerse a través del comportamiento, mientras que las habilidades son requeridas para realizar un comportamiento. Dos aspectos del estado mental del agente determinan la estrategia de decisión que este usará para seleccionar un comportamiento adecuado. Estos aspectos corresponden al nivel de satisfacción y el nivel de incertidumbre que el agente experimenta con respecto a la situación actual (Kangur, 2014).

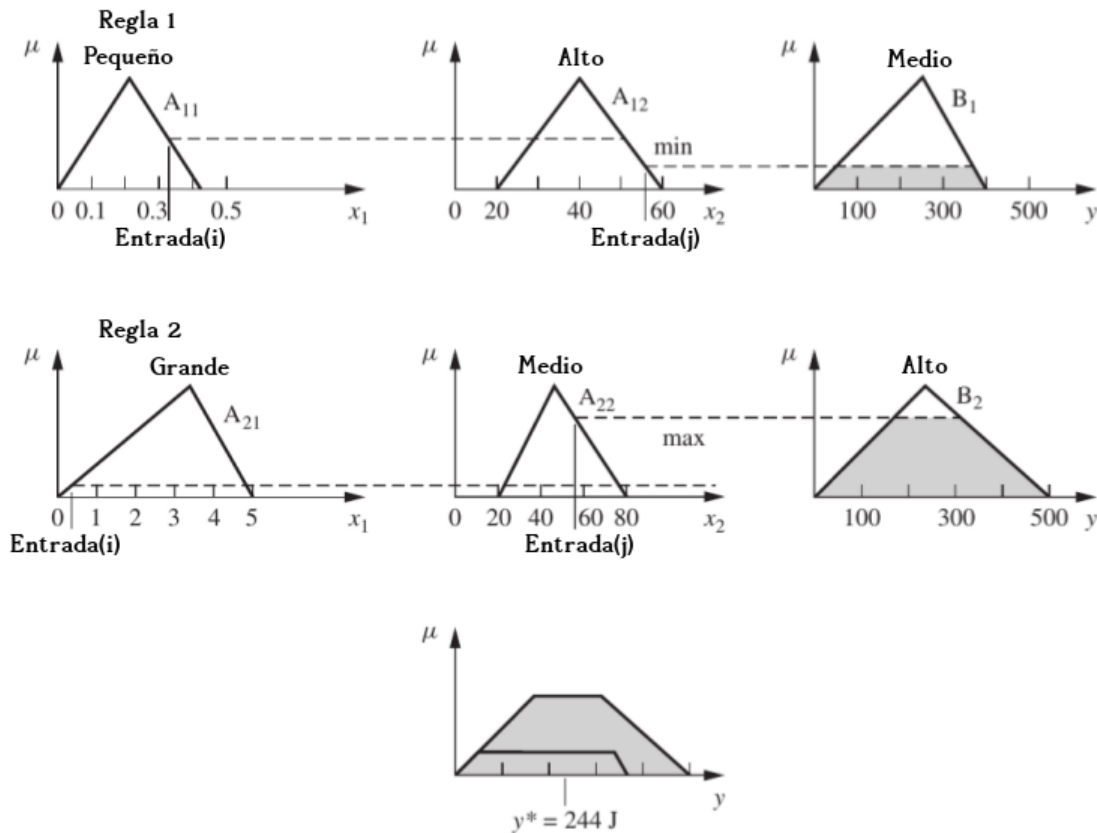


FIGURA 4.8: Método de inferencia Mamdani (Adaptado de (Ross, 2010))

#### 4.8.2. Necesidades

El *framework Consumat* se basa en *Goal Frame Theory* (Lindenberg y Steg, 2007) que distingue entre tres motivaciones comportamentales: hedonista, ganancia y normativa. Formalmente el *Consumat* enuncia tres motivaciones sobre las necesidades: existencial, social y personal (Jager y Janssen, 2012). Las necesidades existenciales se refieren a los recursos del agente como comida, dinero y la vivienda. El agente actuará con el fin de evitar el agotamiento de los recursos a lo largo del tiempo. Las necesidades sociales se refieren a la interacción con otros agentes y corresponde a la fuerza con la que se relaciona el agente con otros. Finalmente, las preferencias reflejan los gustos personales del agente con respecto a otros valores de vida como religión, el entorno o disfrute de la vida (Kangur, 2014).

#### 4.8.3. Estrategias de decisión

Después de evaluar sus diferentes necesidades, el estado mental de un agente puede ser satisfecho o insatisfecho y cierto o incierto. Dependiendo de estos dos factores, el agente selecciona una estrategia de decisión. Cuando un agente está satisfecho y cierto, no hay necesidad de un alto procesamiento cognitivo o social y el agente simplemente repetirá su comportamiento actual. Cuando el agente está

		Satisfacción	
		$\leq \theta_s$	$> \theta_s$
Incertidumbre	$\leq \theta_u$	Optimización	Repetición
	$> \theta_u$	Indagación	Imitación

$\theta_u$  es el umbral definido de incertidumbre  
 $\theta_s$  es el umbral definido de satisfacción

TABLA 4.2: Estrategias de decisión (Adaptado de (Kangur, 2014))

satisfecho pero incierto, consulta su red social y a través de la imitación copiará el comportamiento de sus vecinos exitosos. Un agente insatisfecho e incierto considerará el comportamiento y conocimiento de muchos más vecinos a través de la indagación, causando más posibilidades abiertas y usando más procesos cognitivos. Finalmente, un agente insatisfecho pero cierto seleccionará la estrategia de optimización e investigación de todas las posibles opciones de comportamiento (Kangur, 2014). La síntesis de la aplicación de las estrategias de decisión puede verse en la tabla 4.2.

#### 4.8.4. Personalidad

Los agentes también poseen una única personalidad. Tres aspectos notables de la personalidad de un agente son su nivel de ambición (si el agente está rápidamente satisfecho o no), su nivel de tolerancia (que tan bien puede el agente tolerar la incertidumbre) y su perspectiva del tiempo (si el agente toma en cuenta posibilidades en el futuro lejano). Otro aspecto importante es cómo el agente balancea la importancia de sus diferentes necesidades. Mientras algunos agentes están más motivados en manejar sus recursos (necesidades existenciales), otros pueden ser más susceptibles a influenciar otros agentes (necesidades sociales) (Kangur, 2014).

#### 4.8.5. Otros conceptos

Además de las estrategias de decisión y la personalidad existen otros conceptos que definen un agente *Consumat*. El ambiente natural tiene un efecto sobre el macro nivel y es la descripción del entorno en el cual se desenvuelven los agentes, representa los recursos, el espacio, etc. El ambiente humano, se refiere al entorno técnico donde los agentes viven, como la economía, el entorno cultural, las instituciones, el desarrollo demográfico, etc (Jager, 2000). Las estrategias para el cambio del comportamiento, que representan el balance entre las habilidades de un agente específico y las habilidades requeridas por una oportunidad. Las habilidades, con las cuales un agente está en capacidad de determinar que comportamientos están disponibles. Las oportunidades que son una posible forma de satisfacer múltiples necesidades, en *Consumat* se definen las oportunidades básicas, las oportunidades de consumo similar a otros y las oportunidades de consumo. La memoria en la cual un agente almacena información sobre las oportunidades de comportamiento, de su propia experiencia y la experiencia de los vecinos. (Schoenmacker, 2014).

Finalmente, el agente es parte de una red social y tiene tendencia a interactuar con agentes que son similares. Estas comunicaciones interpersonales tienen una influencia



importante en los procesos de difusión en los sistemas sociales. Garcia y Jager, 2011 argumentan que ellas juegan un rol esencial en el éxito o fracaso de un proceso de difusión a través de la sensibilización de nuevos productos y cambiando la presión normativa (Kangur, 2014). En la figura 4.9 aparece la estructura general de Consumat.

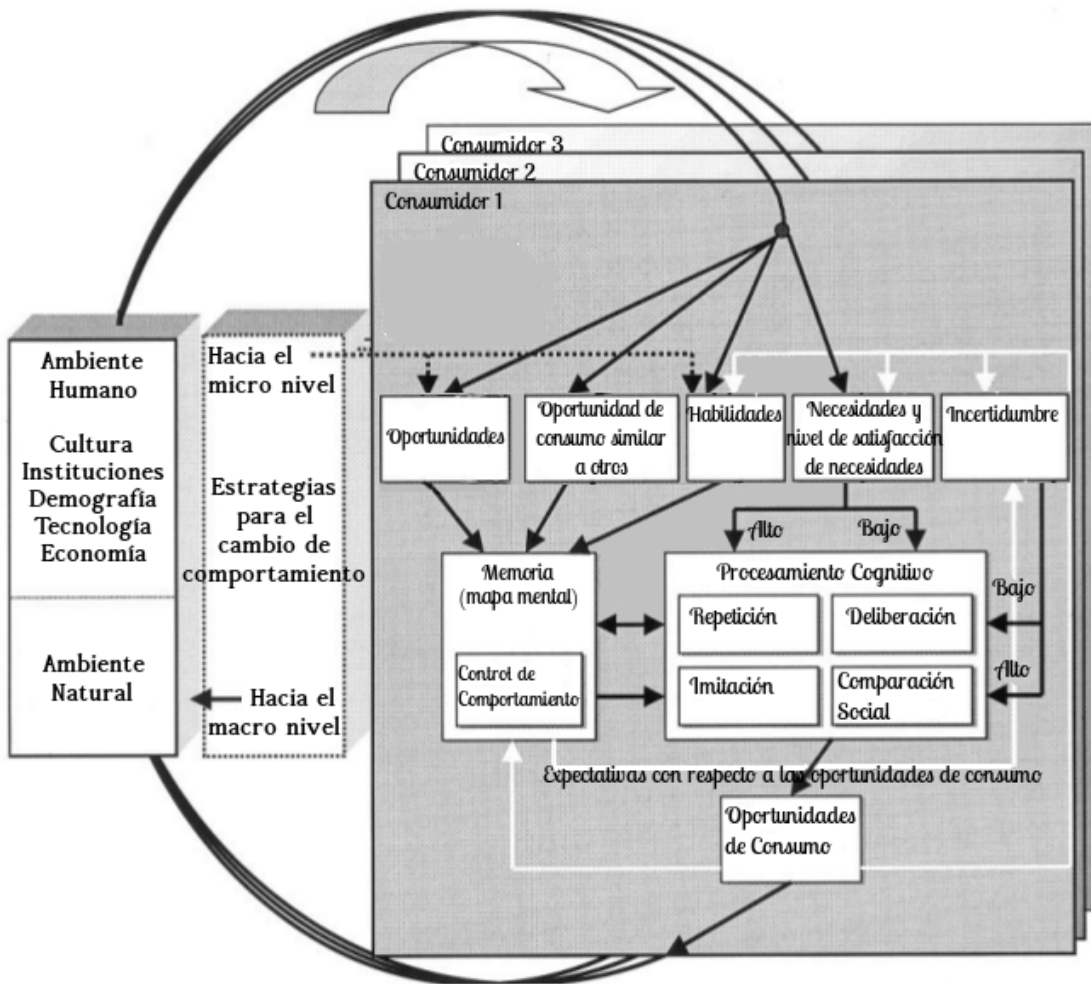


FIGURA 4.9: Estructura del Consumat (Adaptado de (Jager, 2000))

## 4.9. Redes sociales

Las redes juegan un papel fundamental en el mundo actual, se pueden enunciar redes importantes como: las redes de comunicación, las redes eléctricas, las redes neuronales, las redes de transporte, las redes sociales, entre otras. El estudio de las redes permite comprender mejor los fenómenos a los que están asociados. Para realizar estudios formales de estas redes se usa la teoría de grafos (Wallis, 2007).

Una red generalmente representa un conjunto de nodos (hombres, animales,

máquinas, etc) que están enlazados entre sí, dichos enlaces pueden representar canales de comunicación, relaciones abstractas, influencias, etc. En el caso de la difusión y adopción de productos, Steyer y Zimmermann, 2004 califican las redes sociales como el motor principal del comportamiento de los individuos, ya que estos pueden ser fuertemente influenciados por aquellos con quienes tienen conexiones, de la misma manera, Chen, Chen y Lin, 2016 han identificado la red social como un factor que afecta considerablemente la decisión de compra de un consumidor, ya que un individuo puede consultar a sus vecinos para obtener un consenso respecto a un determinado producto, o puede consultar para confirmar una decisión que ya haya tomado.

En función de lo anterior, representar los enlaces entre los nodos como un grafo permite obtener modelos con nodos parcialmente conectados, es decir se obtiene un modelo en donde no todos los nodos se relacionan entre sí.

Según (Stattner, 2012), matemáticamente el modelo se define como  $G = (V, E)$  donde  $V$  es conjunto de nodos y  $E$  es el conjunto de enlaces tal que  $E \subseteq V \times V$  y  $N$  es el número de nodos del grafo. Existen dos grandes familias de grafos:

- Los grafos no orientados: en un grafo no orientado, los enlaces entre los nodos son equivalentes, es decir si los nodos  $v_i$  y  $v_j$  están conectados entonces el mismo enlace es válido para  $v_j$  y  $v_i$ . El máximo número de enlaces posible en un grafo no orientado es  $\frac{Nx(N-1)}{2}$
- Los grafos orientados: en un grafo orientado, los nodos están conectados con enlaces diferentes entre sí, es decir si los nodos  $v_i$  y  $v_j$  están conectados, eso no implica que los nodos  $v_j$  y  $v_i$  están conectados. El máximo número de enlaces que puede tener un grafo orientado es  $Nx(N - 1)$

#### 4.9.1. Concepto de vecindad

(Huraux, 2015) define la vecindad de un agente  $x$  como la representación del conjunto de los agentes que interactúan con  $x$  y a quienes  $x$  influencia.

Tal como aparece en (Basileu, 2011), matemáticamente se define como: para todo  $x \in E$ , se dice que  $V \subset E$  es vecindad de  $x$  si y solo si  $x \in i(V)$ . El conjunto de vecindades de  $X$  es identificado como  $\nu(x)$

#### 4.9.2. Topologías

Para modelar una red social usando grafos se emplean diferentes estructuras, (Stattner, 2012) resalta que las más representativas que pueden verse en la figura 4.10 son:

- Redes aleatorias (a): en estas redes el número de enlaces de todos los nodos es diferente y además los enlaces entre ellos son creados de forma aleatoria. Una red aleatoria se caracteriza porque sigue una distribución gaussiana, es decir que la mayoría de los nodos están medianamente conectados.

- Redes regulares (b): las redes regulares se caracterizan porque todos los nodos que pertenecen a ella poseen el mismo número de enlaces, por lo general este tipo de redes se modelan con un bajo coeficiente de densidad. Una desventaja de este tipo de redes es que son poco realistas al momento de simular una red social.
- Redes pequeño-mundo (c): es una red en la que la mayoría de los nodos no son vecinos entre sí, pero casi todos pueden ser enlazados unos con otros a través de nodos intermedios utilizando un pequeño número de saltos.
- Redes escala libre (d): este tipo de red es más realista al momento de simular una red social, ya que introduce el concepto de "hub", que es el nodo que tiene un mayor número de enlaces que los demás. La distribución con la cual se generan los enlaces entre los nodos sigue una ley de potencia. Es decir que hay muchos nodos que están débilmente conectados y una proporción menor están fuertemente conectados.

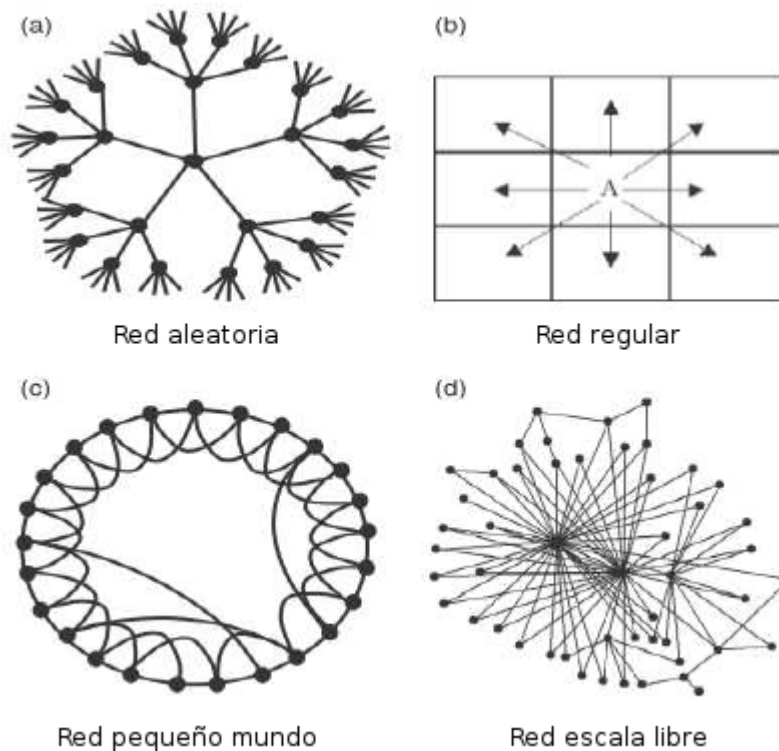


FIGURA 4.10: Topologías de Red. a) Red aleatoria, b) Red regular, c) Red pequeño mundo, d) Red escala libre (Adaptado de (Cho, 2015))

### 4.9.3. Dinámica de las redes sociales

Las redes sociales en el mundo real no son estáticas, ya que estas evolucionan en función del tiempo, esto puede ser altamente relevante para cierto tipo de

innovaciones. En el modelo deDeroian, 2002, dos individuos son más confidentes si comparten las mismas opiniones, allí se consideran tanto las influencias negativas como positivas (Kiesling y col., 2011). En cuanto a su estructura, es necesario analizar la forma como se establecen los enlaces.

### **Formación de enlaces**

Según Stattner, 2012 hay 4 mecanismos elementales de formación de nuevos enlaces que reproducen los comportamientos locales observados en la formación de numerosas redes sociales del mundo real.

- Cerramiento triangular: un nodo es susceptible de crear conexiones con los vecinos de sus vecinos.
- Conexión global: un nodo intenta establecer una conexión más allá de su vecindario inmediato.
- Enlace preferencial: un nodo prefiere establecer un enlace con un nodo fuertemente conectado.
- Enlace aleatorio: un nodo crea un enlace aleatorio con otro.

#### **4.9.4. Difusión de innovaciones en redes sociales**

La difusión de innovaciones está definida como el proceso de comunicación por medio del cual una idea, práctica o producto percibido como nuevo se propaga en una población. Una innovación puede ser una solución anticonceptiva, la descontaminación del agua o la compra de teléfonos ergonómicamente nuevos (Thiriot, 2009).

Las instituciones, así como las empresas, buscan comprender y prever el éxito o fracaso de una innovación; ellos esperan también facilitar su difusión a menor costo (Thiriot, 2009).

#### **4.9.5. Adopción de innovaciones en redes sociales**

La adopción de una innovación busca explicar el proceso a través del cual un individuo toma la decisión de adoptar o no la innovación, apoyándose principalmente en el modelo de elección racional.

Las investigaciones en adopción de innovaciones exploran cuándo y por qué ocurre una innovación; los modelos disponibles incluyen un amplio espectro de factores que, se presume, influyen la decisión de adopción (Cadavid, 2015).

La adopción y la difusión de innovaciones se relacionan de forma estrecha. Cuando muchas entidades adoptan una innovación, se produce la difusión de la misma. De este modo, puede entenderse que la difusión de una innovación es la adopción de esta por una población a lo largo del tiempo, por lo cual describe y refleja la agregación de muchas decisiones de adopción que están influenciadas por las decisiones de los

adoptadores pasados a través de los procesos de comunicación. Es así como puede afirmarse que la difusión de una innovación es una función de la adopción (Cadavid, 2015).

#### 4.9.6. Redes sociales estocásticas

Basileu, 2011 resalta que las redes sociales son modeladas a menudo como un conjunto finito de relaciones binarias. Sin embargo, estos modelos no consideran el hecho de que las relaciones humanas a menudo se establecen de forma aleatoria. Además, las relaciones entre los seres humanos generalmente no son simétricas. Por lo cual un modelo que considere dichas características podría generar redes sociales similares a las que se presentan en el mundo real.

### 4.10. Credibilidad y confianza

La credibilidad interviene muchas veces en el comportamiento individual y tiene un impacto importante a través de las relaciones interpersonales ya que ellas aportan información creíble. Un adoptante potencial busca reducir la incertidumbre sobre una innovación obteniendo información fiable y las fuentes de información son percibidas como más o menos confiables; generalmente, la publicidad no permite convencer a toda la población, ya que esta información se percibe como interesada. La información que recibe el mayor grado de credibilidad es la información que viene de la experiencia personal (Thiriot, 2009).

La confianza entre los actores (agentes) de una red social es un elemento estructural que se establece como un tipo de relación orientada entre los agentes y representa los diferentes grados de certeza que pueden existir entre dos individuos, ésta influencia la elección de otros agentes que hacen parte del entorno social. La mayor parte del tiempo se elegirá interactuar con aquellos con quienes se tiene mayor convicción, aunque esta regla no es absoluta, en algunos casos una interacción opuesta puede ser más benéfica. La confianza también es potencialmente desequilibrada, es decir, el grado de certeza que tiene un agente  $a$  hacia un agente  $b$  no necesariamente es igual en sentido contrario; de la misma manera si un agente  $a$  concede un alto grado de confianza a un agente  $c$ , no necesariamente el agente  $b$  concede el mismo grado al agente  $c$ . Estas relaciones están fundamentadas sobre objetivos y cómo ayudan a alcanzar dichos objetivos. La relación de confianza se establece y se refuerza o degrada con la experiencia, para establecerla es necesario que los objetivos de los involucrados sean el mismo o estén relacionados entre sí. (Chapron, 2012).

### 4.11. Modelos de propagación

Los fenómenos de propagación pueden ser observados en la transmisión de una enfermedad, la expansión de un virus informático o el paso de un rumor. A pesar de que los fenómenos enunciados parecen diferentes, estos se presentan sobre una red de entidades que interactúan entre sí (Stattner, 2012). En la tabla 4.3 se puede ver el resumen de los trabajos que a continuación se detallan en relación con los modelos de

propagación.

TABLA 4.3: Trabajos de modelos de propagación

Trabajo	Dominio de Aplicación	RS	Ht	CG	PC
Guechtouli, 2014	Difusión de información	A	S	Nr	PHt
Mao, 2014	Difusión epidemia	E	S	Nr	PHt
D'Agostino y col., 2015	Dinámica de propagación	D	S	Nr	PHt
Jiang, 2015	Difusión con Sistemas Multiagente	D/E	S	-	-

RS - Red Social: (E - Estática, D - Dinámica, A - Aleatoria), Ht - Heterogeneidad: (S - Si, N - No), CG - Comportamiento Global: (Nr - Normativo, NNr - No Normativo), PC - Procesos Cognitivos: (H - Homogéneo, PHt - Parcialmente Heterogéneo, Ht - Heterogéneo)

Además Stattner, 2012 resalta que el estudio de los fenómenos de propagación, específicamente la difusión es crucial en múltiples contextos, ya que permite identificar comportamientos que pueden alterar el funcionamiento de un sistema y de esa manera actuar en consecuencia para obtener el resultado esperado.

En (Guechtouli, 2014) se puede ver que más bien se utiliza el término transferencia del conocimiento, pero finalmente el eje es también la difusión de la información, este trabajo intenta simular el proceso de transferencia del conocimiento, también se establece un comparativo entre la transferencia directa y la indirecta. El objetivo es determinar la mejor forma de modelar y simular el conocimiento y su difusión en una red social. La validación de los resultados obtenidos se realiza a partir de una métrica que evalúa la influencia de la difusión en función de la representación del conocimiento.

Mao, 2014 propone un estudio estocástico que unifica tres tipos de difusión para el caso de la transmisión de una epidemia: la transmisión de la epidemia, el flujo de la información y la propagación del comportamiento preventivo, cada uno de los tipos de difusión posee una propia red de contacto y se simula de forma separada, luego se unifican los 3 modelos y se analiza el comportamiento global. La simulación desarrollada tiene en cuenta estos tipos de difusión en una red social de 1 millón de personas. Una vez realizada la simulación y obtenidos los resultados, se verifican con datos reales obtenidos de un periodo de influencia entre 2004 y 2005.

En algunos trabajos de difusión se utiliza la simulación de redes con el fin de comprender dichos fenómenos de propagación dinámica como en (D'Agostino y col., 2015), donde la propagación de la información en una red social es primordial para demostrar que la topología de la red juega un papel crucial en la difusión. Comprender la importancia de la topología de la red y su relación directa con los fenómenos de difusión permite adquirir el conocimiento para modelar/simular redes sociales de forma realista e intentar predecir con mayor precisión ciertos comportamientos. En este trabajo se usan diversas métricas donde se evalúa cómo la topología genera diferencias en la difusión de la información.

Para el caso de la difusión en redes sociales en (Jiang, 2015) se muestra un amplio panorama de elementos que intervienen en la difusión de información y cómo influyen el proceso, el objetivo es demostrar la efectividad del modelo multiagente al momento de simular y analizar la difusión en las redes sociales. Se analizan los elementos propios de la simulación de difusión en redes sociales usando el modelo multiagente: actores, medios de difusión de contenidos. Por lo cual finalmente se deduce que a pesar de que los fenómenos de difusión son realmente difíciles de analizar y predecir, el paradigma de los sistemas multiagente es poderoso y flexible para tratar ese tipo de problemas.

## 4.12. Simulación de toma de decisiones y adopción

Una simulación requiere un modelo, el cual se hace evolucionar en función del tiempo, cambiando paso a paso su estado dependiendo de la dinámica propia del mismo, con lo cual se producen salidas asociadas a cada estado. Finalmente, la simulación genera información sobre la evolución del sistema modelado en el tiempo (Camus, 2015). En la tabla 4.4 se puede ver el resumen de los trabajos que a continuación se detallan en relación con los modelos de adopción y toma de decisiones.

TABLA 4.4: Trabajos de simulación de adopción y toma de decisiones

Trabajo	Dominio de Aplicación	RS	Ht	CG	PC
Schwoon, 2006	Vehículos con celdas de combustible	E	S	Nr	PHt
Vag, 2007	Teléfonos móviles	A	S	Nr	Ht
Kowalska, 2009	Modelo de Decisión de Consumidores	E	N	Nr	H
Schramm y col., 2010	Evaluación Mercado	E	S	Nr	H
Zhang, Gensler y Garcia, 2011	Vehículos con Combustible Alternativo	A	S	Nr	PHt
Chapron, 2012	Análisis de organizaciones sociales	D	S	Nr	PHt
Kangur, 2014	Adopción de vehículos eléctricos	E	S	Nr	PHt
Schoenmacker, 2014	Mercado de iluminación	A	S	Nr	H
Serrano y col., 2014	Evaluación social de toma de decisiones	A	S	Nr	PHt
Cho, 2015	Adopción de vehículos eléctricos	E	S	Nr	H
Delli, 2015	Vehículos con celdas de combustible	E	S	Nr	H
Rai y Robinson, 2015	Adopción de tecnología energética	E	S	Nr	H

RS - Red Social: (E - Estática, D - Dinámica, A - Aleatoria), Ht - Heterogeneidad: (S - Si, N - No), CG - Comportamiento Global: (Nr - Normativo, NNr - No Normativo), PC - Procesos Cognitivos: (H - Homogéneo, PHt - Parcialmente Heterogéneo, Ht - Heterogéneo)

En (Schwoon, 2006) se simula el impacto en los productores y también el comportamiento en una red social de consumidores (red implementada usando el modelo de autómatas celulares) que adquieren vehículos, pero en este caso la simulación y en su posterior estudio se enfocan en cómo sería la adopción de los vehículos que utilizan hidrógeno como combustible. El modelo se parametriza según las tendencias del mercado alemán, también se han utilizado tres escenarios para validar los resultados e intentar compararlos con la realidad de los productores y consumidores.

La generación de un modelo como herramienta para entender el cambio de las preferencias sobre un producto, considerando aspectos que influyen la toma de decisiones se ve en el trabajo de (Vag, 2007). El modelo simula las interacciones e independencia de los consumidores, así como su comportamiento. Las variables que se han considerado corresponden a la red social (número de conexiones, variabilidad de las conexiones e índice de persuasión) y al comportamiento (grado de satisfacción, proceso de adopción y valores de las fuentes de cambio de opinión). El modelo se ha calibrado teniendo como base los datos de ventas del mercado real.

Según (Kowalska, 2009), la elección que realiza un consumidor es el resultado de la interacción cultural, social, personal y psicológica entre los agentes, por ello realiza la simulación de un grupo de consumidores modelados sobre un autómata celular y múltiples estados de preferencias, en el modelo propuesto la estructura de la vecindad de cada consumidor tiene un fuerte impacto sobre la toma de las decisiones. Los resultados son analizados de forma independiente considerando las influencias externas sobre la toma de decisiones.

Un modelo que pretende reproducir y explicar el proceso de adopción centrado el comportamiento de las ventas de diversas marcas competidoras disponibles en el mercado es propuesto en (Schramm y col., 2010), donde los consumidores aparecen categorizados según el comportamiento que pueden llevar a cabo (innovadores, adoptadores tempranos, mayoría, adaptadores tardíos y resagados), la red sobre la cual se comunican es definida inicialmente y estática. Los parámetros se calibran y el modelo se valida sobre datos reales de ventas de cámaras digitales en el periodo de 1995 a 2002.

Usando modelos basados en agentes, (Zhang, Gensler y Garcia, 2011) analizan los factores que influyen en la adopción de vehículos que usan combustible alternativo, modelando automóviles, consumidores y fabricantes como agentes. Los consumidores intentan adquirir el vehículo apropiado según sus necesidades y los fabricantes compiten por ganar una mayor porción del mercado. Además, el modelo considera las políticas gubernamentales que pueden ser aplicadas para regular a los fabricantes y al mercado. La parametrización del modelo se realiza de forma aleatoria, esperando que el modelo autoregule los agentes y el mercado según los conceptos teóricos utilizados. Los resultados obtenidos son comparados con otros modelos teóricos basados en la teoría de juegos.

El trabajo de (Chapron, 2012) propone un modelo basado en agentes que tiene como objetivo el estudio de las organizaciones y como la jerarquía al interior de las mismas influencia la toma de decisiones de cada uno de los actores involucrados, el modelo permite estudiar la autoregulación y explicar cómo las características estructurales llevan a una organización a ser mejor que otra en función de los objetivos y resultados esperados. Los actores de la organización poseen propiedades específicas como umbral de poder, índice de confianza, umbral de empatía y dependencia, que les permiten ubicarse dentro de la organización. El modelo se ha calibrado tomando como base la evolución estructural de una ONG, con cuyos datos se han validado los resultados, comparando indicadores específicos sobre cada una de las divisiones de dicha ONG.



Un trabajo representativo que usa *Consumat* es (Kangur, 2014) en donde se presenta el modelo STECCAR el cual simula consumidores (modelados bajo parámetros del mercado holandés en una red social conectada parcialmente y estática) que adquieren vehículos, el objetivo de este trabajo es simular la transición hacia el consumo de automóviles eléctricos y evaluar los efectos de múltiples factores identificados. Para obtener información inicial suficientemente realista, se usa como base el cuestionario de Bockarjova, el cual formula preguntas. En el modelo propuesto se consideran variables que tienen en cuenta los compradores como la tecnología del combustible, el costo del vehículo, las emisiones del vehículo, el tiempo de recarga de combustible, el costo de mantenimiento, experiencia de manejo, entre otras y a partir de esas variables se han creado unas funciones de evaluación que permiten a cada individuo evaluar las posibilidades en función de sus propias necesidades. Los datos obtenidos de la simulación fueron validados mediante comparaciones con valores históricos obtenidos del mercado real.

Schoenmacker, 2014 se basa también en *Consumat* para implementar un modelo funcional del comportamiento de los consumidores con el fin de comprender el proceso de adopción de nuevos focos eléctricos ahorradores de energía y así proponer estrategias para hacer que la adopción sea efectiva. Dentro de las características del modelo propuesto, están las variables que consideran la experiencia en la toma de decisión. Los parámetros son estimados de los resultados de la tesis de (Kattenwinkel, 2012) y complementados con una encuesta. La red social se construye basado en indicadores de similitud entre agentes y no corresponde a una topología definida, cada determinado número de iteraciones un agente es comparado aleatoriamente con otros, con quienes intercambia información. La ejecución de múltiples pruebas y escenarios permite estimar los costos con los cuales se deben vender los focos para ser efectivamente adoptados.

En la simulación de consumidores es importante considerar el aspecto de la toma de decisiones como en (Serrano y col., 2014) donde consideran este aspecto como eje central y contribuyen con algunas métricas que pueden ser útiles al momento de evaluar las decisiones que toma el agente. En este trabajo el problema se centra en la simulación de toma de decisiones de un grupo de personas al momento de votar, para llevar a cabo esta simulación se supone que personas buscan maximizar el beneficio global y con base en ello realizan la elección que satisface mejor esa necesidad. Aspectos que se tienen en cuenta en esta simulación y que son esenciales cuando un individuo intenta seleccionar la mejor opción que satisfaga sus necesidades son: la teoría de subasta, la teoría de la negociación, la teoría de contratación y la teoría de la elección social. Los resultados obtenidos fueron verificados con un caso de estudio específico.

El objetivo de Cho, 2015 es estudiar los fenómenos de adopción y difusión de vehículos eléctricos a través de varios escenarios sobre una sociedad artificial. Para ello se crea un modelo basado en agentes heterogéneos que interactúan en una red social estática pre-establecida como escenario (autómatas celulares, Watts-Strogatz y Barabasi-Albert). Para los agentes se definen cuatro posibles estados (no informado,

informado pero no persuadido, persuadido pero no decidido y decidido). En la simulación cada agente evalúa las variables de decisión sobre un umbral que le permite seleccionar uno de los cuatro estados. Dado que no existen datos precisos sobre la adopción de vehículos eléctricos, el autor decide calibrar los parámetros del modelo basándose en los modelos teóricos de adopción, principalmente el modelo de Bass.

A través de un modelo de consumidores basado en agentes, Delli, 2015 se interesa en saber cuál sería el impacto de aplicar un impuesto a los vehículos de combustión interna o un subsidio a los vehículos de celdas de combustible, en conjunto con la implantación de nuevas infraestructuras de abastecimiento. Los consumidores consideran variables específicas de rendimiento, tiempo de reabastecimiento y precio por cada vehículo evaluado, para calcular el valor de la utilidad esperada. Los consumidores se encuentran ubicados en una red social estática representada por un autómata celular. También se han modelado los agentes productores que calculan un valor de mercado esperado, con lo cual pueden ajustar los valores de sus productos. Los parámetros del modelo fueron ajustados con datos históricos de producción y ventas de vehículos de algunas marcas en el año 2014.

La simulación de consumidores también se puede realizar considerando el comportamiento de los agentes al momento de adoptar una nueva tecnología como en (Rai y Robinson, 2015) donde los autores proponen un modelo empírico de adopción tecnológica de consumidores conectados a través de una red social parcialmente conectada y estática, en este caso es de soluciones energéticas. El periodo de simulación está entre 2004 - 2013 y el contexto de la simulación es la adopción de paneles de energía solar en hogares de una ciudad. El objetivo de esta simulación es evaluar un posible rango de políticas que se pueden aplicar para hacer que la adopción tecnológica sea efectiva. Igualmente, como se ha mostrado en otros trabajos, se definen las variables importantes para el contexto a evaluar y se asignan métricas específicas para cada una de ellas. Los datos obtenidos se evalúan comparándolos con datos reales sobre el mismo periodo de tiempo simulado.

### **4.13. Limitaciones de los modelos descritos**

Los casos presentados contemplan redes sociales estáticas, por lo cual no se tienen en cuenta los procesos de evolución de las relaciones entre los individuos que componen la red, además no consideran aspectos importantes en el comportamiento de los consumidores tales como: racionalidad limitada, vecindades dinámicas, credibilidad entre los vecinos, preferencias variables y evaluación de características heterogénea. Si un modelo considera estos aspectos, los resultados generados pueden ser más realistas. En el siguiente capítulo, se especificará el modelo propuesto, las teorías utilizadas, el esquema de representación y la estructura diseñada.

## Capítulo 5

# Modelo propuesto

*“Una idea por la cual no has sufrido no te pertenece”.*  
Mihail Ralea

*“La acumulación de hechos no es ciencia,  
así como un monton de piedras no es una casa”.*  
Henri Poincaré

Considerando el problema descrito en el capítulo 2, las herramientas, teorías y trabajos realizados anteriormente que se han presentado en el capítulo 4, se ha diseñado e implementado un modelo cuyos detalles se presentan en esta sección.

### 5.1. Supuestos de modelo

Los supuestos descritos a continuación se aplican de forma general al modelo propuesto y a la simulación implementada para lo casos evaluados, así como las pruebas y los escenarios.

Con respecto a los estados definidos en Conumat se ha creado un nuevo estado llamado adopción. La variable aleatoria prudencia, determina cuando un individuo pasa del estado repetición al estado adopción. La variable experiencia determina el peso de la historia. Todas las variables aleatorias que definen heterogeneidad en la población siguen una distribución normal, ya que es la función de distribución más usada (Gazquez, 2007). El valor de los enlaces entre los individuos disminuye por cada iteración, según el valor definido como parámetro. Todos los individuos dicen la verdad y transmiten información verídica según sus conocimientos, ya que no tienen intereses diferentes a la satisfacción de sus necesidades en función de los productos evaluados y la disminución de la incertidumbre sobre la decisión tomada. Todos los individuos que pertenecen a la población simulada están en capacidad de adquirir cualquiera de los productos evaluados en cualquier instante de tiempo, pero con la restricción de que pueden adquirir solamente uno de ellos a lo largo del periodo simulado. La cantidad de individuos que componen la población es constante.

### 5.2. Componentes

De forma global, se pueden identificar tres tipos de componentes que hacen parte del modelo propuesto. Los agentes consumidores, los agentes productos y la red social

dinámica sobre la cual interactúan. A partir de dichos componentes se establece el conjunto de variables que los describe a cada uno de ellos.

### 5.3. Variables

Cada uno de los componentes del modelo propuesto posee una estructura que contiene las variables propias que lo describen. En las tablas 5.1 y 5.5 se puede ver el conjunto de variables de los individuos, en la tabla 5.2 se puede ver el conjunto de variables de los productos para el caso de los teléfonos móviles inteligentes, la tabla 5.3 muestra las variables para el caso de los automóviles. El índice de producto experiencia y la acción se definen en el rango variable por restricciones propias del modelo, todas las otras variables han sido definidas en el rango entre 0 y 1 para facilitar el control de la evolución de cada una de ellas y para evitar que el cálculo de los valores asociados no se desborde, las variables que están en el dominio de los números enteros son indicadores de estado de cada uno de los individuos, las variables en el dominio de los reales positivos se definen así para poder comparar con los datos obtenidos del mercado y para garantizar mayor diversidad en la población. La red social es representada como una matriz cuadrada de adyacencias entre los individuos cuyos valores indican los niveles de credibilidad entre ellos, como el ejemplo que aparece en la tabla 5.4 que gráficamente puede verse en la figura 5.1. La relación entre individuos y productos se establece a partir de la base de conocimiento, un ejemplo puede verse en la tabla 5.5.

TABLA 5.1: Tabla de propiedades de los individuos

Característica	Descripción
Identificador	$\mathbb{N}$
Peso experiencia	$[0,1] \in \mathbb{R}$
Tolerancia	$[0,1] \in \mathbb{R}$
Ambición	$[0,1] \in \mathbb{R}$
Índice producto experiencia	$[1,n] \in \mathbb{N}$
Acción	$[0,6] \in \mathbb{N}$
Adopta	$[0,1] \in \mathbb{R}$
Semana adopción	$\mathbb{N}$
Repetición	$\mathbb{N}$
Prudencia	$\mathbb{N}$
Umbral de satisfacción	$[0,1] \in \mathbb{R}$
Umbral de incertidumbre	$[0,1] \in \mathbb{R}$
Base de conocimiento	Tabla 5.5
Rangos de preferencias	$[0,1] \in \mathbb{R}$

$n$  es el número de productos evaluados

TABLA 5.2: Tabla de propiedades de los productos (Teléfonos móviles inteligentes)

Característica	Descripción
Batería	$\mathbb{R}^+$
Peso	$\mathbb{R}^+$
Memoria	$\mathbb{R}^+$
Capacidad de Almacenamiento	$\mathbb{R}^+$
Cámara	$\mathbb{R}^+$
Resolución	$\mathbb{R}^+$
Pantalla	$\mathbb{R}^+$
Precio	$\mathbb{R}^+$

Los rangos de las variables dependen de las propiedades específicas de cada producto

TABLA 5.3: Tabla de propiedades de los productos (Automóviles)

Característica	Descripción
Aceleración	$\mathbb{R}^+$
Velocidad Máxima	$\mathbb{R}^+$
Potencia	$\mathbb{R}^+$
Volúmen del Maletero	$\mathbb{R}^+$
Consumo de Combustible	$\mathbb{R}^+$
Peso	$\mathbb{R}^+$
Calificación en Seguridad	$\mathbb{R}^+$
Emissiones de CO2	$\mathbb{R}^+$

Los rangos de las variables dependen de las propiedades específicas de cada producto

TABLA 5.4: Ejemplo de red social

	1	2	3	4	5
1	0	0.5	0	0.2	0.5
2	0.3	0	0	0	0.2
3	0.1	0	0	0.4	0.8
4	0.1	0.2	0.3	0	0.5
5	0.6	0.8	0	0	0

## 5.4. Parámetros del modelo

Los parámetros necesarios para inicializar el modelo y ejecutar la simulación son los que aparecen en la tabla 5.6; todos ellos son características numéricas de los productos, aunque otras características pueden ser relevantes en el proceso de toma de decisiones en el contexto de la adopción de innovaciones, generalmente estas son difícilmente medibles y/o subjetivas por lo cual pueden alterar notablemente los

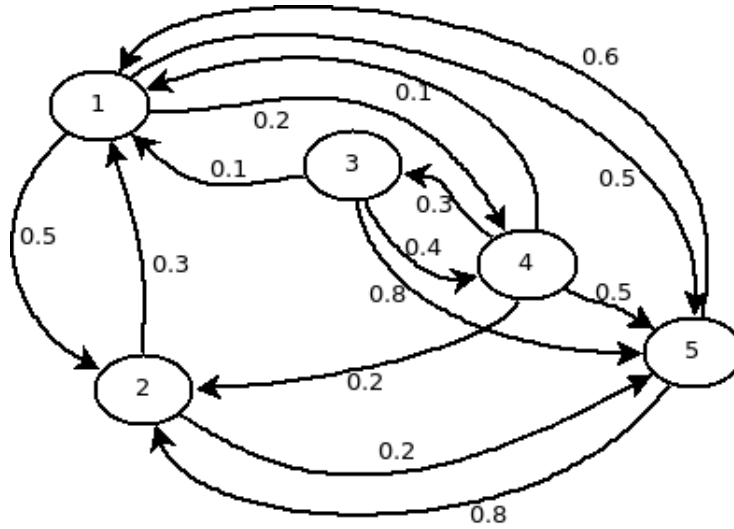


FIGURA 5.1: Gráfico de la red social especificada en la tabla 5.4

TABLA 5.5: Ejemplo de base de conocimiento

Característica	Regla	ns	ne	np
1	-1	0	0	0
2	0	0.5	0.2	0.7
3	-1	0	0	0
4	1	0.8	0.3	0.1
5	2	0.2	0.9	0.6
6	-1	0	0	0
7	0	0.4	0.6	0.1
8	-1	0	0	0

ns - Peso necesidad social, ne - Peso necesidad existencial, np - Peso necesidad personal

resultados de la simulación sin una fuerte y coherente justificación.

El tamaño de la población indica cuántos individuos deben ser creados inicialmente en la simulación, cada uno de ellos con sus características propias, el tamaño de la población es constante a lo largo de la ejecución de la simulación. El tipo de red describe la forma como los individuos se relacionan entre sí, la definición del tipo de red crea inicialmente la topología seleccionada y posteriormente a lo largo de la ejecución determina también la forma como se van a crear nuevos enlaces. La tolerancia indica que tanto puede un individuo tomar una decisión sabiendo que dicha decisión conlleva una incertidumbre asociada, ya que existen diferentes individuos, cada uno de ellos tiene un umbral de tolerancia diferente, es por eso que se define una media y una varianza que permiten crear diferencias en tales umbrales asociándolos a una función de densidad de probabilidad con distribución normal. De la misma manera, se generan los valores de ambición para cada individuo, esta variable se

refiere a que tanta satisfacción espera un individuo de un producto. Continuando con la variabilidad de los individuos, se define la forma como cada uno de ellos evalúa una característica específica de los productos a través de la lógica difusa y las funciones de pertenencia, para ello se establecen conjuntos fijos y umbrales de variabilidad por cada individuo, que es lo que determina el parámetro de variabilidad de límites difusos.

Dentro de la evaluación de los productos, se establece una base de conocimiento que determina cuales características conoce un individuo y como las evalúa, en la evaluación aparecen los tres aspectos definidos en Conumat: personal, social y existencial; los cuales en el modelo propuesto se miden como variables entre 0 y 1, y por la variabilidad individual, esos valores también han sido asociados a una función de densidad de probabilidad con distribución normal, con media y varianza. Lo mismo sucede con la experiencia, que indica que tanto un individuo valora su propia experiencia con otros dispositivos y otras marcas. El límite de prudencia determina el umbral de cuando un individuo está completamente seguro de adoptar un producto específico, después de satisfacer sus umbrales de ambición y tolerancia.

Dado que el modelo considera que no todos los individuos siguen comportamientos normativos a la hora de tomar decisiones, se definen los parámetros de probabilidad de comportamiento irracional y porcentaje global de comportamiento irracional, que regulan cuántos individuos y en que momento toman una decisión no normativa. Para controlar la dinámica de la red social está el parámetro de reducción de credibilidad que hace que la credibilidad decrezca con cada iteración, eso garantiza que si dos individuos mantienen un fuerte vínculo de credibilidad puedan renovarlo y en sentido contrario dos individuos que no mantienen una fuerte credibilidad, puedan asociarse con nuevos individuos. Finalmente aparecen los parámetros que especifican las características globales de los productos evaluados, las reglas difusas con las cuales se van a evaluar los productos y las funciones difusas de pertenencia que se emplean como base de todas las evaluaciones.

## 5.5. Ecuaciones de modelo

El modelo se compone de agentes y productos. Un individuo  $I$  tiene  $n$  propiedades, formalmente un individuo se define como:  $I = \{ip_1, ip_2, ip_3, \dots, ip_n\}$ , de la misma manera los productos tienen  $m$  propiedades y se definen formalmente como:  $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_m\}$

Cada individuo posee una base de conocimiento con la cual puede evaluar los productos disponibles en el mercado, esta base de conocimiento se construye con base en el concepto de la heterogeneidad perceptual (Gazquez, 2007). En el modelo la base de conocimiento está representada por una matriz  $B$ , en donde las filas indican el peso asignado por cada tipo de necesidad y las columnas se refieren a las propiedades que conoce el individuo  $I$  sobre los productos.

Las variables usadas para calcular los valores de satisfacción por producto se definen como:  $i$  es el  $i$ -ésimo producto.  $j$  es la  $j$ -ésima característica.  $c_{i,j}$  es la matriz que contiene la calificación de la  $j$ -ésima característica del  $i$ -ésimo producto.  $v_{i,j}$  es la matriz

TABLA 5.6: Parámetros del modelo propuesto

ID	Descripción
$T$	Tamaño de la población
$N$	Tipo de red (1. Red Aleatoria, 2. Red Pequeño Mundo, 3. Red Escala Libre)
$T_m$	Media de tolerancia
$T_v$	Varianza de tolerancia
$A_m$	Media de la ambición
$A_v$	Varianza de la ambición
$V_l$	Variabilidad de límites difusos
$R_m$	Media del peso de las reglas
$R_v$	Varianza del peso de las reglas
$E_m$	Media de la experiencia
$E_v$	Varianza de la experiencia
$L_p$	Límite prudencia
$I_p$	Probabilidad comportamiento irracional
$I_g$	Porcentaje global de comportamiento irracional
$N_f$	Factor de reducción de credibilidad
$P$	Productos con sus características asociadas
$R$	Reglas difusas de evaluación
$D$	Definición de conjuntos difusos de base

de calificaciones  $c_{i,j}$  normalizada.  $N$  es el número de tipos de necesidades, para el caso de Consumat II es 3.  $C$  es el número total de características.  $mp_{j,z}$  es la matriz de pesos por cada característica y tipo de necesidad.  $vs_i$  es el vector que contiene los valores totales de satisfacción ponderados por cada  $i$ -ésimo producto.  $s$  es el mayor valor de satisfacción obtenido de los productos evaluados. La matriz  $c_{i,j}$  se obtiene evaluando la característica  $j$ -ésima del  $i$ -ésimo producto según las reglas difusas definidas para el individuo  $I$  y su propia base de conocimiento.

En el modelo propuesto se consideran dos escenarios de evaluación basados en lógica difusa con el fin de generar heterogeneidad de respuesta entre los individuos como lo plantea Gazquez, 2007. Para el primer escenario se usan las funciones de pertenencia triangular y trapezoidal, para el segundo escenario se usan las funciones de pertenencia Gaussianas. El detalle de las funciones de pertenencia aparecen en (Ross, 2010). Cada individuo  $I$  obtiene el valor de satisfacción según su base de conocimiento, los conjuntos difusos definidos, las reglas evaluadas y el método de inferencia Mamdani tal como indica (5.1).



$$\begin{aligned}
 v_{i,j} &= \frac{1}{5} * c_{i,j} \\
 vs_i &= \frac{1}{CN} \sum_{j=1}^C \sum_{z=1}^N v_{i,j} * mp_{j,z} \\
 s &= \operatorname{argmax}(vs_i); \forall i \in \{1, \dots, M\}
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

Una vez calculado el valor de satisfacción, se debe calcular el valor de incertidumbre. La incertidumbre se divide en dos, la incertidumbre personal y la incertidumbre social. Para calcular la incertidumbre social, se usan las siguientes variables:  $ss$  es la suma de los valores de satisfacción de los vecinos que prefieren el mismo producto que el individuo  $I$ .  $ds$  es la suma de los valores de satisfacción de los vecinos que no prefieren el mismo producto que el individuo  $I$ .  $f_r$  es el producto preferido por el individuo  $r$ .  $V_{s_{i,r}}$  es el valor de satisfacción del  $r$ -ésimo vecino con el  $i$ -ésimo producto.  $R$  es el número total de vecinos del individuo  $I$ .  $R$  debe ser mayor a 0, si  $R \leq 0$ , entonces  $is = 1$ .

Cada individuo  $I$  calcula la incertidumbre social ( $is$ ) evaluando el grupo de ecuaciones (5.2).

$$\begin{aligned}
 ss &= \sum_{r=1}^R V_{s_{i,r}; \forall s_{i,r} | f_r = f_I} \\
 ds &= \sum_{r=1}^R V_{s_{i,r}; \forall s_{i,r} | f_r \neq f_I} \\
 is &= \frac{ds}{ds + ss}
 \end{aligned} \tag{5.2}$$

Para calcular la incertidumbre personal se utilizan las variables:  $ex$  es el peso que el individuo  $I$  asigna a la experiencia.  $amb$  es el valor de ambición actual del individuo  $I$  que se interpreta como el valor de satisfacción con el producto anterior.  $f_t$  es el índice del producto preferido en la iteración  $t$ .  $f_{-1}$  es el índice de la marca con la cual el individuo  $I$  tiene experiencia. Con (5.3) se calcula la incertidumbre personal ( $ie_x$ ).

$$ie_x = \begin{cases} ex * (1 - amb) & \text{si } f_t = f_{-1} \\ ex * (amb) & \text{si } f_t \neq f_{-1} \end{cases} \tag{5.3}$$

La incertidumbre total  $it$  es el valor ponderado de los dos tipos de incertidumbre ( $is$  y  $ie_x$ ) y se calcula con las ecuaciones que se especifican en (5.4), donde  $B$  es la base de conocimiento de cada individuo,  $ip$  corresponde a la  $i$ -ésima característica,  $ns$  el peso de la necesidad social,  $ne$  el peso de la necesidad existencial,  $np$  el peso de la necesidad personal,  $svs$  es el peso de la incertidumbre social,  $svp$  es el peso de la incertidumbre

personal,  $\alpha$  es el peso normalizado de la incertidumbre social y  $\beta$  es el peso normalizado de la incertidumbre personal.

$$\begin{aligned}
svs &= \sum_{ip=1}^C B_{ip,ns} \\
svp &= \sum_{ip=1}^C B_{ip,ne} + B_{ip,np} \\
\alpha &= \frac{svs}{svs + svp} \\
\beta &= \frac{svp}{svs + svp} \\
it &= \alpha * is + \beta * iex
\end{aligned} \tag{5.4}$$

A partir del cálculo de la satisfacción y la incertidumbre cada individuo selecciona la estrategia de decisión o acción. La cual implica una modificación en la base de conocimiento, excepto en los casos de repetición y adopción.

En el cálculo de la acción, tal como se detalla en (5.5), en dónde se consideran las variables:  $amb$  es el valor del umbral de ambición,  $tol$  es el valor del umbral de incertidumbre,  $uirr$  es el valor del umbral del comportamiento irracional,  $irr$  es un valor aleatorio que determina el comportamiento irracional,  $prud$  es el valor que indica el límite hasta el cual un individuo racional y repetidor decide adoptar el producto evaluado,  $ip$  es el índice de una propiedad específica y  $iv$  es el índice del vecino con mayor credibilidad.

$$\begin{aligned}
irr &= rand(0, 1) \\
accion &= \begin{cases} 1 & \text{si } it < tol \wedge s < amb \wedge irr > uirr \\ 2 & \text{si } it \geq tol \wedge s \geq amb \wedge irr > uirr \\ 3 & \text{si } it \geq tol \wedge s < amb \wedge irr > uirr \\ 4 & \text{si } it < tol \wedge s \geq amb \wedge irr > uirr \\ 5 & \text{si } irr \leq uirr \vee \#(accion = 3) = prud \end{cases} \tag{5.5}
\end{aligned}$$

Cada índice representa la acción que puede tomar el agente, 1 es indagación, 2 es optimización, 3 es Imitación, 4 es Repetición y 5 es Adopción.

### 5.5.1. Indagación

El individuo consulta su vecindario local e intenta encontrar un consenso entre la información que recibe y el resultado lo incorpora a su propia base de conocimiento.

Las ecuaciones (5.6), (5.7) y (5.8) actualizan la base de conocimiento, considerando  $p_{r,j}$  como el peso que el  $r$ -ésimo individuo asigna de una propiedad específica  $ip$  sobre el  $j$ -ésimo tipo de necesidad.  $ns$  se refiere al valor de la necesidad social.  $np$  es el valor de la necesidad personal,  $ne$  es el valor de la necesidad existencial y  $nb$  es el índice del bloque de reglas difusas con las cuales se va a evaluar la propiedad específica. Además se define el conjunto  $tn = \{ns, np, ne\}$  y la función  $ind$  que extrae el índice de la propiedad seleccionada.

$$ip = ind \left( \operatorname{argmax} \left( \sum_{r=1}^R \sum_{j=1}^N p_{r,j} \right) \right) \quad (5.6)$$

Si la regla seleccionada es nueva en la base de conocimiento del individuo, entonces esta se adiciona, si la regla ya existe en la base de conocimiento, entonces se refuerza adicionando un factor  $fref$ .

$$B_{ip,tn} = \begin{cases} randn(R_m, R_v) & \text{si } B_{ip,nb} < 0 \\ B_{ip,tn} + fref & \text{si } B_{ip,nb} \geq 0 \end{cases} \quad (5.7)$$

Todos los valores de la base de conocimiento deben estar entre 0 y 1.

$$B_{ip,tn} = 1, \text{ si } B_{ip,tn} > 1 \quad (5.8)$$

### 5.5.2. Optimización

El individuo intenta obtener más información sobre los productos que está evaluando. En las ecuaciones (5.9) se muestra la forma como el individuo adquiere nueva información, seleccionando una nueva característica  $ip$  que incorpora a su base de conocimiento.

$$\begin{aligned} ip &= rand(n) \\ B_{ip,tn} &= randn(R_m, R_v) \end{aligned} \quad (5.9)$$

### 5.5.3. Imitación

El individuo consulta el vecino  $b$  que tiene una mayor credibilidad  $e$ , y copia parcialmente la base de conocimiento de él. En las ecuaciones (5.10), para el individuo  $a$  se describe el proceso de imitación

$$\begin{aligned} iv &= b, \operatorname{argmax}(e_{a,b}) \\ ip &= rand(n) \\ B_{ip,tn} &= B_{ip,tn}^{iv} \end{aligned} \quad (5.10)$$

Para todos los casos se debe seleccionar el bloque de reglas difusas con el que se va a evaluar la propiedad adquirida o reforzada tal como aparece en (5.11),  $D_p$  es el número

de bloques de reglas difusas definido para la  $p$ -ésima propiedad.

$$B_{ip,nb} = rand(D_p) \quad (5.11)$$

#### 5.5.4. Repetición

El individuo continúa con la misma elección realizada, no modifica su base de conocimiento.

Las topologías que se prueban como escenarios son las que aparecen descritas en (Stattner, 2012) : red aleatoria (Érdos- Renyi), red pequeño mundo (Watts-Strogatz) y red escala libre (Barabasi-Albert)

La dinámica de la red social en la cual están inmersos los individuos se representa como una matriz de adyacencias y sigue la dinámica que se detalla a continuación.

Las variables definidas son:  $e_{a,b}(t)$  es el valor del enlace entre los individuos  $a$  y  $b$  en la iteración  $t$ ,  $s_{f,a}$  es el valor de satisfacción del individuo  $a$  con el producto preferido  $f$  y  $F_c$  es el factor de reducción de credibilidad

Se modifica la estructura de la red global utilizando (5.12), estableciendo nuevos enlaces según la teoría de formación de enlaces y eliminando otros.

$$e_{a,b}(t+1) = e_{a,b}(t) + (s_{f,a} - s_{f,b}) - F_c$$

$$e_{a,b}(t+1) = \begin{cases} 1 & \text{si } e_{a,b}(t+1) > 1 \\ 0 & \text{si } e_{a,b}(t+1) < 0 \end{cases} \quad (5.12)$$

Los nuevos enlaces se establecen según la topología definida. En la red aleatoria los nuevos enlaces se establecen de forma aleatoria. En la red de pequeño mundo se utiliza el concepto de cerramiento triangular y en la red de escala libre se crean enlaces preferenciales. Estos conceptos se han explicado en la sección 4.6.1 y se detallan en el trabajo de Stattner (Stattner, 2012).

La interacción de los componentes definidos del modelo así como las teorías expuestas aparecen en la figura 5.2, que describe el flujo de toma de decisiones por cada agente que hace parte de la simulación configurada. La primera etapa consiste en adquirir la información de los productos disponibles en el mercado y evaluar según criterio personal las que estén disponibles. Luego a partir de la evaluación de cada una de ellas se obtiene un valor que indica la satisfacción que brinda ese producto en función de la información disponible, los criterios de evaluación y las necesidades. En la siguiente etapa se determina que tanta incertidumbre genera el producto que mejor satisface las necesidades, esa incertidumbre considera la experiencia con otros productos y las preferencias de los vecinos (preferencias sociales). Cada individuo en cualquier momento puede experimentar un comportamiento irracional, es decir adquirir un producto sin considerar la satisfacción analítica de sus necesidades ni la opinión del círculo social que lo rodea, por ello en el cuarto paso el modelo se divide en dos: el

comportamiento normativo y el comportamiento irracional. Si el individuo elige continuar con la evaluación normativa entonces decide la acción a tomar según los valores calculados anteriormente, cada una de las cuatro posibles acciones que decida tomar modificará su base de conocimiento. Según las modificaciones realizadas procede a tomar una decisión, que para el caso de estudio es si adquirir o no el producto que está evaluando. Finalmente, dado que la red social ha sido modelada de forma dinámica, se procede a hacer la actualización local según la topología configurada inicialmente. El ciclo se repite hasta que se cumpla el número de iteraciones predefinida en los parámetros.

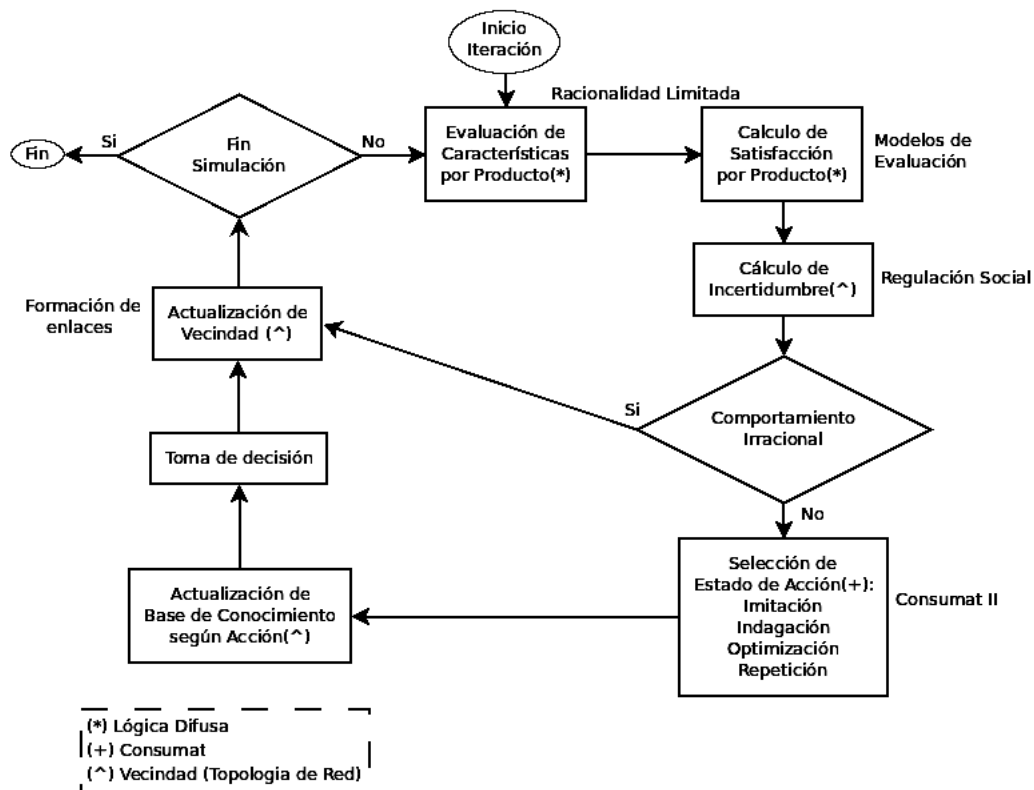


FIGURA 5.2: Flujo del modelo propuesto

### 5.6. Definición de las reglas difusas

Las reglas difusas para el modelo están definidas según las propiedades de los productos evaluados. Se han creado bloques de reglas que representan las preferencias de cada agente, es decir la forma como cada uno de ellos puede evaluar una característica específica de los productos considerados. La estructura general es como se muestra en la figura 5.3, la definición explícita de las reglas aparece en el apéndice A. Las funciones de pertenencia pueden ser configuradas también, para el escenario base se ha creado un conjunto de funciones de pertenencia gaussianas, la especificación se encuentra en la sección 1 del apéndice B.

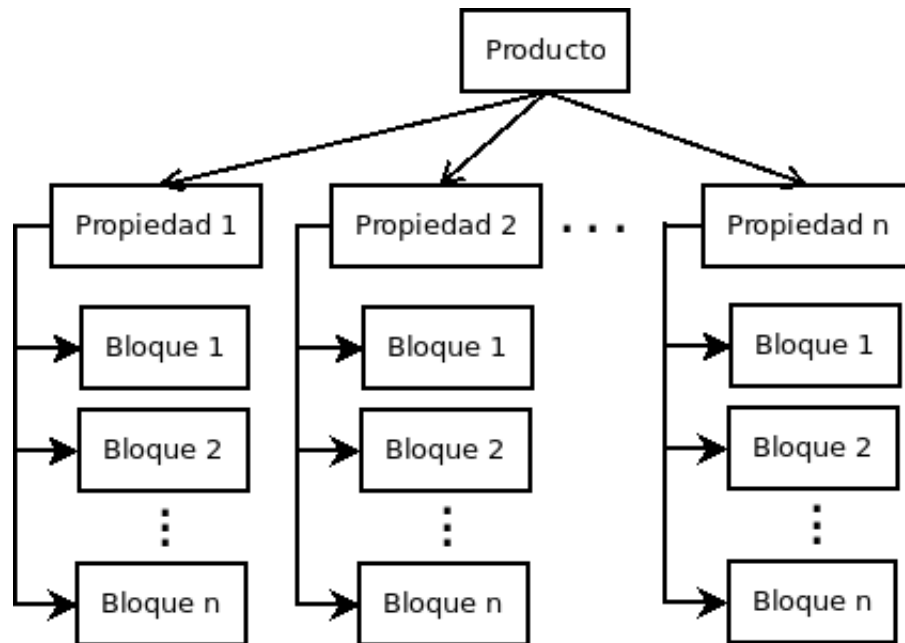


FIGURA 5.3: Esquema de definición de bloques de reglas

## 5.7. Implementación del modelo propuesto

El modelo ha sido implementado en lenguaje C++ según el diseño que aparece en la figura 5.4. Para los agentes se ha diseñado una clase que contiene las variables que se han mencionado anteriormente, para los productos también hay una clase y la clase que hace referencia a la red social simplemente establece las relaciones entre los agentes con un valor en el enlace. Las reglas difusas se gestionan con una clase que se encarga de almacenarlas en memoria desde un archivo y enumerarlas para cada característica definida. Todos esos componentes son combinados y gestionados por la clase que establece la población, que a su vez es configurada y accesada por la clase principal. En el capítulo a continuación, se muestran y analizan los resultados obtenidos con la implementación del modelo aquí descrito.

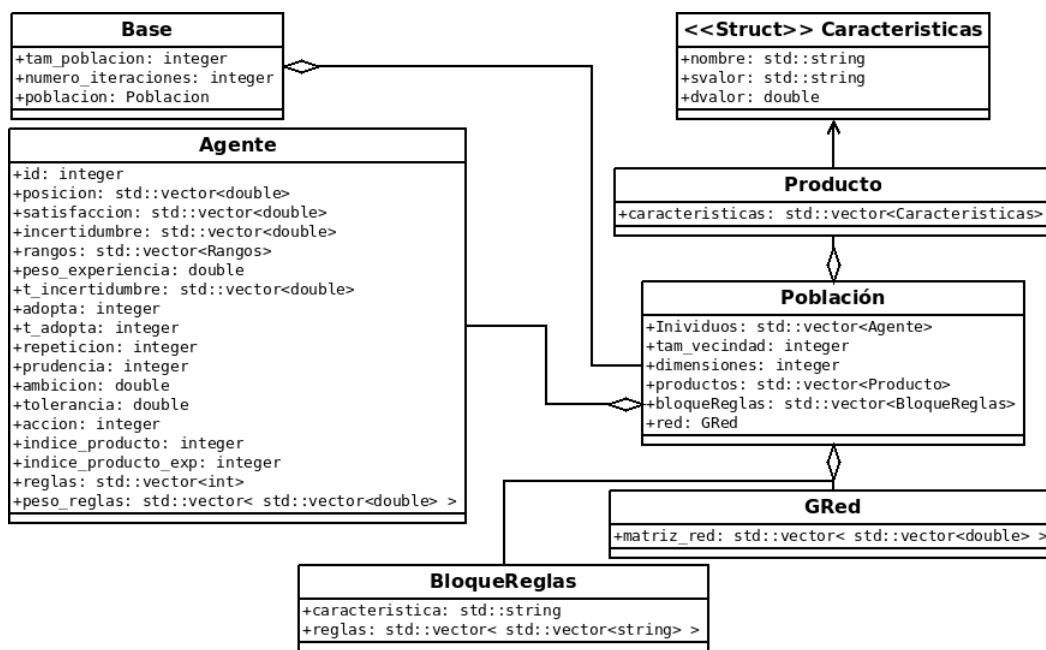


FIGURA 5.4: Diagrama de clases UML de la implementación del modelo

## Capítulo 6

# Resultados

*“El inicio no permite presagiar el fin”.*  
Herodoto

Los resultados que se muestran en este capítulo se obtuvieron con el modelo descrito en el capítulo 5 usando inicialmente los parámetros de base que se especifican en las tablas 6.1 y ???. La ejecución se realizó sobre 52 semanas considerando que cada iteración representa una semana, dicha consideración se realiza a partir de la referencia del trabajo de Kangur, 2014, que también se basa en el *framework Consumat*. Las comparaciones entre los datos obtenidos del mundo real y los resultados obtenidos de la simulación se realizan con valores porcentuales calculados sobre el total de la población considerada en cada uno de los casos.

Dado que se ha probado el modelo con dos casos específicos, los resultados que se muestran a continuación aparecen como: teléfonos móviles inteligentes (TMI) y automóviles (A).

Los valores de la tabla 6.1 han sido estimados después de ajustar los resultados a las tendencias de ventas indicadas por los datos obtenidos sobre productos competidores en el mismo periodo de tiempo; para el caso de los teléfonos móviles inteligentes la información se ha obtenido de Gartner por cada trimestre del año: tercer cuarto de 2011 (Gartner, 2011a), cuarto cuarto de 2011 (Gartner, 2011b), primer cuarto de 2012 (Gartner, 2012a) y segundo cuarto de 2012 (Gartner, 2012b); para el caso de los automóviles, la información viene de los reportes oficiales de Renault (Renault, 2013) y el grupo PSA (PSA, 2013) en el segundo, tercer y cuarto trimestres del año 2013, así como el primer trimestre del año 2014. La variable seguridad se obtiene del informe que reporta EuroNCAP para cada vehículo (EuroNCAP, 2013b) y (EuroNCAP, 2013a). Se sabe que el ideal es calibrar los parámetros usando datos reales de la población, pero esa información no está disponible de forma individual y si de alguna manera se pudiera obtener dicha información, seguramente esta representaría solamente una pequeña parte de la población global que se quiere simular; además los datos que se requieren, corresponden a varios niveles de descripción y deben estar asociados a una dinámica, es decir no es suficiente con tener datos estáticos en un momento dado. El problema de calibrar los parámetros de una simulación social es general y se pueden encontrar casos concretos y documentados como aparecen en (Treuil, Drogoul y Zucker, 2008), por tanto lo más práctico es estimar el conjunto de parámetros sobre la información global disponible.



TABLA 6.1: Parámetros usados para el escenario 1 (Escenario de base, TMI y A)

Variable	Valor
Tamaño de la población	1000
Tipo de Red	3
Media Tolerancia	0.1
Varianza Tolerancia	0.3
Media Ambición	0.5
Varianza Ambición	0.3
Tipo de Funciones de Pertenencia	Gausiana
Variabilidad Conjuntos Difusos	0.1
Media Peso Reglas	0.8
Varianza Peso Reglas	0.1
Media Peso Experiencia	0.5
Varianza Peso Experiencia	0.3
Limite Prudencia	2
Probabilidad Comportamiento Irracional(CI)	1
Porcentaje Global (CI)	0.003
Factor Reducción Credibilidad	0.07

TABLA 6.2: Parámetros de productos para el escenario 1 (Escenario de base, TMI)

Id	Propiedad	Producto 1	Producto 2	Producto 3
0	Marca	Apple Iphone 4	Samsung Galaxy SII	Huawei Sonic
1	Bateria(min)	480	450	492
2	Peso(gr)	140	116	120
3	RAM(MBytes)	512	1024	256
4	Memoria(Bytes)	65536	65536	32768
5	Cámara(MegaPíxeles)	8	8	3.2
6	Resolución(ppi)	326	218	165
7	Pantalla(mm)	89	110	89
8	Precio(Dolares)	849	485	188

TABLA 6.3: Parámetros de productos para el escenario 1 (Escenario de base, A)

Id	Propiedad	Producto 1	Producto 2
0	Marca	Renault Captur	Peugeot 2008
1	Aceleración(segundos)	10.9	13.5
2	Velocidad(km/h)	182	170
3	Potencia(hp)	120	82
4	Volúmen Maletero( $dm^3$ )	1235	1194
5	Consumo(L/100km)	5.5	4.3
6	Peso(kg)	1213	1180
7	Seguridad	77.25	76.75
8	Emisiones(g/km)	125	114

La figura 6.1 muestra los valores de incertidumbre y satisfacción promedio de toda la población a lo largo de las 52 iteraciones de una ejecución, en la figura 6.2 aparece la variación de los resultados en 52 iteraciones y 12 ejecuciones. En las dos figuras se evidencia como de forma emergente los individuos modifican su comportamiento con el fin de maximizar sus niveles de satisfacción y reducir sus niveles de incertidumbre, interpretando las figuras, es posible decir que a través de las iteraciones los individuos aprenden adquiriendo información y mejorando su situación. La figura 6.3 representa la tendencia acumulada de los compradores a lo largo de las iteraciones, se puede ver que se aproxima a la tendencia teórica descrita en el modelo de Bass (Thiriot, 2009) y la figura 6.4 muestra la tendencia general de ventas por cada producto por cada trimestre, comparando las varianzas obtenidas con la simulación y los datos de ventas del mundo real extraídos de Gartner (Gartner, 2011a), (Gartner, 2011b), (Gartner, 2012a), (Gartner, 2012b) se ve que la tendencia general obtenida es similar, sobre todo en el nivel de preferencias de los productos comparados.

Para el caso de los automóviles, la figura 6.5 presenta una mejora de la satisfacción en función del tiempo, mantenimiento de forma general el nivel de incertidumbre. La variabilidad del acumulado de compradores en la figura 6.6, sigue el modelo teórico de Bass (Thiriot, 2009) y la figura 6.7 muestra la tendencia general de ventas de los productos comparados por cada trimestre del periodo evaluado, en general se puede ver que la tendencia es similar y sobre todo se identifica claramente que de manera emergente hay una preferencia de los individuos hacia un producto sobre el otro, tal como ocurre en el mercado real.

Las figuras 6.8 y 6.9 se relacionan en el sentido en el que puede inferirse que la propagación de preferencias sobre un producto específico impacta directamente en las ventas. Mientras un producto es más vendido y cumple con las expectativas de los consumidores, dicho producto es más popular y por tanto la información sobre las características y niveles de satisfacción de dicho producto se propagan con mayor

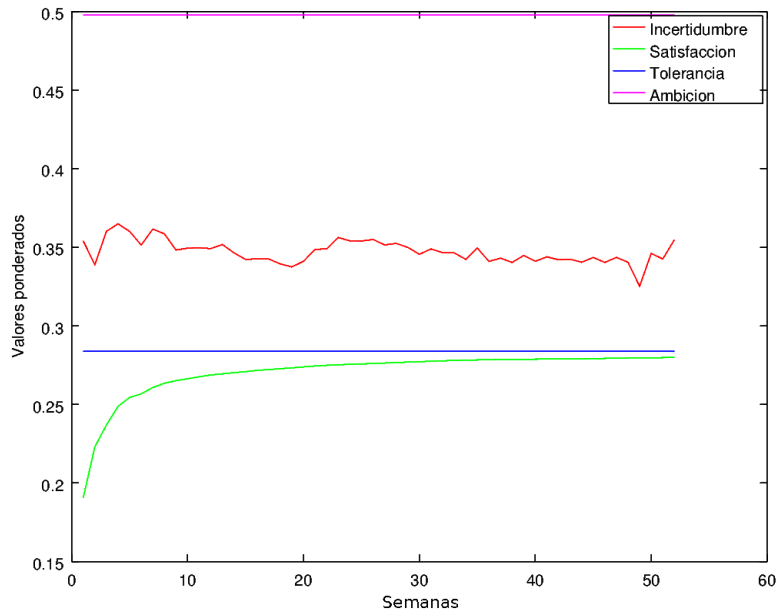


FIGURA 6.1: Evolución de incertidumbre y satisfacción global de los individuos (1 ejecución, TMI)

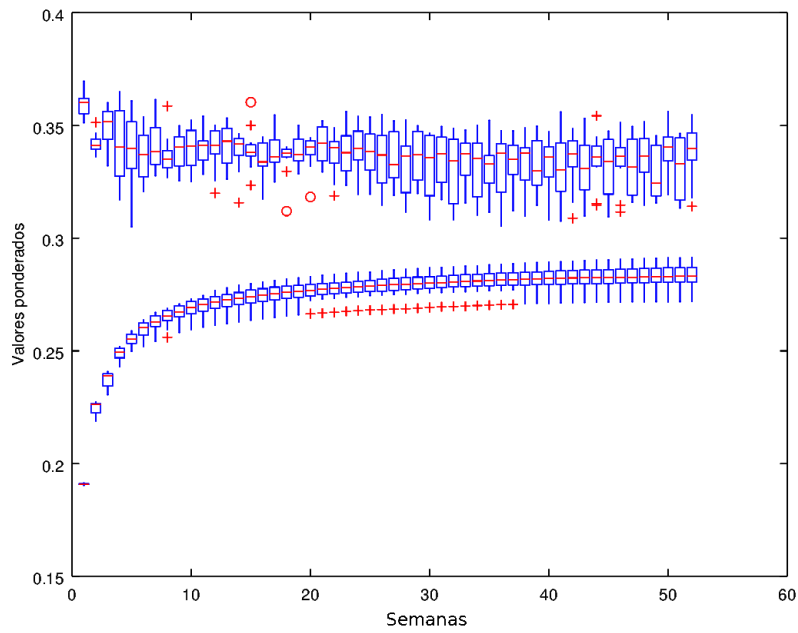


FIGURA 6.2: Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (12 ejecuciones, TMI)

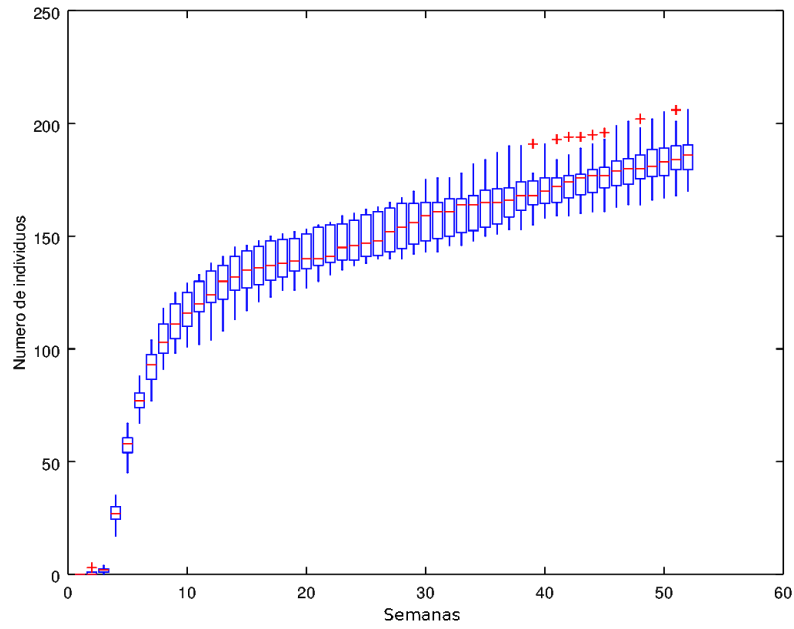


FIGURA 6.3: Variabilidad de total compradores (12 ejecuciones, TMI)

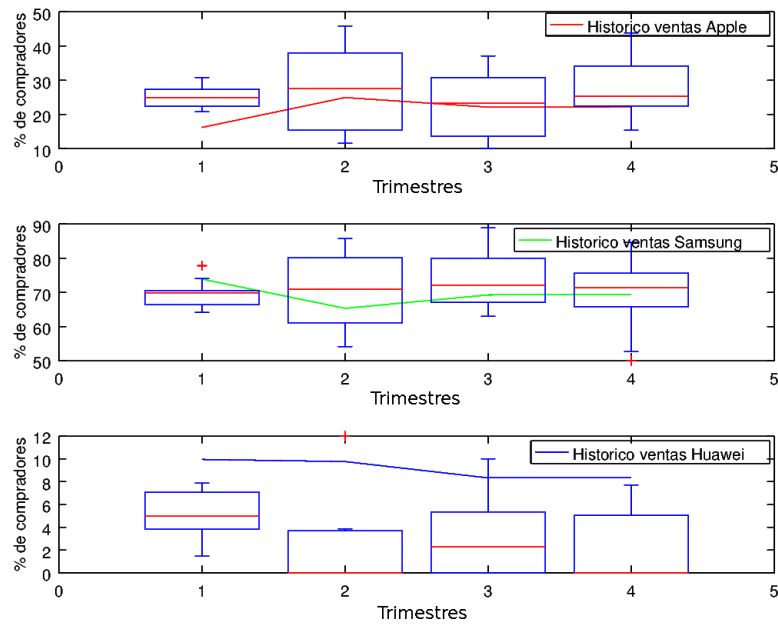


FIGURA 6.4: Ventas trimestrales por marca (12 ejecuciones, TMI)

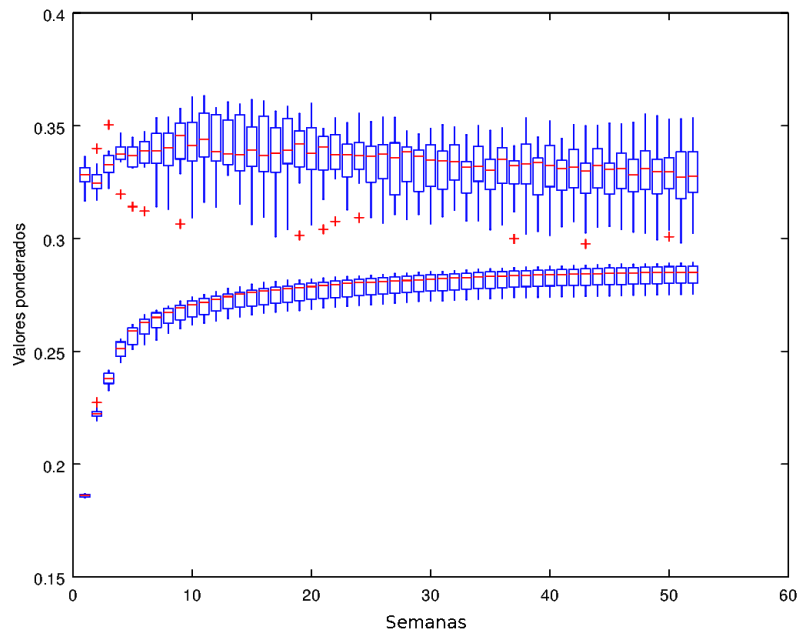


FIGURA 6.5: Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (12 ejecuciones, A)

rapidez y sobre un mayor número de individuos dentro de la red social.

La figura 6.9 muestra como la preferencia por un determinado producto se propaga en el tiempo a través de la red social, esta preferencia cambia ya sea porque se adquiere nueva información de los productos o por influencia del entorno, en este caso es de la vecindad social.

Ya que un individuo no posee toda la información sobre todos los productos, este puede adquirir más información de ellos a lo largo del tiempo. En términos del modelo propuesto, lo que un individuo hace es incluir en su base de conocimiento características que antes desconocía e incluirlas en la evaluación que permite verificar si el producto satisface su ambición y no sobrepasa su umbral de incertidumbre. La figura 6.10 presenta la evolución del conocimiento general de todos los individuos por cada una de las características configuradas de los productos.

El estado interno de cada individuo permite ver como evoluciona su proceso cognitivo, ya que de un estado de alta incertidumbre y baja satisfacción (Imitación), este puede encontrar la información y los vecinos apropiados para conseguir un producto que se adapte a sus necesidades y así pasar al estado de comprador. La figura 6.11 muestra la evolución de toda la población con respecto a los cinco estados modelados, en la

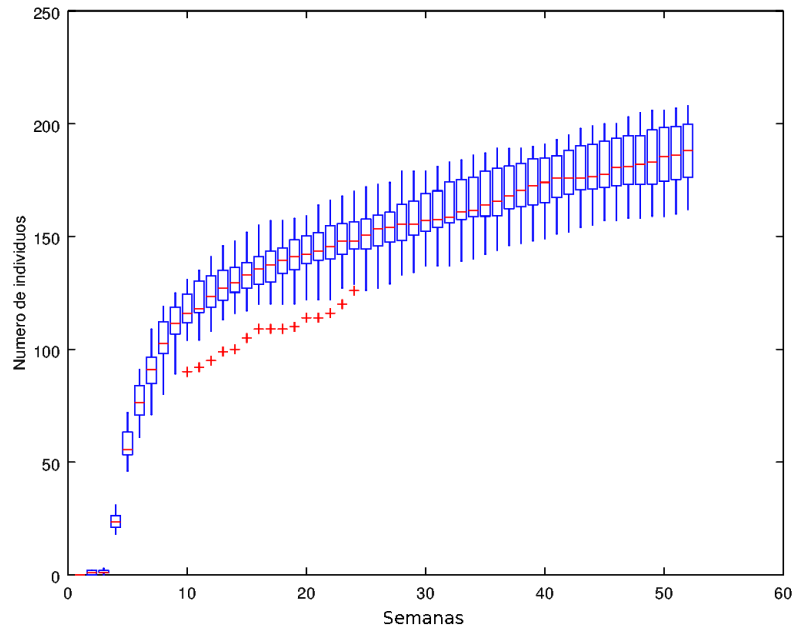


FIGURA 6.6: Variabilidad de total compradores (12 ejecuciones, A)

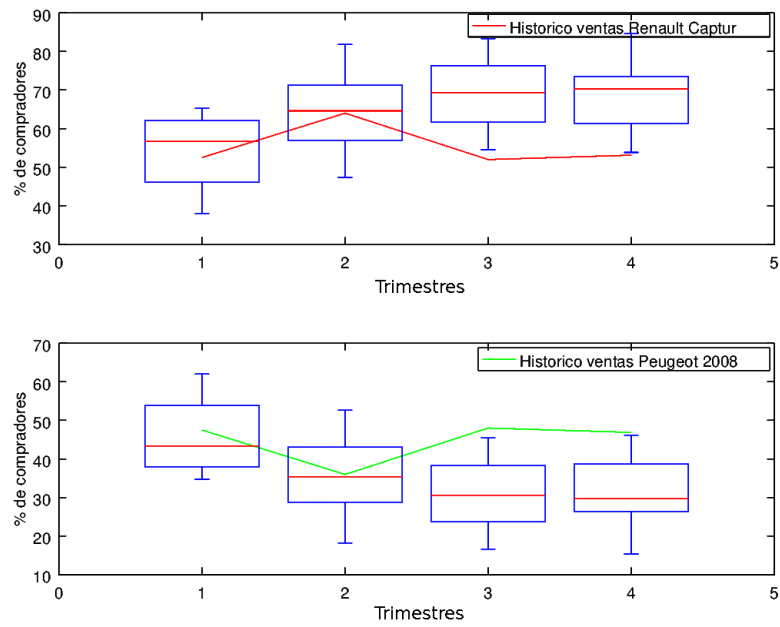


FIGURA 6.7: Ventas trimestrales por marca (12 ejecuciones, A)

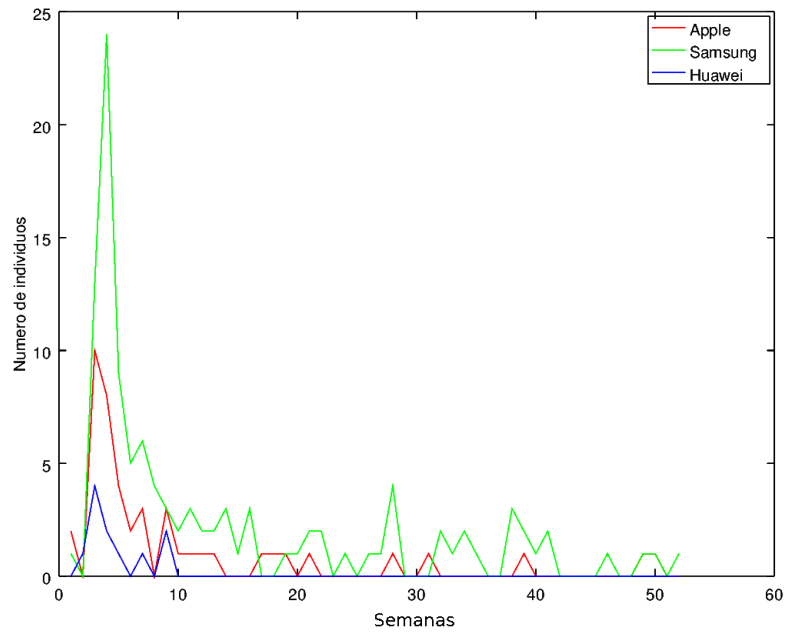


FIGURA 6.8: Ventas diarias por producto (1 ejecución, TMI)

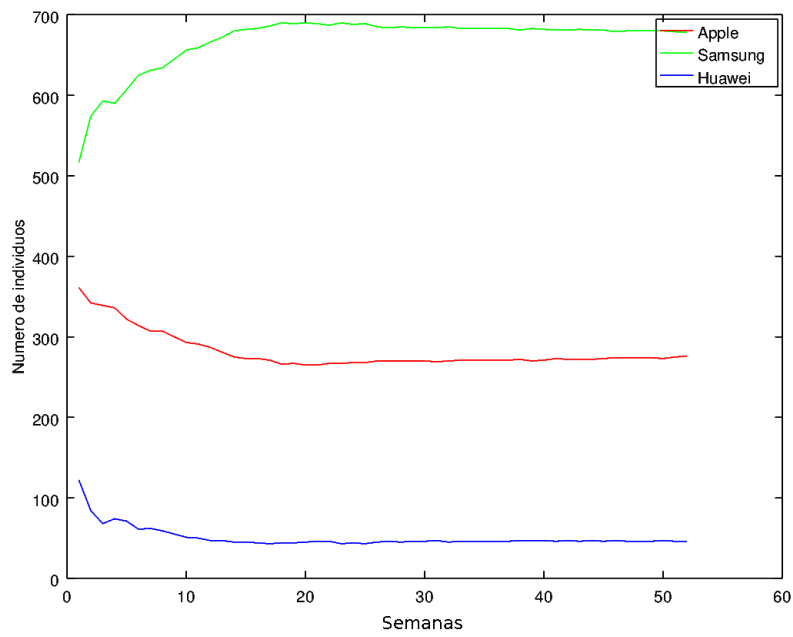


FIGURA 6.9: Propagación de la preferencia de productos (1 ejecución, TMI)

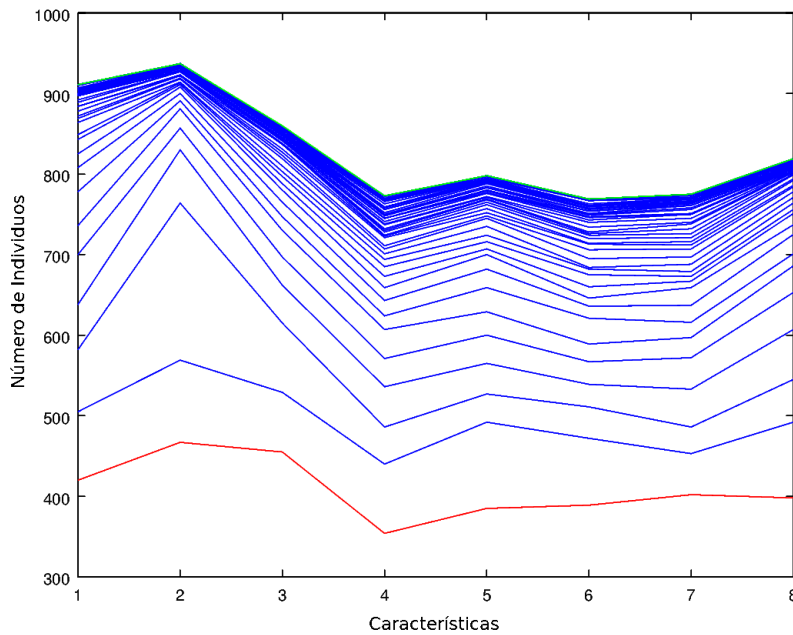


FIGURA 6.10: Evolución de las preferencias por características (1 ejecución, TMI)

ejecución reportada se ve que el número de individuos optimizadores aumenta, mientras que el número de indagadores e imitadores decrece, los repetidores y compradores presentan una tendencia variable, los adoptadores siempre están en crecimiento casi sigmoïdal.

Las reglas han sido modeladas según bloques predefinidos por cada característica siguiendo las especificaciones de la lógica difusa, la figura 6.12 muestra las curvas generadas con los tres bloques predefinidos para la primera característica de los teléfonos móviles inteligentes. En este caso la curva azul es más exigente hasta 600, ya que otorga una calificación alta solamente si el valor de la característica es alto también; más allá de 600, la curva exigente es la verde; la curva roja es más tolerante en términos de la relación valor de la propiedad/calificación. Y dado que cada individuo posee sus propios criterios de evaluación de características, se han definido umbrales aleatorios que generan sobre un conjunto de funciones de pertenencia predefinido otro conjunto pero limitado por diferentes intervalos.

Como resalta Martin, 2013, el análisis estadístico de la información en la simulación de redes sociales se hace generalmente en la etapa inicial de modelamiento o en la etapa final de análisis de los resultados. En el análisis de los resultados se puede identificar a los individuos influyentes a través de los estudios de centralidad, extraer las características representativas de un producto o servicio, caracterizar el fenómeno de difusión a través de la topología de la red, identificar grupos asociaciones o clasificar individuos a partir de sus características.



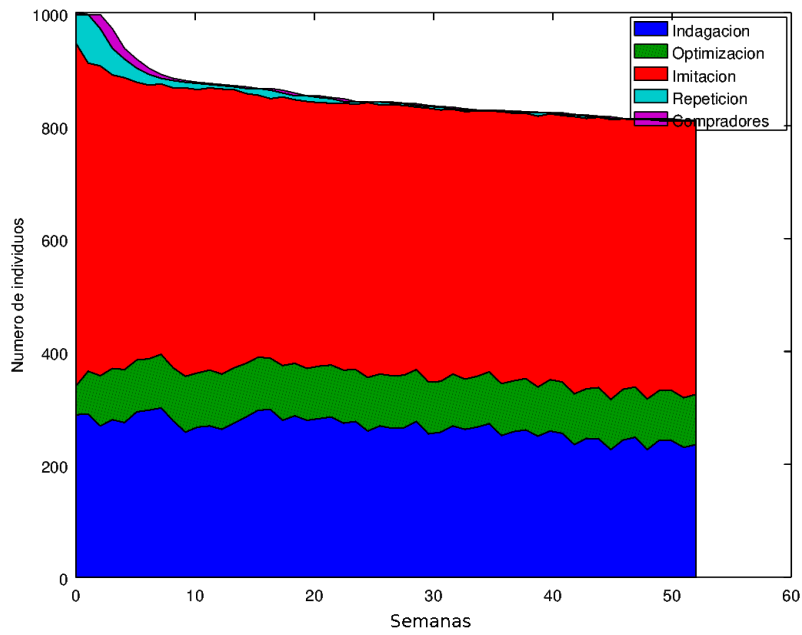


FIGURA 6.11: Evolución de los estados de los individuos (1 ejecución, TMI)

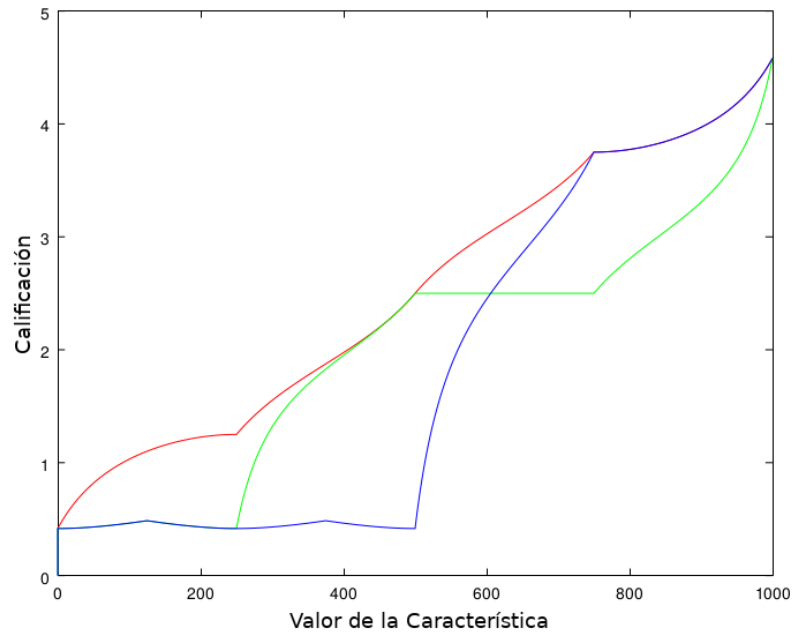


FIGURA 6.12: Curvas de preferencias según las reglas difusas definidas

## 6.1. Análisis principal de componentes (APC)

El análisis de componentes principales es una técnica utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos. Sirve para analizar grandes cantidades de datos e identificar las variables correlacionadas generalmente llamadas componentes principales. En algunos casos la aplicación del análisis de componentes principales permite detectar tendencias, patrones y valores atípicos. Una lista más detallada aparece en (Charlton, 2010)

- Exámen de correlaciones entre variables de un conjunto
- Reducción de las dimensiones básicas de variabilidad en el conjunto medido
- Reducción de variables que aportan poca información
- Exámen de agrupamiento de los individuos en un espacio n-dimensional
- Determinar el peso de de las variables al momento de construir índices
- Localización de individuos en grupos previamente demarcados
- Reconocimiento de individuos no identificados
- Ortogonalización de cálculos de regresión

El análisis de componentes principales es una técnica muy usada en ciencias físicas y sociales.

Tal como explica (Jolliffe, 2002), se asume que se inicia con un set de datos que están representados en una matriz  $m \times n$  llamada  $X$ . Lo que se quiere es transformar linealmente la matriz  $X$  en una matriz  $Y$  también de dimensión  $m \times n$  y para ello debemos usar una matriz auxiliar llamada  $P$  de  $m \times m$ . La transformación queda expresada como  $Y = PX$ . El ACP define la independencia considerando la varianza de los datos originales. La varianza de un vector  $r$  con media  $\mu = 0$  se calcula usando la ecuación (6.1).

$$\sigma_r^2 = \frac{1}{n} r r^T \quad (6.1)$$

Y la covarianza entre dos vectores  $r$  y  $s$ , los dos con  $\mu = 0$  se calcula con la ecuación (6.2).

$$\sigma_{rs}^2 = \frac{1}{n-1} r s^T \quad (6.2)$$

A partir de estas definiciones podemos obtener la matriz de covarianza según la ecuación (6.3).

$$C_x = \frac{1}{n-1} X X^T = \frac{1}{n-1} \begin{pmatrix} x_1 x_1^T & x_1 x_2^T & \cdots & x_1 x_m^T \\ x_2 x_1^T & x_2 x_2^T & \cdots & x_2 x_m^T \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m x_1^T & x_m x_2^T & \cdots & x_m x_m^T \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{m \times m} \quad (6.3)$$

Esta matriz de covarianza es considerada como la medida de que tanto están correlacionadas las variables.

El APC puede hacerse usando el método de descomposición en valores singulares, para lo cual es necesario obtener la matriz  $Z$  de  $n \times m$  con la ecuación (6.4).

$$Z = \frac{1}{\sqrt{n-1}} X^T \quad (6.4)$$

Y luego esa matriz resultante es a la que se aplica la descomposición en valores singulares  $Z = USV^T$  y para obtener los valores originales como proyecciones sobre las direcciones descritas por APC se aplica la ecuación (6.5).

$$Y = V^T X \quad (6.5)$$

Si se quieren obtener los datos originales se usa la ecuación (6.6).

$$X = VY \quad (6.6)$$

En este caso se va a aplicar el análisis principal de componentes para ver la correlación entre las características de los productos para una ejecución completa de la simulación en el caso de los teléfonos móviles inteligentes. En la figura 6.13 aparecen los porcentajes de varianza explicada por cada una de las características de los productos evaluados. Se puede ver que variables explican en mayor porcentaje la variabilidad total del conjunto de datos, los identificadores de las variables son los que aparecen en la columna *id* de la tabla 6.2.

Para el caso de la figura 6.13 se puede concluir que la primera característica es la más importante, las características 2, 3, 4, 5, 6 y 7 poseen un porcentaje de varianza explicada similar y la última característica es la de menor importancia. Si quisieramos explicar el comportamiento de los consumidores podríamos reducir el modelo a las características 1, 2 y 3. Si una empresa quisiera maximizar sus ventas podría centrarse en perfeccionar su producto para esas características seleccionadas.

La figura 6.14 muestra a cada uno de los individuos y las características de los productos proyectados sobre las tres primeras componentes halladas con el método del análisis de componentes principales. Allí se ve la correlación entre las características y la dispersión de los individuos. Esta figura nos permite ver cual es la correlación entre las variables y cuales pueden ser eliminadas y explicadas por otras. Como aparece en la figura 6.13 las características 1 y 2 son las más importantes y no existe una correlación directa de ellas entre sí o con las otras características. Las variables fuertemente correlacionadas en este caso son 4, 6 y 8, además se puede establecer una correlación entre 3, 5 y 7.

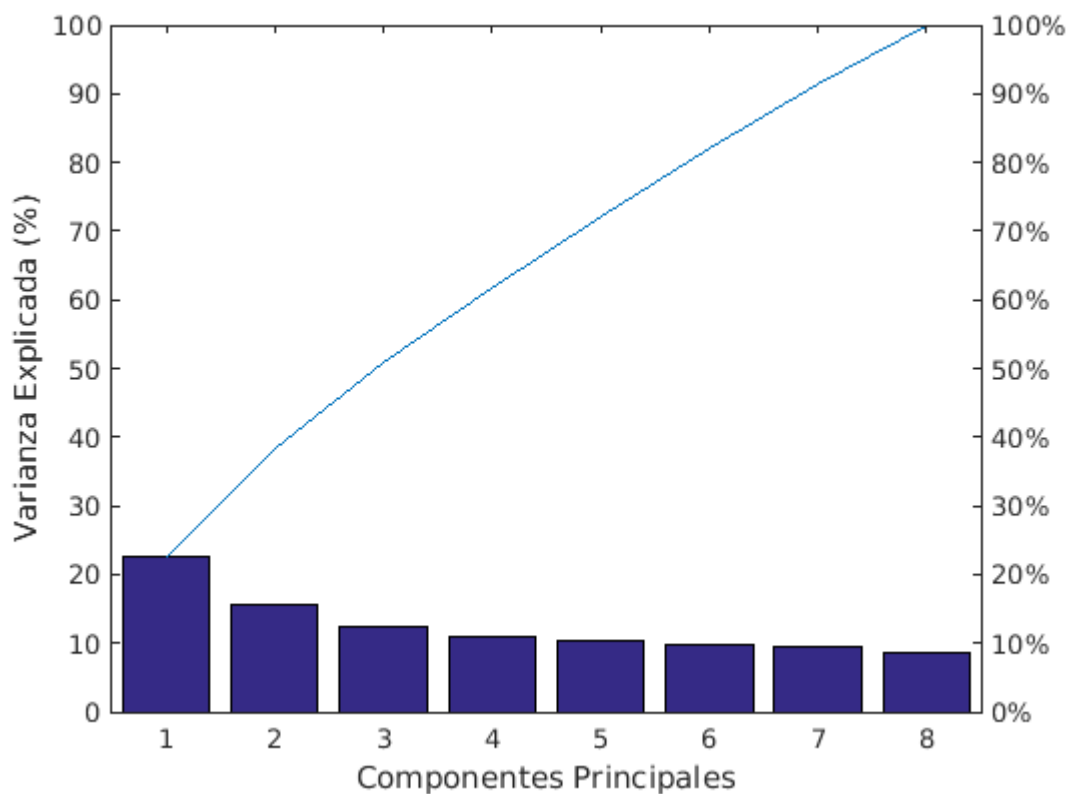


FIGURA 6.13: Varianza explicada de las características de los productos

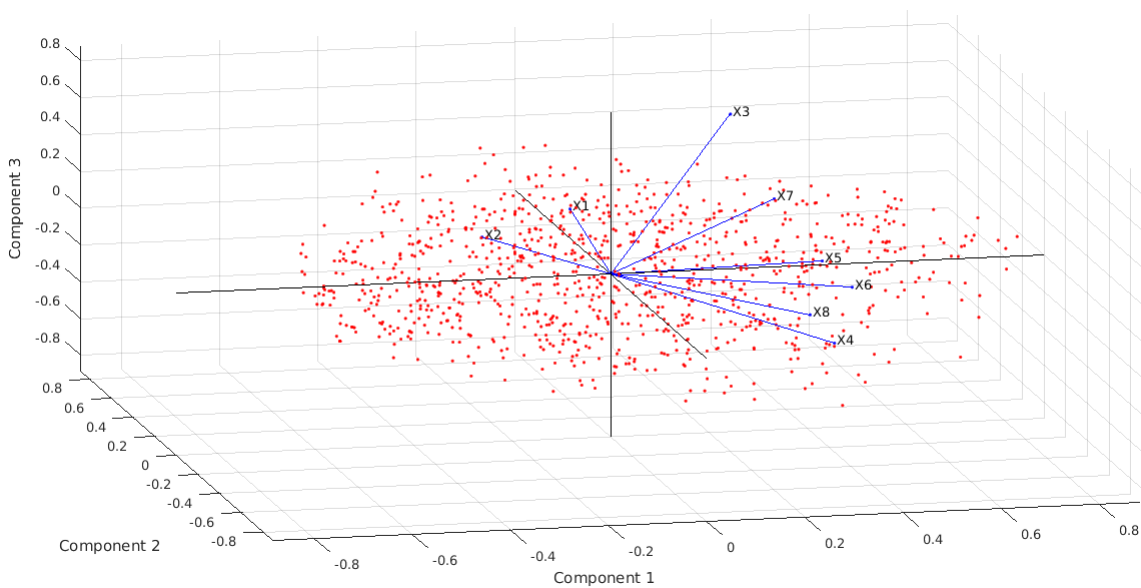


FIGURA 6.14: Proyección sobre los tres primeros componentes principales (Análisis APC)

TABLA 6.4: Variación de parámetros para análisis de sensibilidad

Variable	Valor 1	Valor 2	Valor 3	Valor 4
Tamaño de la población	1000	1000	1000	1000
Tipo de Red	3	3	3	3
<b>Media Tolerancia</b>	<b>0.7</b>	0.1	0.1	0.1
Varianza Tolerancia	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>Media Ambición</b>	0.5	<b>0.7</b>	0.5	0.5
Varianza Ambición	0.3	0.3	0.3	0.3
Variabilidad Conjuntos Difusos	0.1	0.1	0.1	0.1
Media Peso Reglas	0.8	0.8	0.8	0.8
Varianza Peso Reglas	0.1	0.1	0.1	0.1
Media Peso Experiencia	0.5	0.5	0.5	0.5
Varianza Peso Experiencia	0.3	0.3	0.3	0.3
Limite Prudencia	2	2	2	2
<b>Probabilidad Comportamiento Irracional(CI)</b>	1	1	1	<b>0</b>
<b>Porcentaje Global (CI)</b>	0.003	0.003	0.003	<b>0</b>
<b>Factor Reducción Credibilidad</b>	0.07	0.07	<b>0.5</b>	0.07

## 6.2. Análisis de sensibilidad

Los datos analizados fueron obtenidos con los parámetros que aparecen en la tabla 6.1, por lo cual, para el análisis de sensibilidad se consideraron cambios en las variables principales del modelo. Dado que cada individuo evalúa permanentemente los umbrales de ambición y tolerancia sobre los cuales toma una decisión, dichas variables fueron modificadas como se ve en la tabla 6.4, así como el factor de reducción de los enlaces sociales y las variables que determinan los comportamientos irracionales.

El análisis de sensibilidad se apoya en algunas de las figuras anteriormente descritas que entrega como resultado la ejecución de la simulación. La figura de adoptadores, la figura de evolución de incertidumbre / satisfacción y la figura de ventas trimestrales, por cada prueba de sensibilidad se ha ejecutado la simulación 10 veces.

Para la primera prueba de sensibilidad se han generado las figuras 6.15, 6.16 y 6.17. La figura 6.15 muestra la variabilidad del total de compradores que presenta un comportamiento de propagación / adopción de acuerdo a las teorías de Rogers y Bass, es decir que la adopción de los productos describe la forma de una 'S', lo cual indica que los compradores iniciales y el proceso de aprendizaje individual tienen una influencia sobre la toma de decisiones; dos diferencias notables con respecto al escenario base son: el número de compradores es mayor y la forma 'S' tiene mayor pendiente en la prueba de sensibilidad 1. La figura 6.16 presenta una amplia evolución de la satisfacción, pero la incertidumbre casi se mantiene igual desde el principio hasta el fin; ese comportamiento puede ser la consecuencia de que el umbral de tolerancia ha sido configurado con un nivel alto. En la figura 6.17 se evidencian las diferencias entre los valores de ventas trimestrales obtenidos con la simulación y los datos del mercado

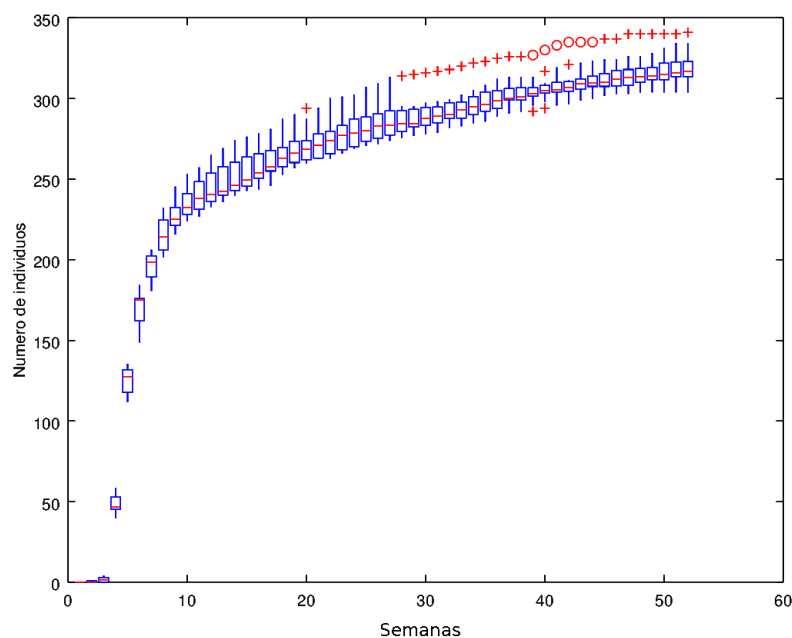


FIGURA 6.15: Variabilidad de total compradores (Prueba de sensibilidad 1)

para los mismos periodos, en este caso solamente la tendencia es similar en Apple, pero con valores superiores y las otras dos marcas muestran tendencias diferentes.

Para la segunda prueba de sensibilidad se han generado las figuras 6.18, 6.19 y 6.20. La figura 6.18 muestra la variabilidad del total de compradores que presenta un comportamiento de propagación / adopción similar a la prueba de sensibilidad 1; la principal diferencia es la baja en el número de compradores, eso puede ser consecuencia del bajo valor del umbral de ambición. La figura 6.19 presenta una evolución de la satisfacción pequeña en relación con los resultados del escenario 1, por otro lado se observa que la incertidumbre a pesar de las oscilaciones al final disminuye. En la figura 6.20, el comparativo de ventas trimestrales es favorable para Samsung, es decir que la tendencia es cercana entre los datos y lo obtenido con la simulación, las otras marcas presentan amplias diferencias.

Para la tercera prueba de sensibilidad se han generado las figuras 6.21, 6.22 y 6.23. En este caso lo que se ha hecho es cambiar el umbral de reducción de los enlaces sociales, lo que se quiere es ver la evolución del modelo con un bajo nivel de interacción social entre los individuos. La figura 6.21 muestra la variabilidad del total de compradores que presenta un comportamiento de propagación / adopción similar a las pruebas de sensibilidad anteriores; las principales diferencias son: el bajo número de compradores y una mayor variabilidad en las etapas finales, eso puede ser consecuencia

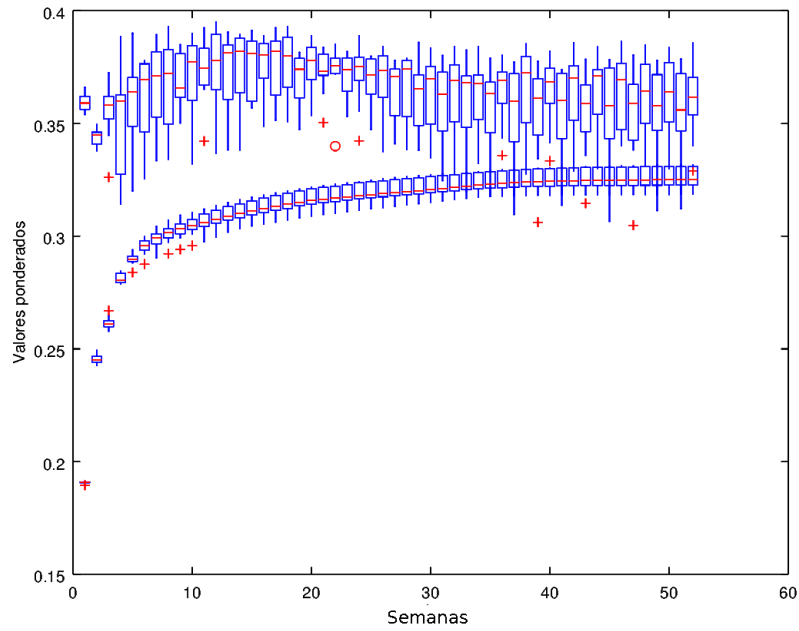


FIGURA 6.16: Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Prueba de sensibilidad 1)

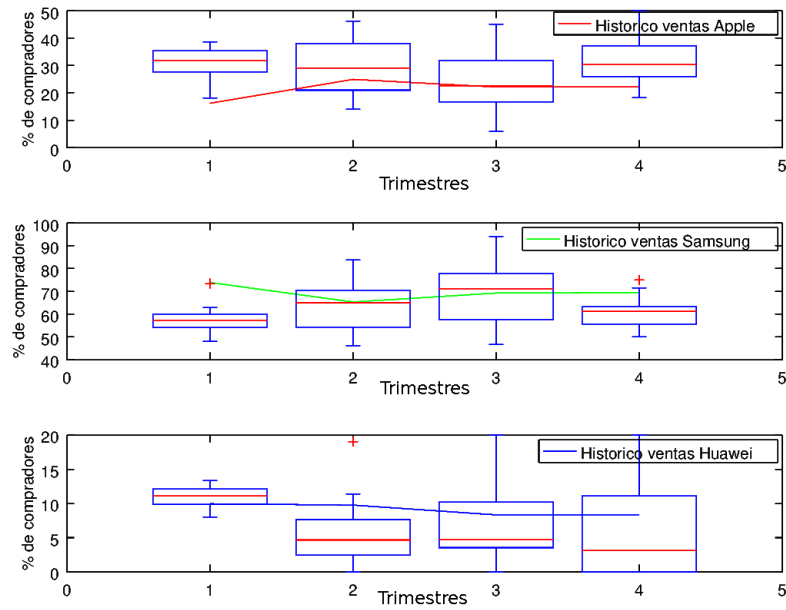


FIGURA 6.17: Ventas trimestrales por marca (Prueba de sensibilidad 1)

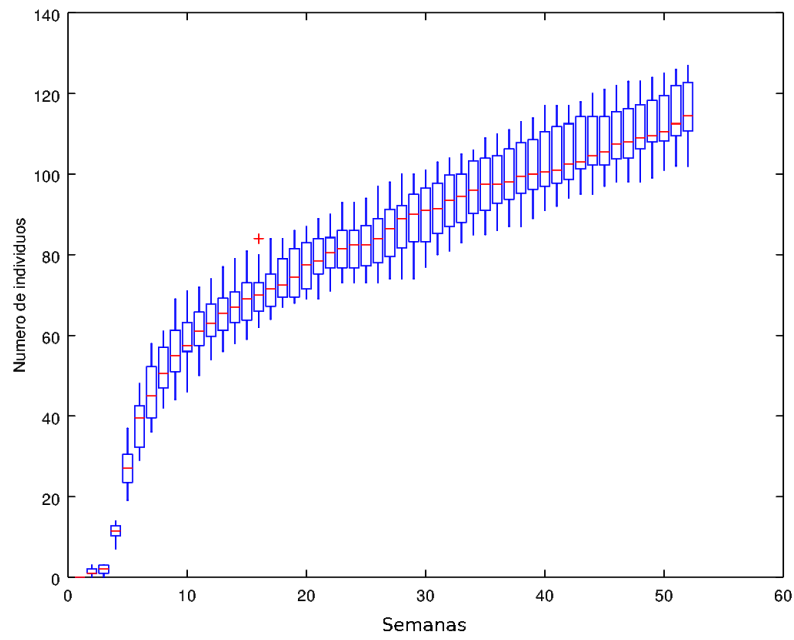


FIGURA 6.18: Variabilidad de total compradores (Prueba de sensibilidad 2)

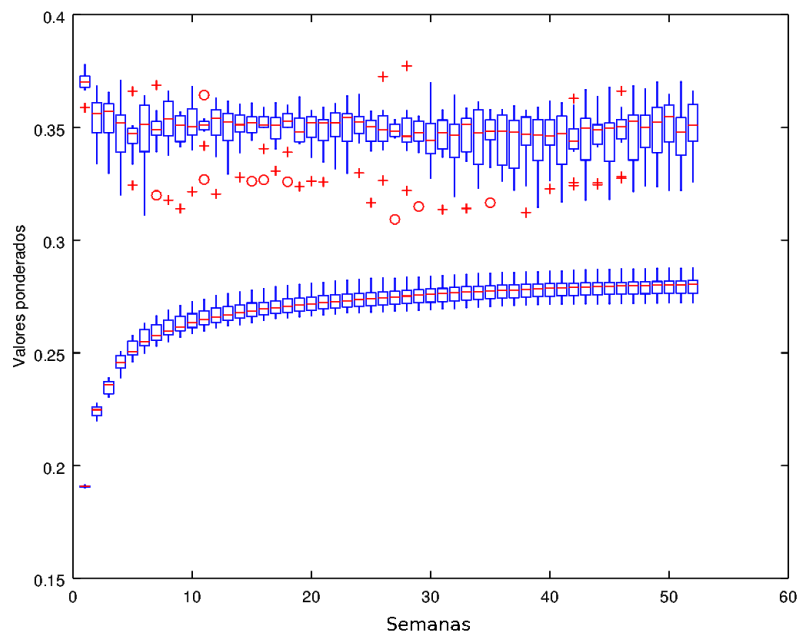


FIGURA 6.19: Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Prueba de sensibilidad 2)



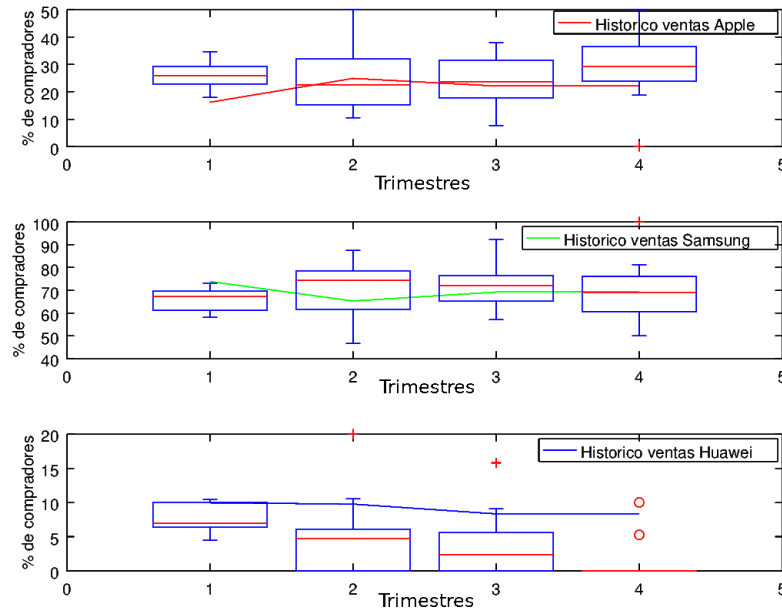


FIGURA 6.20: Ventas trimestrales por marca (Prueba de sensibilidad 2)

precisamente de la baja interacción que influye directamente en el indicador de incertidumbre. La figura 6.22 presenta una evolución mínima tanto del indicador de satisfacción como del indicador de incertidumbre. En la figura 6.23, el comparativo de ventas trimestrales presenta para todas las marcas tendencias diferentes con respecto a los datos de mercado, lo cual indica que los enlaces e intercambios sociales son primordiales en la toma de decisiones de los actores sociales.

Para la cuarta prueba de sensibilidad se han generado las figuras 6.24, 6.25 y 6.26. En este caso lo que se ha hecho es cambiar el umbral de las dos variables que describen el comportamiento irracional, lo que se quiere es ver la evolución del modelo con individuos cuyo comportamiento es totalmente normativo en términos externos al proceso cognitivo. La figura 6.24 muestra la variabilidad del total de compradores que presenta un comportamiento donde el número de compradores es bajo y una alta variabilidad desde el comienzo hasta las etapas finales, eso puede ser consecuencia de que el comportamiento normativo limita la toma de decisiones en todos los individuos y en algunos casos genera incertidumbre en el aspecto social, cuando los individuos contrastan y comparan sus variables de decisión. La figura 6.22 presenta una evolución mínima del indicador de satisfacción a partir de la décima semana; en cuanto a la incertidumbre, la varianza es alta y la tendencia presenta una dirección no definida. En la figura 6.23, el comparativo de ventas trimestrales presenta para todas las marcas tendencias diferentes con respecto a los datos de mercado; para el caso evaluado, se ve que la tendencia está alejada de los valores del mercado. Este comportamiento puede

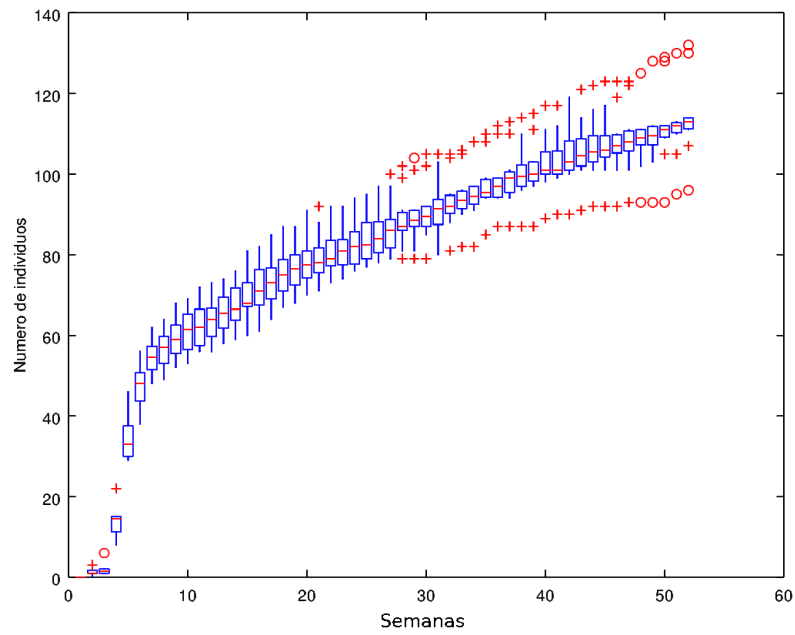


FIGURA 6.21: Variabilidad de total compradores (Prueba de sensibilidad 3)

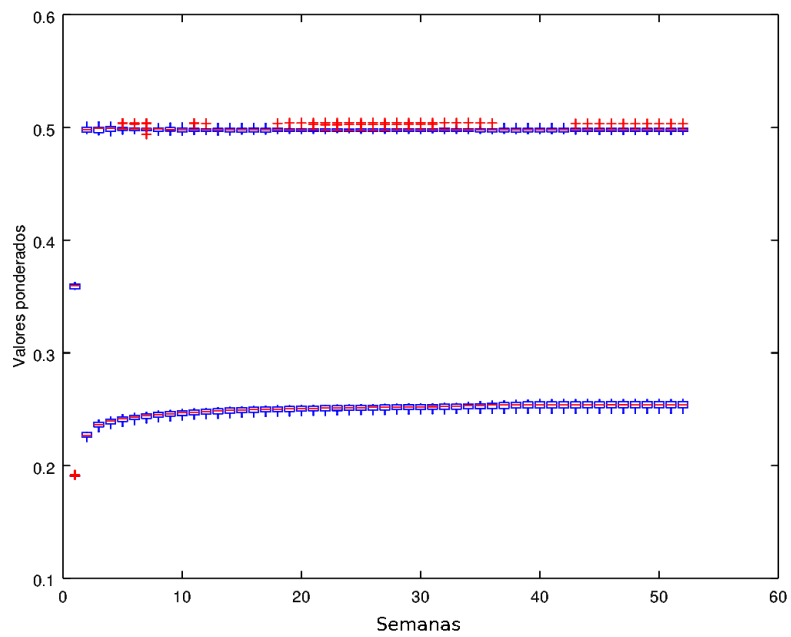


FIGURA 6.22: Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Prueba de sensibilidad 3)

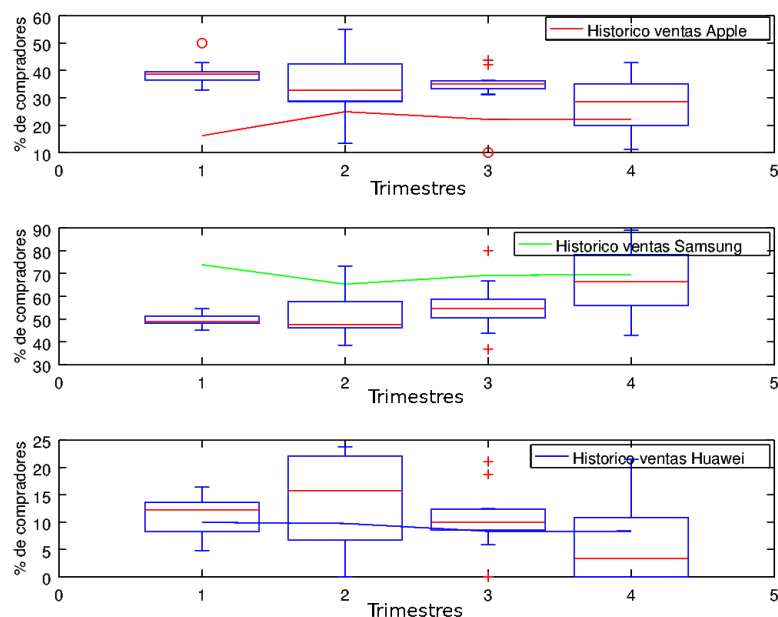


FIGURA 6.23: Ventas trimestrales por marca (Prueba de sensibilidad 3)

producirse por el hecho de que en la realidad no todos los individuos son racionales al momento de adoptar una tecnología, por lo cual solamente considerar las características de un producto no es suficiente para caracterizar a los potenciales adoptadores.

Finalmente, después de haber ejecutado y analizado las cuatro pruebas de sensibilidad descritas en la tabla 6.4, se concluye que a pesar de los fuertes cambios en los parámetros y que los resultados obtenidos difieren ampliamente entre sí, el modelo se mantiene estable y presenta un comportamiento global esperado; es decir que los individuos modifican su comportamiento buscando siempre satisfacer sus necesidades y mantener un equilibrio en sus relaciones sociales, afectando el resultado global, lo cual demuestra que cada individuo posee un perfil personal que de una u otra manera impacta en los niveles meso y macro del modelo; además, también se evidencia la importancia del comportamiento irracional y de los mecanismos emergentes que permite el modelo a través de la evaluación, la interacción y el intercambio de información.

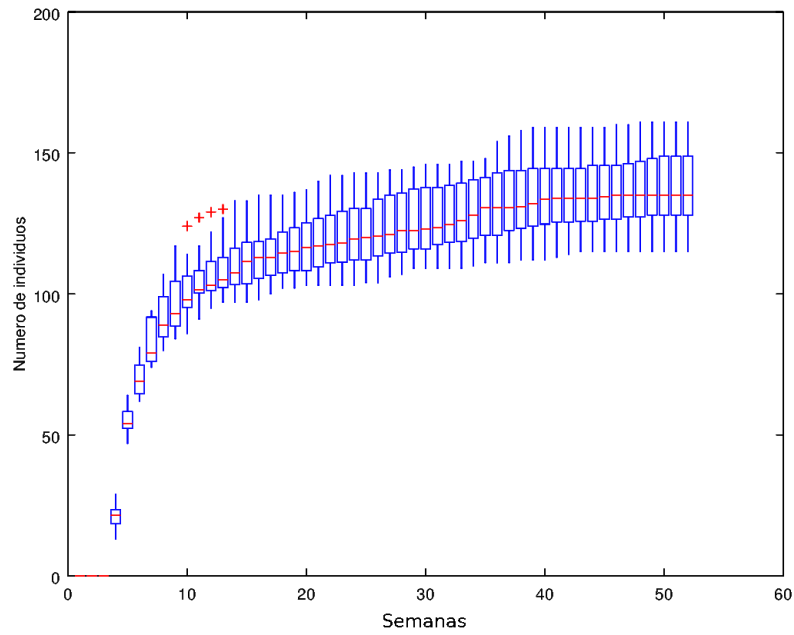


FIGURA 6.24: Variabilidad de total compradores (Prueba de sensibilidad 4)

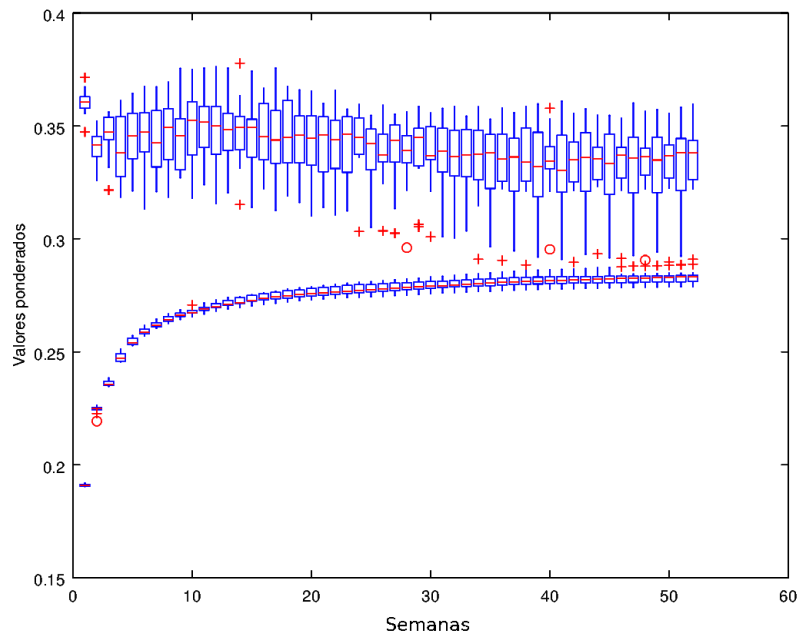


FIGURA 6.25: Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Prueba de sensibilidad 4)

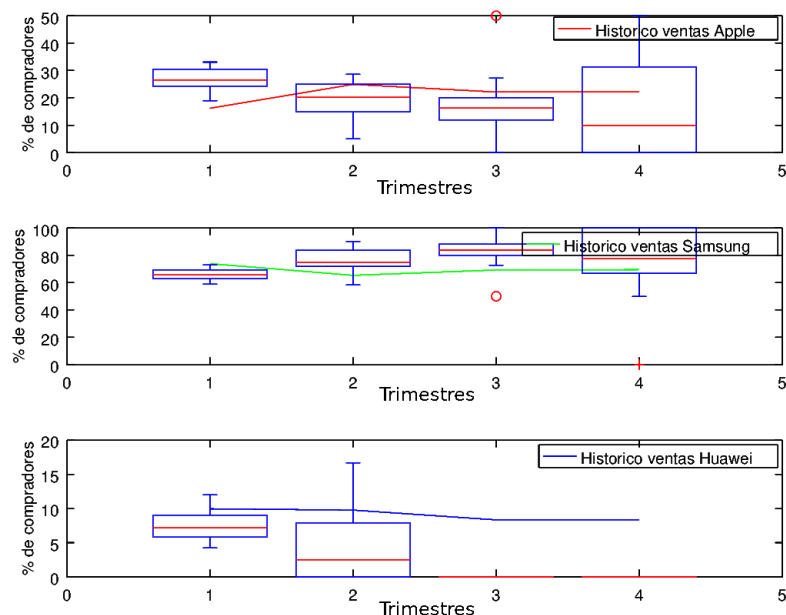


FIGURA 6.26: Ventas trimestrales por marca (Prueba de sensibilidad 4)

### 6.3. Escenarios

Inicialmente el modelo ha sido ejecutado usando los parámetros especificados en la tabla 6.1. La base de datos de productos, considera tres productos de marcas competidoras en el año 2011, los valores de las propiedades aparecen en la tabla ???. A partir de dicha configuración se han establecido cuatro escenarios de prueba para evaluar el comportamiento del modelo en casos donde la variación es estructural, es decir donde los parámetros que se cambian, modifican considerablemente el proceso global del modelo; específicamente los cambios propuestos alteran la forma en cómo los individuos evalúan las características de los productos, a través de las funciones de pertenencia y también como se relacionan y comparten información entre si, a través de la topología de la red social en la cual están inmersos así como la creación de nuevos enlaces. La configuración de los escenarios probados aparece en la tabla 6.5. Dado que el modelo es estocástico, todos los escenarios han sido ejecutados 10 veces para generar las figuras que muestran la varianza en cada uno de los casos y así poder hacer un análisis más preciso sobre los valores, las tendencias y el comportamiento general del modelo.

El primer escenario aparece etiquetado como 'escenario 2' y se caracteriza por crear la población de individuos sobre una red social aleatoria, así como configurar las funciones de pertenencia propias de la evaluación individual a través de curvas gaussianas; las figuras generadas por las ejecuciones son 6.27, 6.28 y 6.29. Para el segundo escenario 'escenario 3', las funciones de pertenencia con las que se evalúan las características son gaussianas y la red social se configura como pequeño mundo; las

TABLA 6.5: Parámetros usados para los escenarios

Variable	E2	E3	E4	E5
Tamaño de la población	1000	1000	1000	1000
<b>Tipo de Red</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Media Tolerancia	0.1	0.1	0.1	0.1
Varianza Tolerancia	0.3	0.3	0.3	0.3
Media Ambición	0.5	0.5	0.5	0.5
Varianza Ambición	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>Tipo de Funciones de Pertenencia</b>	<b>G</b>	<b>G</b>	<b>T</b>	<b>T</b>
Variabilidad Conjuntos Difusos	0.1	0.1	0.1	0.1
Media Peso Reglas	0.8	0.8	0.8	0.8
Varianza Peso Reglas	0.1	0.1	0.1	0.1
Media Peso Experiencia	0.5	0.5	0.5	0.5
Varianza Peso Experiencia	0.3	0.3	0.3	0.3
Limite Prudencia	2	2	2	2
Probabilidad Comportamiento Irracional(CI)	1	1	1	1
Porcentaje Global (CI)	0.003	0.003	0.003	0.003
Factor Reducción Credibilidad	0.07	0.07	0.07	0.07

E2 - escenario 2, E3 - escenario 3, E4 - escenario 4, E5 - escenario 5, G - Función de pertenencia Gaussiana, T - Función de pertenencia Triangular

figuras generadas por las ejecuciones son 6.30, 6.31 y 6.32. Para el tercer escenario 'escenario 4', las funciones de pertenencia con las que se evalúan las características son triangulares y la red social se configura como aleatoria; las figuras generadas por las ejecuciones son 6.33, 6.34 y 6.35. Para el cuarto escenario 'escenario 5', las funciones de pertenencia con las que se evalúan las características son triangulares y la red social se configura como pequeño mundo; las figuras generadas por las ejecuciones son 6.36, 6.37 y 6.38.

En general, de los resultados obtenidos con los escenarios se puede ver que las tendencias se conservan y casi que lo único que cambia considerablemente es la varianza obtenida del comportamiento con respecto al escenario base definido. Se obtiene menor varianza con las funciones de pertenencia gaussianas que con las funciones de pertenencia triangulares y la evolución de la incertidumbre se ve más favorecida en la red aleatoria que en la red de pequeño mundo, eso puede ser por el alcance de los nuevos enlaces que se establecen.

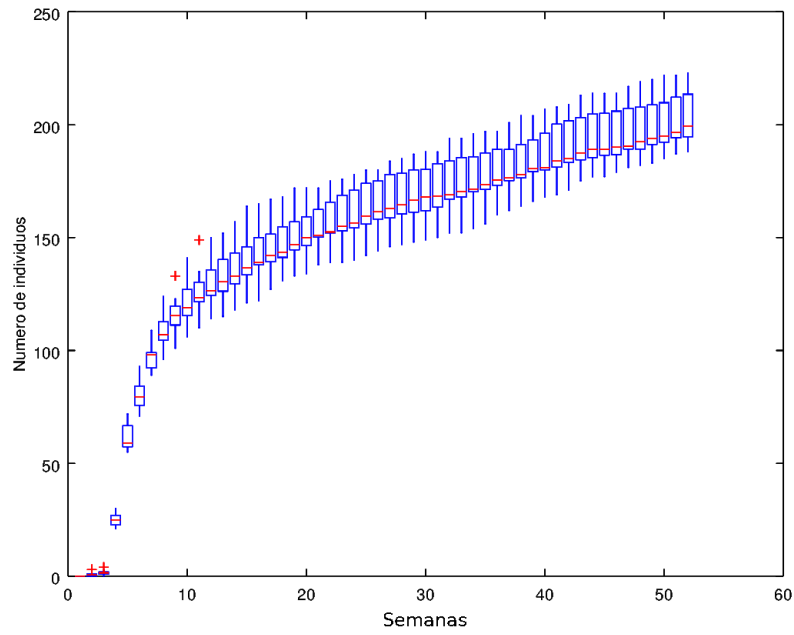


FIGURA 6.27: Variabilidad del total de compradores (Escenario 2)

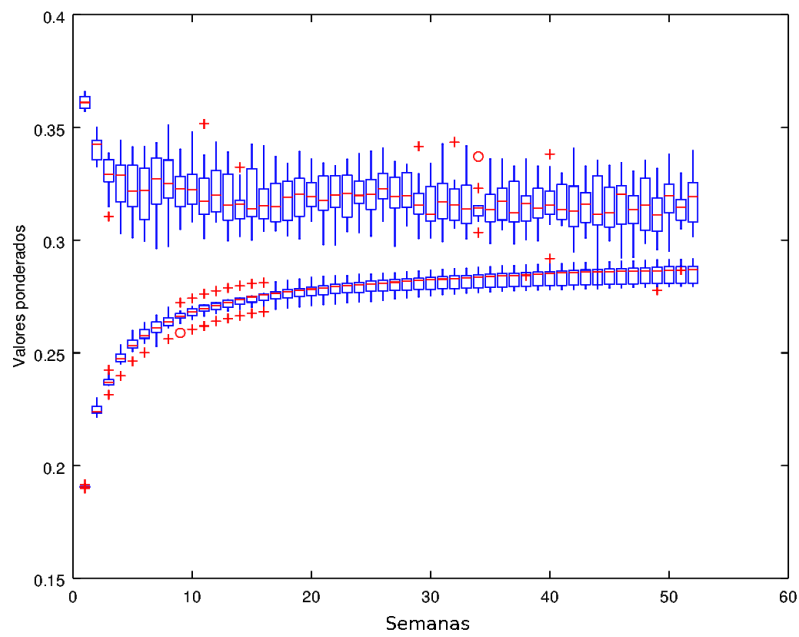


FIGURA 6.28: Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Escenario 2)

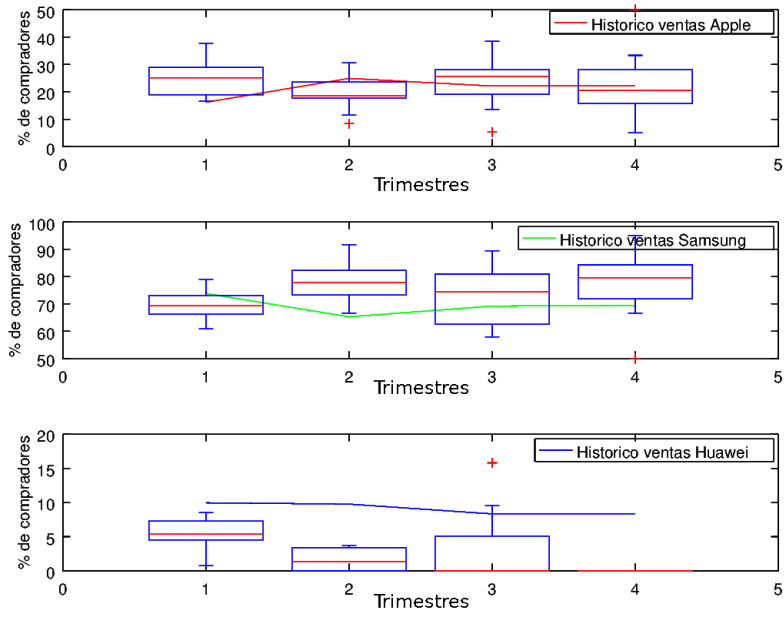


FIGURA 6.29: Ventas trimestrales por marca (Escenario 2)

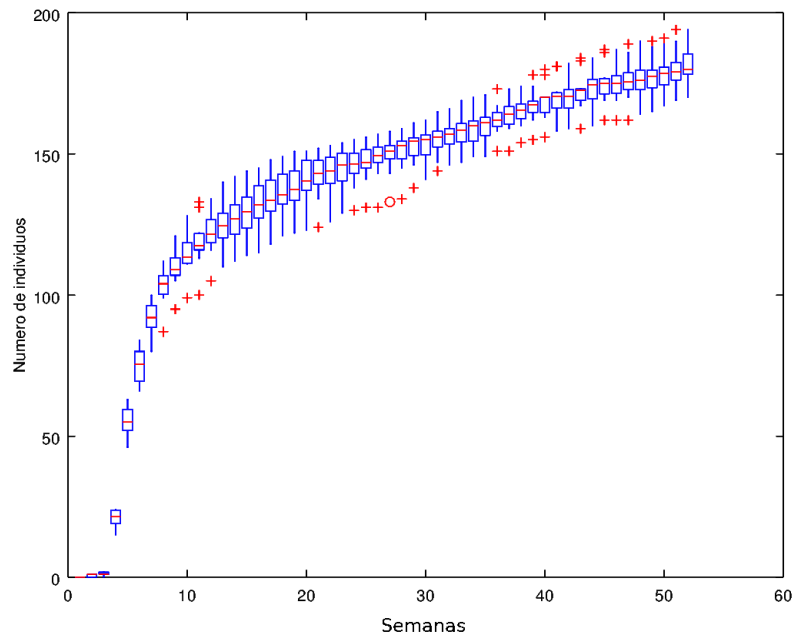


FIGURA 6.30: Variabilidad del total de compradores (Escenario 3)



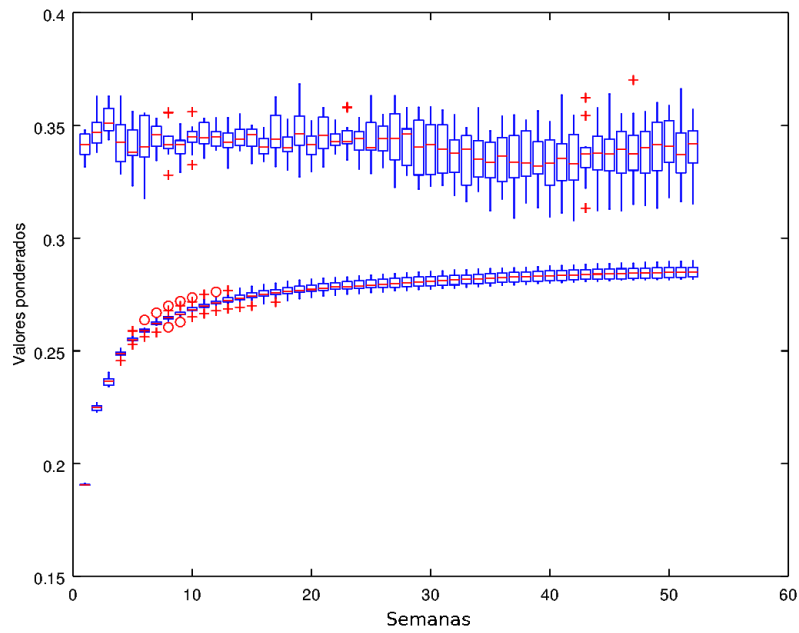


FIGURA 6.31: Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Escenario 3)

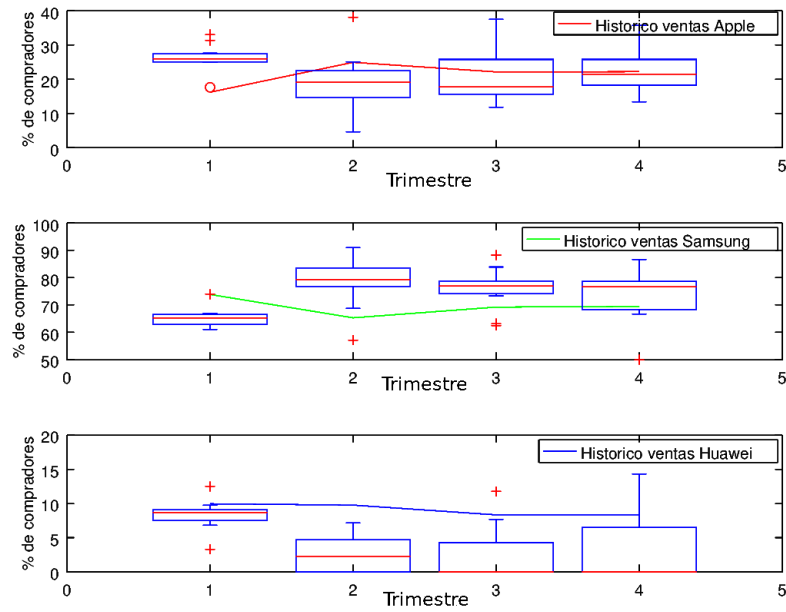


FIGURA 6.32: Ventas trimestrales por marca (Escenario 3)

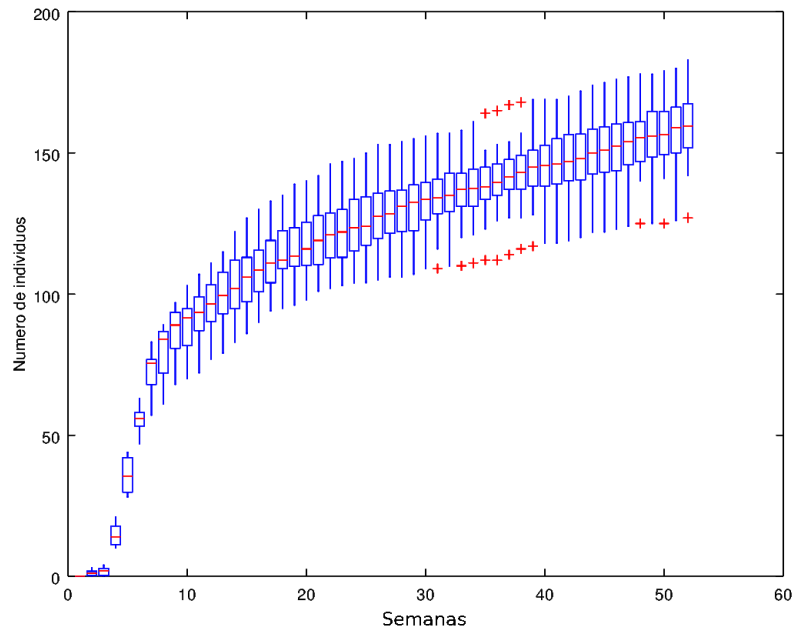


FIGURA 6.33: Variabilidad del total de compradores (Escenario 4)

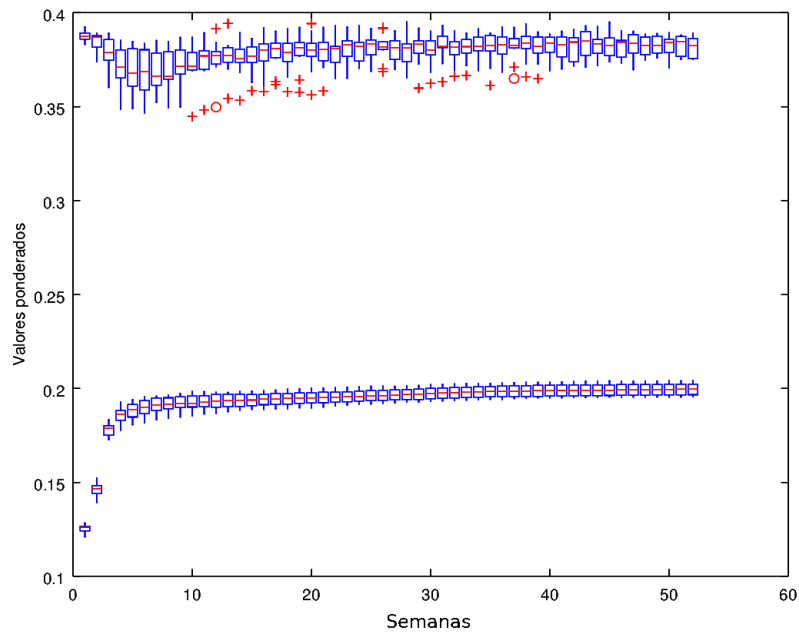


FIGURA 6.34: Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Escenario 4)

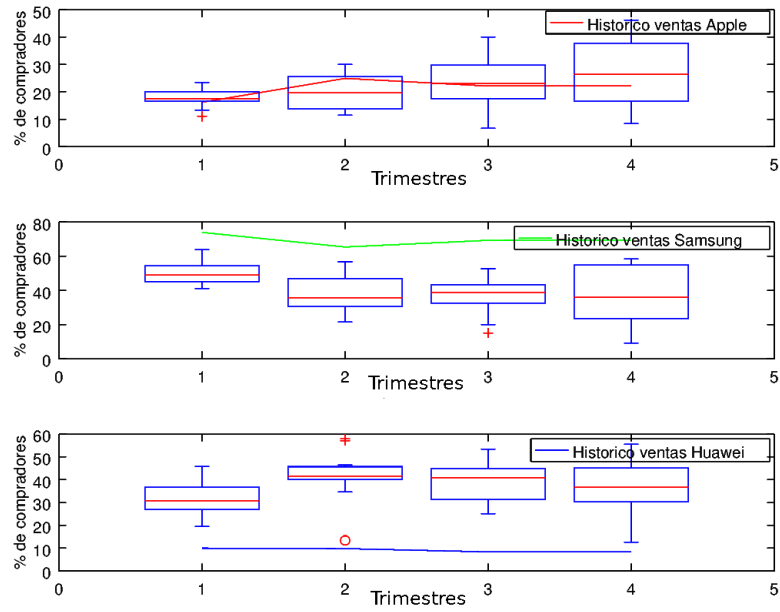


FIGURA 6.35: Ventas trimestrales por marca (Escenario 4)

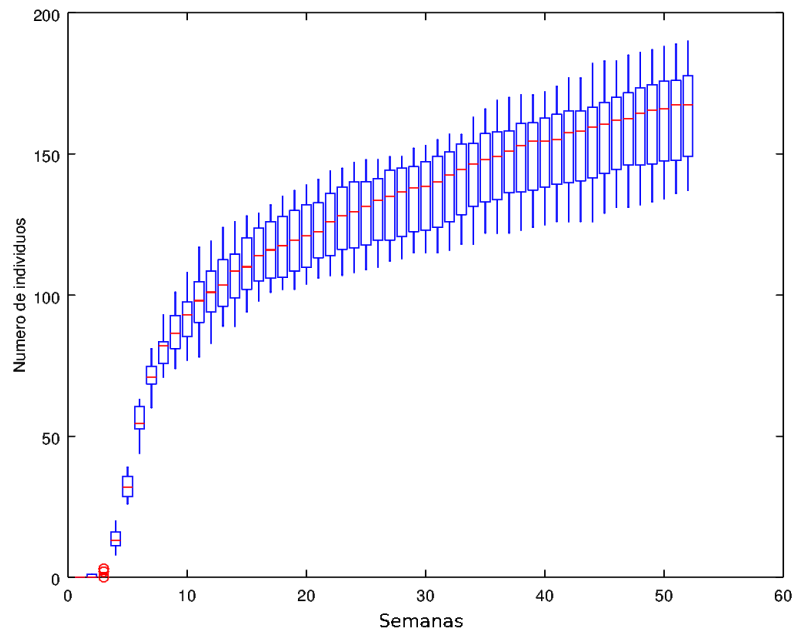


FIGURA 6.36: Variabilidad del total de compradores (Escenario 5)

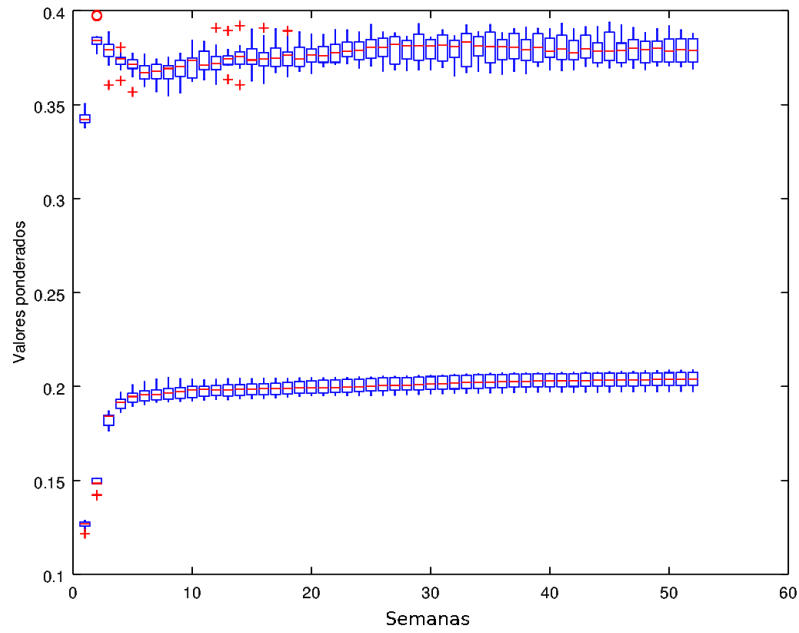


FIGURA 6.37: Evolución de incertidumbre (arriba) y satisfacción (abajo) global de los individuos (Escenario 5)

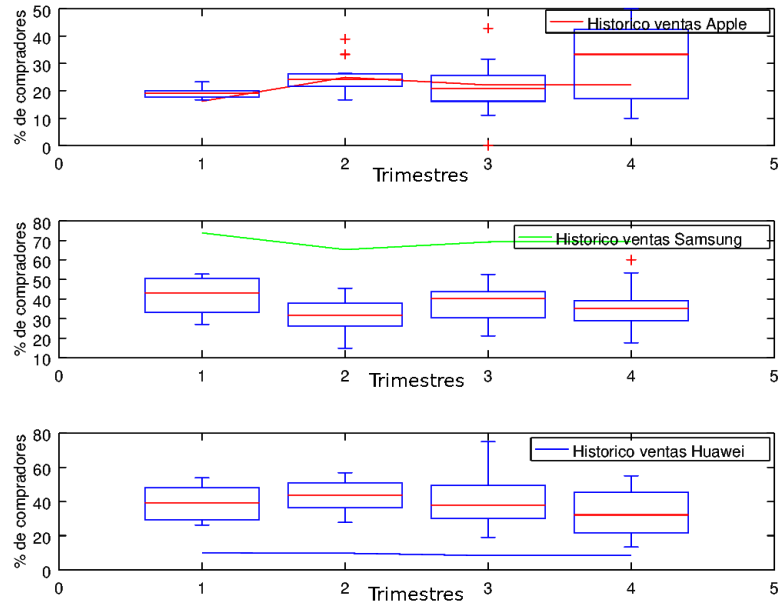


FIGURA 6.38: Ventas trimestrales por marca (Escenario 5)

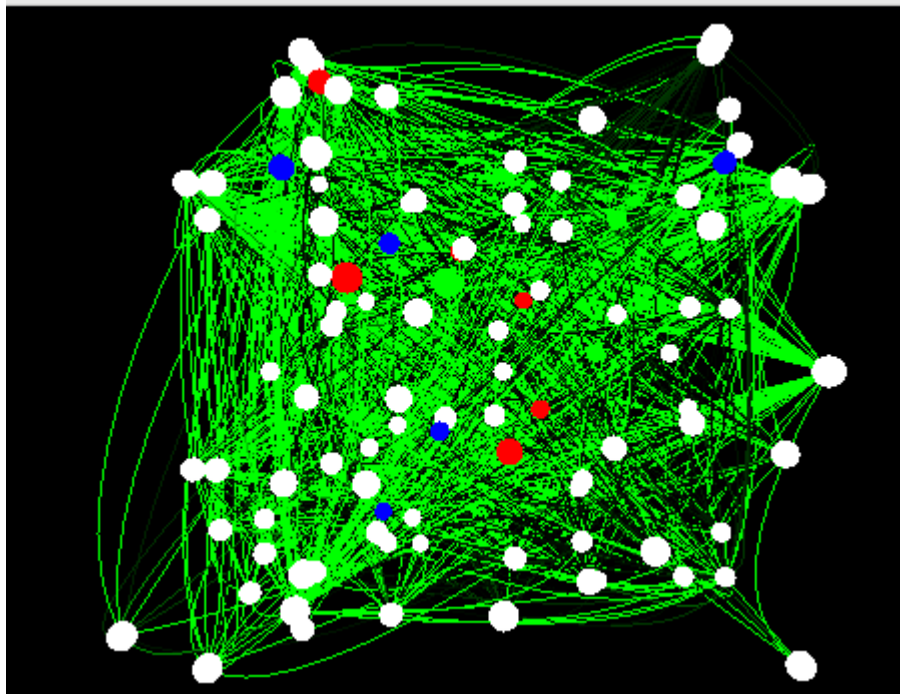


FIGURA 6.39: Red de escala libre que representa el estado de 100 agentes consumidores (Blanco-Compradores, Rojo-Indagación, Azul-Imitación, Verde-Optimización)

## Capítulo 7

# Conclusiones

En este trabajo de investigación se ha estudiado el problema de modelamiento y simulación de fenómenos sociales, específicamente en el caso de teléfonos móviles inteligentes y el caso de automóviles. En primer lugar se ha realizado una búsqueda de los trabajos relacionados con modelamiento social computacional, representación de comportamientos, modelos de consumidores, modelos de redes sociales y simulación social, a partir de allí se identificaron conceptos clave que fueron fundamentales para el desarrollo del modelo propuesto. Además se estudiaron también los modelos dinámicos de opinión y evaluación, así como los procesos estocásticos. De toda la información adquirida, se construyó el marco conceptual y el estado del arte que permitieron identificar los límites de los modelos encontrados.

Para lograr un modelo coherente y unos resultados de simulación de acuerdo a lo esperado, se propuso un modelo basado en agentes compuesto por un módulo de percepción de los productos evaluados, un módulo cognitivo para cada agente y un módulo social. Cada parte del modelo está fundamentado en teorías que vienen de las ciencias humanas, sociales e informática. El modelo se centra en la toma de decisiones individuales y las interacciones sociales entre todos los individuos que componen la población, con ello se han obtenido efectos emergentes como la generación de la curva sigmoideal de adopción, la obtención de las curvas de preferencias entre productos competidores y la mejora global de los indicadores de satisfacción e incertidumbre, estos efectos se manifiestan en el nivel macro.

El modelo propuesto considera aspectos importantes en el proceso de toma de decisiones como: preferencias individuales heterogéneas, evaluación difusa, base de conocimiento personal, memoria, comportamiento no normativo, e intercambio de información con vecinos calculando niveles de credibilidad a través de una red social parcialmente conectada y dinámica. La cohesión de estos aspectos permite obtener un modelo que proporciona elementos suficientes para reconocer y caracterizar los factores importantes en el proceso de toma de decisiones, así como la dinámica de los consumidores, sus conexiones y flujo de información frente al mercado que ofrece productos tecnológicos similares respecto a las necesidades que intentan satisfacer.

Una vez diseñado el modelo se ha realizado la implementación de la simulación utilizando herramientas computacionales que permiten el desarrollo eficiente y sobre la cual se han obtenido los valores iniciales de los parámetros del modelo, empleando un ajuste empírico para evitar sesgos con datos parciales obtenidos del mundo real o

con teorías poco generales. Con múltiples ejecuciones de la simulación y sobre el escenario base configurado, se ha logrado reproducir el comportamiento de la dinámica de propagación / adopción descrito por Bass (Thiriot, 2009), se ha llegado a obtener curvas de ventas por producto que describen tendencias similares a las descritas en el mercado del mundo real y se ha mostrado la importancia de considerar la racionalidad limitada, el comportamiento irracional y la red social en la toma de decisiones individuales, así como la importancia de la adquisición de información para el aprendizaje y para aumentar la satisfacción de las necesidades.

Se han definido cuatro pruebas de sensibilidad sobre la simulación, modificando los valores de las variables representativas del modelo y determinando su impacto en los resultados obtenidos; el modelo en cada caso presenta resultados ampliamente diferentes, pero las tendencias generales son similares y corresponden con las esperadas, con lo cual se llegó a la conclusión de que el modelo es estable sobre las pruebas realizadas.

Además de las pruebas de sensibilidad se realizaron pruebas definiendo cuatro diferentes escenarios; el modelo presentó fuerte varianza y los resultados permitieron ver la importancia del módulo decisional, específicamente las preferencias de evaluación individuales y el módulo social, específicamente la topología configurada para la red social.

Por otro lado, se ha realizado un análisis de componentes principales que permite determinar que características son esenciales para los consumidores en una ejecución determinada de la simulación, sobre las cuales se pueden caracterizar comportamientos y resultados.

El diseño del modelo y la implementación realizada, permiten utilizar el modelo en otros contextos de consumidores que deben tomar decisiones para adquirir una innovación en el mercado, ya que las listas de parámetros y los umbrales definidos son todos configurables, lo cual puede ser considerado como trabajo futuro, así como la adición de variables subjetivas relacionadas con los productos o el mercado al módulo cognitivo individual, la inclusión de una dinámica en los umbrales de satisfacción e incertidumbre para cada uno de los agentes, considerar otros tipos de topologías y dinámicas en los enlaces sociales y el diseño e implementación de comportamientos irracionales específicos.

## Apéndice A

# Especificación de las reglas difusas

### A.1. Caso de teléfonos móviles inteligentes

>Bateria 3

\* Bloque 1

if Bateria is BAJA then Calificacion is BAJA

if Bateria is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIABAJA

if Bateria is MEDIA then Calificacion is MEDIA

if Bateria is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA

if Bateria is ALTA then Calificacion is ALTA

\* Bloque 2

if Bateria is BAJA or Bateria is MEDIABAJA then Calificacion is BAJA

if Bateria is MEDIA or Bateria is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA

if Bateria is ALTA then Calificacion is ALTA

\* Bloque 3

if Bateria is BAJA or Bateria is MEDIABAJA or Bateria is MEDIA then Calificacion is BAJA

if Bateria is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA

if Bateria is ALTA then Calificacion is ALTA

>Peso 3

\* Bloque 1

if Peso is ALTA then Calificacion is BAJA

if Peso is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIABAJA

if Peso is MEDIA then Calificacion is MEDIA

if Peso is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIAALTA

if Peso is BAJA then Calificacion is ALTA

\* Bloque 2

if Peso is ALTA then Calificacion is BAJA

if Peso is MEDIA or Peso is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA

if Peso is BAJA or Peso is MEDIABAJA then Calificacion is ALTA

\* Bloque 3

if Peso is ALTA then Calificacion is BAJA

if Peso is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA

if Peso is BAJA or Peso is MEDIABAJA or Peso is MEDIA then Calificacion is ALTA

>Ram 3

\* Bloque 1

if Ram is BAJA then Calificacion is BAJA



if Ram is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIABAJA  
if Ram is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if Ram is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Ram is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 2  
if Ram is BAJA or Ram is MEDIABAJA then Calificacion is BAJA  
if Ram is MEDIA or Ram is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if Ram is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 3  
if Ram is BAJA or Ram is MEDIABAJA or Ram is MEDIA then Calificacion is BAJA  
if Ram is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Ram is ALTA then Calificacion is ALTA  
>Memoria 3  
\* Bloque 1  
if Memoria is BAJA then Calificacion is BAJA  
if Memoria is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIABAJA  
if Memoria is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if Memoria is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Memoria is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 2  
if Memoria is BAJA or Memoria is MEDIABAJA then Calificacion is BAJA  
if Memoria is MEDIA or Memoria is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if Memoria is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 3  
if Memoria is BAJA or Memoria is MEDIABAJA or Memoria is MEDIA then Calificacion is BAJA  
if Memoria is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Memoria is ALTA then Calificacion is ALTA  
>Camara 3  
\* Bloque 1  
if Camara is BAJA then Calificacion is BAJA  
if Camara is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIABAJA  
if Camara is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if Camara is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Camara is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 2  
if Camara is BAJA or Camara is MEDIABAJA then Calificacion is BAJA  
if Camara is MEDIA or Camara is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if Camara is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 3  
if Camara is BAJA or Camara is MEDIABAJA or Camara is MEDIA then Calificacion is BAJA  
if Camara is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Camara is ALTA then Calificacion is ALTA  
>Resolucion 3  
\* Bloque 1  
if Resolucion is BAJA then Calificacion is BAJA

if Resolucion is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIABAJA  
if Resolucion is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if Resolucion is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Resolucion is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 2  
if Resolucion is BAJA or Resolucion is MEDIABAJA then Calificacion is BAJA  
if Resolucion is MEDIA or Resolucion is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if Resolucion is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 3  
if Resolucion is BAJA or Resolucion is MEDIABAJA or Resolucion is MEDIA then Calificacion is BAJA  
if Resolucion is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Resolucion is ALTA then Calificacion is ALTA  
>Pantalla 3  
\* Bloque 1  
if Pantalla is BAJA then Calificacion is BAJA  
if Pantalla is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIABAJA  
if Pantalla is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if Pantalla is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Pantalla is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 2  
if Pantalla is BAJA or Pantalla is MEDIABAJA then Calificacion is BAJA  
if Pantalla is MEDIA or Pantalla is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if Pantalla is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 3  
if Pantalla is BAJA or Pantalla is MEDIABAJA or Pantalla is MEDIA then Calificacion is BAJA  
if Pantalla is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Pantalla is ALTA then Calificacion is ALTA  
>Precio 4  
\* Bloque 1  
if Precio is ALTA then Calificacion is BAJA  
if Precio is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIABAJA  
if Precio is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if Precio is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Precio is BAJA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 2  
if Precio is ALTA then Calificacion is BAJA  
if Precio is MEDIA or Precio is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if Precio is BAJA or Precio is MEDIABAJA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 3  
if Precio is ALTA then Calificacion is BAJA  
if Precio is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Precio is BAJA or Precio is MEDIABAJA or Precio is MEDIA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 4  
if Precio is ALTA then Calificacion is ALTA

if Precio is MEDIA or Precio is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if Precio is BAJA or Precio is MEDIABAJA then Calificacion is BAJA

## A.2. Caso de automóviles

>Aceleracion 3

\* Bloque 1

if Aceleracion is ALTA then Calificacion is BAJA  
if Aceleracion is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIABAJA  
if Aceleracion is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if Aceleracion is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Aceleracion is BAJA then Calificacion is ALTA

\* Bloque 2

if Aceleracion is ALTA then Calificacion is BAJA  
if Aceleracion is MEDIA or Aceleracion is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if Aceleracion is BAJA or Aceleracion is MEDIABAJA then Calificacion is ALTA

\* Bloque 3

if Aceleracion is ALTA then Calificacion is BAJA  
if Aceleracion is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Aceleracion is BAJA or Aceleracion is MEDIABAJA or Aceleracion is MEDIA then Calificacion is ALTA

>Velocidad 3

\* Bloque 1

if Velocidad is BAJA then Calificacion is BAJA  
if Velocidad is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIABAJA  
if Velocidad is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if Velocidad is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Velocidad is ALTA then Calificacion is ALTA

\* Bloque 2

if Velocidad is BAJA or Velocidad is MEDIABAJA then Calificacion is BAJA  
if Velocidad is MEDIA or Velocidad is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if Velocidad is ALTA then Calificacion is ALTA

\* Bloque 3

if Velocidad is BAJA or Velocidad is MEDIABAJA or Velocidad is MEDIA then Calificacion is BAJA  
if Velocidad is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Velocidad is ALTA then Calificacion is ALTA

>Potencia 3

\* Bloque 1

if Potencia is BAJA then Calificacion is BAJA  
if Potencia is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIABAJA  
if Potencia is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if Potencia is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Potencia is ALTA then Calificacion is ALTA

\* Bloque 2

if Potencia is BAJA or Potencia is MEDIABAJA then Calificacion is BAJA  
if Potencia is MEDIA or Potencia is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA

if Potencia is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 3  
if Potencia is BAJA or Potencia is MEDIABAJA or Potencia is MEDIA then Calificacion is BAJA  
if Potencia is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Potencia is ALTA then Calificacion is ALTA  
>Volumen 3  
\* Bloque 1  
if Volumen is BAJA then Calificacion is BAJA  
if Volumen is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIABAJA  
if Volumen is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if Volumen is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Volumen is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 2  
if Volumen is BAJA or Volumen is MEDIABAJA then Calificacion is BAJA  
if Volumen is MEDIA or Volumen is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if Volumen is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 3  
if Volumen is BAJA or Volumen is MEDIABAJA or Volumen is MEDIA then Calificacion is BAJA  
if Volumen is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Volumen is ALTA then Calificacion is ALTA  
>Consumo 3  
\* Bloque 1  
if Consumo is ALTA then Calificacion is BAJA  
if Consumo is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIABAJA  
if Consumo is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if Consumo is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Consumo is BAJA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 2  
if Consumo is ALTA then Calificacion is BAJA  
if Consumo is MEDIA or Consumo is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if Consumo is BAJA or Consumo is MEDIABAJA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 3  
if Consumo is ALTA then Calificacion is BAJA  
if Consumo is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Consumo is BAJA or Consumo is MEDIABAJA or Consumo is MEDIA then Calificacion is ALTA  
>Peso 3  
\* Bloque 1  
if Peso is ALTA then Calificacion is BAJA  
if Peso is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIABAJA  
if Peso is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if Peso is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Peso is BAJA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 2  
if Peso is ALTA then Calificacion is BAJA

if Peso is MEDIA or Peso is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if Peso is BAJA or Peso is MEDIABAJA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 3  
if Peso is ALTA then Calificacion is BAJA  
if Peso is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Peso is BAJA or Peso is MEDIABAJA or Peso is MEDIA then Calificacion is ALTA  
>Seguridad 3  
\* Bloque 1  
if Seguridad is BAJA then Calificacion is BAJA  
if Seguridad is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIABAJA  
if Seguridad is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if Seguridad is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Seguridad is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 2  
if Seguridad is BAJA or Seguridad is MEDIABAJA then Calificacion is BAJA  
if Seguridad is MEDIA or Seguridad is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if Seguridad is ALTA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 3  
if Seguridad is BAJA or Seguridad is MEDIABAJA or Seguridad is MEDIA then  
Calificacion is BAJA  
if Seguridad is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if Seguridad is ALTA then Calificacion is ALTA  
>CO2 3  
\* Bloque 1  
if CO2 is ALTA then Calificacion is BAJA  
if CO2 is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIABAJA  
if CO2 is MEDIA then Calificacion is MEDIA  
if CO2 is MEDIABAJA then Calificacion is MEDIAALTA  
if CO2 is BAJA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 2  
if CO2 is ALTA then Calificacion is BAJA  
if CO2 is MEDIA or CO2 is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIA  
if CO2 is BAJA or CO2 is MEDIABAJA then Calificacion is ALTA  
\* Bloque 3  
if CO2 is ALTA then Calificacion is BAJA  
if CO2 is MEDIAALTA then Calificacion is MEDIAALTA  
if CO2 is BAJA or CO2 is MEDIABAJA or CO2 is MEDIA then Calificacion is ALTA

## Apéndice B

# Especificación de las funciones de pertenencia

### B.1. Funciones de pertenencia para el escenario 1 (teléfonos móviles inteligentes)

>Bateria 0 500

Gaussian BAJA 0 100

Gaussian MEDIABAJA 125 100

Gaussian MEDIA 250 100

Gaussian MEDIAALTA 375 100

Gaussian ALTA 500 100

>Peso 50 200

Gaussian BAJA 50 30

Gaussian MEDIABAJA 87.5 30

Gaussian MEDIA 125 30

Gaussian MEDIAALTA 162.5 30

Gaussian ALTA 200 30

>Ram 64 1024

Gaussian BAJA 64 192

Gaussian MEDIABAJA 304 192

Gaussian MEDIA 544 192

Gaussian MEDIAALTA 784 192

Gaussian ALTA 1024 192

>Memoria 4096 65536

Gaussian BAJA 4096 12288

Gaussian MEDIABAJA 19456 12288

Gaussian MEDIA 34816 12288

Gaussian MEDIAALTA 50176 12288

Gaussian ALTA 65536 12288

>Camara 1 10

Gaussian BAJA 1 1.8

Gaussian MEDIABAJA 3.25 1.8

Gaussian MEDIA 5.5 1.8  
Gaussian MEDIAALTA 7.75 1.8  
Gaussian ALTA 10 1.8

>Resolucion 150 350  
Gaussian BAJA 150 40  
Gaussian MEDIABAJA 200 40  
Gaussian MEDIA 250 40  
Gaussian MEDIAALTA 300 40  
Gaussian ALTA 350 40

>Pantalla 50 150  
Gaussian BAJA 50 20  
Gaussian MEDIABAJA 75 20  
Gaussian MEDIA 100 20  
Gaussian MEDIAALTA 125 20  
Gaussian ALTA 150 20

>Precio 150 900  
Gaussian BAJA 150 150  
Gaussian MEDIABAJA 337.5 150  
Gaussian MEDIA 525 150  
Gaussian MEDIAALTA 712.5 150  
Gaussian ALTA 900 150

<Calificacion 0 5  
Gaussian BAJA 0 1  
Gaussian MEDIABAJA 1.25 1  
Gaussian MEDIA 2.5 1  
Gaussian MEDIAALTA 3.75 1  
Gaussian ALTA 5 1

## **B.2. Funciones de pertenencia para el escenario 1 (automóviles)**

>Aceleracion 8 15  
Gaussian BAJA 8 1.4  
Gaussian MEDIABAJA 9.75 1.4  
Gaussian MEDIA 11.5 1.4  
Gaussian MEDIAALTA 13.25 1.4  
Gaussian ALTA 15 1.4

>Velocidad 100 200  
Gaussian BAJA 100 20  
Gaussian MEDIABAJA 125 20  
Gaussian MEDIA 150 20

Gaussian MEDIAALTA 175 20  
Gaussian ALTA 200 20

>Potencia 100 150  
Gaussian BAJA 100 10  
Gaussian MEDIABAJA 112.5 10  
Gaussian MEDIA 125 10  
Gaussian MEDIAALTA 137.5 10  
Gaussian ALTA 150 10

>Volumen 1000 1800  
Gaussian BAJA 1000 160  
Gaussian MEDIABAJA 1200 160  
Gaussian MEDIA 1400 160  
Gaussian MEDIAALTA 1600 160  
Gaussian ALTA 1800 160

>Consumo 4 8  
Gaussian BAJA 4 0.8  
Gaussian MEDIABAJA 5 0.8  
Gaussian MEDIA 6 0.8  
Gaussian MEDIAALTA 7 0.8  
Gaussian ALTA 8 0.8

>Peso 1000 1500  
Gaussian BAJA 1000 100  
Gaussian MEDIABAJA 1125 100  
Gaussian MEDIA 1250 100  
Gaussian MEDIAALTA 1375 100  
Gaussian ALTA 1500 100

>Seguridad 30 100  
Gaussian BAJA 30 14  
Gaussian MEDIABAJA 47.5 14  
Gaussian MEDIA 65 14  
Gaussian MEDIAALTA 82.5 14  
Gaussian ALTA 100 14

>CO2 100 200  
Gaussian BAJA 100 20  
Gaussian MEDIABAJA 125 20  
Gaussian MEDIA 150 20  
Gaussian MEDIAALTA 175 20  
Gaussian ALTA 200 20

<Calificacion 0 5  
Gaussian BAJA 0 1



Gaussian MEDIABAJA 1.25 1  
Gaussian MEDIA 2.5 1  
Gaussian MEDIAALTA 3.75 1  
Gaussian ALTA 5 1

### **B.3. Funciones de pertenencia para el escenario 2 (teléfonos móviles inteligentes)**

>Bateria 0 1000  
Trapezoid BAJA 0 0 0 250  
Triangle MEDIABAJA 0 500  
Triangle MEDIA 250 750  
Triangle MEDIAALTA 500 1000  
Trapezoid ALTA 750 1000 1000 1000

>Peso 50 300  
Trapezoid BAJA 50 50 50 112.5  
Triangle MEDIABAJA 50 175  
Triangle MEDIA 112.5 237.5  
Triangle MEDIAALTA 175 300  
Trapezoid ALTA 237.5 300 300 300

>Ram 64 4096  
Trapezoid BAJA 64 64 64 1072  
Triangle MEDIABAJA 64 2080  
Triangle MEDIA 1072 3088  
Triangle MEDIAALTA 2080 4096  
Trapezoid ALTA 3088 4096 4096 4096

>Memoria 4096 262144  
Trapezoid BAJA 4096 4096 4096 68608  
Triangle MEDIABAJA 4096 133120  
Triangle MEDIA 68608 197632  
Triangle MEDIAALTA 133120 262144  
Trapezoid ALTA 197632 262144 262144 262144

>Camara 1 40  
Trapezoid BAJA 1 1 1 10.75  
Triangle MEDIABAJA 1 20.5  
Triangle MEDIA 10.75 30.25  
Triangle MEDIAALTA 20.5 40  
Trapezoid ALTA 30.25 40 40 40

>Resolucion 150 500

Trapezoid BAJA 150 150 150 237.5  
Triangle MEDIABAJA 150 325  
Triangle MEDIA 237.5 412.5  
Triangle MEDIAALTA 325 500  
Trapezoid ALTA 412.5 500 500 500

>Pantalla 50 200  
Trapezoid BAJA 50 50 50 87.5  
Triangle MEDIABAJA 50 125  
Triangle MEDIA 87.5 162.5  
Triangle MEDIAALTA 125 200  
Trapezoid ALTA 162.5 200 200 200

>Precio 100 1000  
Trapezoid BAJA 100 100 100 325  
Triangle MEDIABAJA 100 550  
Triangle MEDIA 325 775  
Triangle MEDIAALTA 550 1000  
Trapezoid ALTA 775 1000 1000 1000

<Calificacion 0 5  
Trapezoid BAJA 0 0 0 1.25  
Triangle MEDIABAJA 0 2.5  
Triangle MEDIA 1.25 3.75  
Triangle MEDIAALTA 2.5 5  
Trapezoid ALTA 3.75 5 5 5

# Bibliografía

- Alaminos, A. (2005). *Introducción a la sociología matemática*. Universidad de Alicante.
- Amblard, F. (2010). «Constriure des sociétés artificielles pour comprendre les phénomènes sociaux réels». En: *Nouvelles perspectives en sciences sociales: revue internationale de systématique complexe et d'études relationnelles*.
- Arroyo, M. y S. Hassan (2007). «Simulación de procesos sociales basada en agentes software». En: *EMPIRIA. Revista de metodología de ciencias sociales*.
- Basileu, C. (2011). «Modélisation structurelle des réseaux sociaux: Application à un système d'aide à la décision en cas de crise sanitaire». Tesis doct. Université de Lyon 1.
- Bonilla, E. (2008). «Logique floue et algorithmes génétiques pour le pre-traitement de données de biopuces et la sélection de gènes». Tesis doct. Université d'Angers.
- Boussard, M. (2008). «Planification multi-agents multi-objectifs : modele et algorithme». Tesis doct. Université de caen.
- Brousmitche, L. (2015). «Modélisation et simulation multi-agent de la formation et dynamique d'attitudes basées sur les croyances». Tesis doct. Université Pierre et Marie Curie.
- Cadavid, L. (2015). «Aproximación metodológica al análisis de la difusión de innovaciones en productos que utilizan tecnologías limpias considerando elecciones individuales de adopción». Tesis doct. Universidad Nacional de Colombia.
- Camus, B. (2015). «Environnement multi-agent pour la multi-modelisation et simulation des systèmes complexes». Tesis doct. Université de Lorraine.
- Chapron, P. (2012). «Modélisation et analyse des organisations sociales: propriétés structurelles, régulation des comportements et évolutions». Tesis doct. Université de Toulouse.
- Charlton, M. (2010). «Principal component analysis: from global to local». En: *Conference on geographic information science*.
- Chen, Y., T. Chen y C. Lin (2016). «The Analyses of Purchasing Decisions and Brand Loyalty for Smartphone Consumers». En: *Open Journal of Social Sciences*.
- Cho, Y. (2015). «Investigating the Adoption of Electric Vehicles Using Agent-Based Model». En: *Management of the Technology Age*.
- D'Agostino, G. y col. (2015). «Interest diffusion in social networks». En: *Physica A. Elsevier*.
- Darty, K. (2015). «Évaluation de la qualité des comportements des agents en simulation». Tesis doct. Université Pierre et Marie Curie.
- Delli, S. (2015). «Agent-based modelling analysis of the market penetration of fuel cell vehicles in germany». Tesis de mtría. Politécnico de Milano.
- Deroian, F. (2002). «Formation of social networks and difusion of innovations». En: *Research Policy*.

- Dykstra, P. y col. (2015). «An agent-based dialogical model with fuzzy attitudes». En: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*.
- El-Gemayel, J. (2013). «Modèles de rationalité des acteurs sociaux». Tesis doct. Université Toulouse 1.
- EuroNCAP (2013a). *Safety Test Results Peugeot 2008*. URL: <http://www.euroncap.com/en/results/peugeot/2008/8885> (visitado 01-04-2017).
- (2013b). *Safety Test Results Renault Captur*. URL: <http://www.euroncap.com/en/results/renault/captur/8888> (visitado 01-04-2017).
- Ferber, J. (1995). *Les systèmes multiagents, vers une intelligence collective*. InterEditions.
- Ferrary, M. (2010). «Dynamique des réseaux sociaux et stratégies d'encastrement social». En: *Revue de économie industrielle*.
- Garcia, R. y W. Jager (2011). «Agent based modeling of innovation diffusion». En: *Journal of Product Innovation and Management*.
- Gartner, Inc. 1Q12 (2012a). *Gartner, press release smartphone sales, First Quarter 2012*. URL: <https://www.gartner.com/newsroom/id/2017015> (visitado 15-08-2016).
- Gartner, Inc. 2Q12 (2012b). *Gartner, press release smartphone sales, Second Quarter 2012*. URL: <https://www.gartner.com/newsroom/id/2120015> (visitado 15-08-2016).
- Gartner, Inc. 3Q11 (2011a). *Gartner, press release smartphone sales, Third Quarter 2011*. URL: <https://www.gartner.com/newsroom/id/2237315> (visitado 15-08-2016).
- Gartner, Inc. 4Q11 (2011b). *Gartner, press release smartphone sales, Fourth Quarter 2011*. URL: <https://www.gartner.com/newsroom/id/1924314> (visitado 15-08-2016).
- Gatignon, H. y T. Robertson (1991). «Innovative decision processes». En: *Handbook of consumer behaviour*.
- Gazquez, J. (2007). «La heterogeneidad del consumidor en los modelos de elección. evidencias empíricas utilizando modelos logit». En: *Revista europea de dirección y economía de la empresa*.
- Guechtouli, W. (2014). «Agent-based modeling of knowledge transfer within social networks». En: *IPAG Working papers*.
- Heimerl, A. y A. Menon (2015). «Analysis of smartphone adoption and usage in a rural community cellular network». En: *ICDT Paper*.
- Hoorebeke, D. van (2013). «Une vision de la prise de décision rationnelle et irrationnelle, un construit individuel et collectif». En: *Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations*.
- Huroux, T. (2015). «Simulation multi-agent d'un système complexe: combiner des domaines d'expertise par une approche multi-niveau - Le cas de la consommation électrique résidentielle». Tesis doct. Université pierre et marie curie.
- Izquierdo, L. y col. (2008). «Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas». En: *EMPIRIA. Revista de metodología de ciencias sociales*.
- Izquierdo, L. y col. (2015). «Fuzzy logic for social simulation using Netlogo». En: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*.
- Jager, W. (2000). «Modelling consumer behaviour». Tesis doct. University of Groningen.
- Jager, W. y M. Janssen (2012). «An update conceptual framework for integrated modeling of human decision making: The consumat II». En: *Workshop Complexity in Real World, ECCS*.

- Jiang, Y. (2015). «Difussion in social networks: A multiagent perspective». En: *Transactions on systems, man and cybernetics*.
- Jolliffe, I. (2002). *Principal component analysis*. Springer.
- Jongmans, E. (2014). «La rationalité limitée des consommateurs lors de l'évaluation d'un produit comportant un attribut environnemental. Une étude empirique des biais provoqués par le nombre d'attributs et le mode d'évaluation». Tesis doct. Université de Grenoble.
- Kangur, A. (2014). «Simulating the transition to electric cars using the consumat agent rationale». Tesis de mtría. University of Groningen.
- Kattenwinkel, G. (2012). «And then there was light». Tesis de mtría. University of Groningen.
- Kiesling, E. y col. (2011). «Agent-based simulation of innovation difusion: a review». En: *Central european journal of operations research*.
- Kowalska, A. (2009). «Simulation model of consumer decision making». En: *Badania operacyjne i decyzje*.
- Lee, K., H. Lee y C. O. Kim (2014). «Pricing and timing strategies for new product using agent-based simulation of behavioural consumers». En: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*.
- Lee, S. (2016). «Quantifying the benefits of smartphone adoption: digital device substitution and digital consumption expansion». En: *Stanford University*.
- Lindenberg, S. y L. Steg (2007). «Normative, Gain and Hedonic Goal Frames Guiding Environmental Behavior». En: *Journal of Social Issues*.
- Mahboub, K. (2011). «Modélisation des processus émotionnels dans la prise de décision». Tesis doct. Université du Havre.
- Mao, L. (2014). «Modeling triple-diffusions of infectious diseases, information, and preventive behaviors through a metropolitan social network - an agent based simulation». En: *Applied Geography*.
- Martin, S. (2013). «Coordination et robustesse des systèmes dynamiques multi-agents». Tesis doct. Université de Grenoble.
- Maslow, A. (1954). *Motivation and personality*. Harper y row.
- Morlán, I. (2010). «Modelo de dinámica de sistemas para la implantación de tecnologías de la información en la gestión estratégica universitaria». Tesis doct. Universidad del país vasco.
- Patrx, J. (2013). «Détection de comportements à travers des modèles multi-agents collaboratifs, appliquée à la evaluation de la situation, notamment en environnement asymétrique avec des données imprécises et incertaines». Tesis doct. Université de Caen.
- Petukhov, A. (2015). *Моделирование социальных и политических процессов*. Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского.
- Picard, G. (2014). «Systèmes multi-agents adaptatifs». Habilitation à diriger des recherches en mathématiques et en informatique. Université Jean Monnet.
- PSA (2013). *Volume de ventes par modèle (2013, 2014)*. URL: <https://www.groupe-psa.com/fr/resultats-de-recherche/?search=ventes+par+mod%C3%A8le+2013> (visitado 01-04-2017).
- Rai, V. y S. Robinson (2015). «Agent-based modeling of energy technology adoption: empirical integration of social, behavioral, economic and environmental factors». En: *Environmental modelling and software*.

- Renault (2013). *Ventes mensuelles (2013, 2014)*. URL: <https://group.renault.com/finance/informations-financieres/chiffre-cles/ventes-mensuelles/> (visitado 01-04-2017).
- Rogers, E. (1995). *Difussion of Innovation*. The free press.
- Ross, T. (2010). *Fuzzy logic with engineering applications*. Wiley.
- Rouse, W. (2015). *Modeling and Visualization of Complex Systems and Enterprises*. Wiley.
- Salim, D. (2009). «Logique floue et SMA: Aide à la décision floue dans les systèmes multi-agents». Tesis de mtría. Université Mentouri de Constantine.
- Santos-Pinto, L. (2016). «Le rationnel et l'irrationnel dans les choix du consommateur». En: *La vie économique*.
- Sayama, H. (2015). *Introduction to the modeling and analysis of complex systems*. Binghamton University.
- Schoenmacker, G. (2014). «Agent-based consumer modelling of the dutch lighting market». Tesis de mtría. University of Groningen.
- Schramm, M. y col. (2010). «An agent-based diffusion model with consumer and brand agents». En: *Decision support systems*.
- Schwoon, M. (2006). «Simulating the adoption of fuel cell vehicles». En: *Journal of evolutionary economics*.
- Serrano, E. y col. (2014). «Evaluating social choise techniques into intelligent environments by agent based social simulation». En: *Infortmation Sciences*.
- Sibertin, C. y P. Roggero (2013). «SocLab: A Framework for the Modeling, Simulation and Analysis of Power in Social Organizations». En: *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*.
- Simon, H. (1955). «A Behavioral Model of Rational Choice». En: *The Quarterly Journal of Economics*.
- Stattner, E. (2012). «Contributions a l'étude des réseaux sociaux: propagation, fouille, collecte des données». Tesis doct. Université des Antilles et de la Guyane.
- Sterman, J. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Irwin/McGraw-Hill.
- Steyer, A. y J. Zimmermann (2004). «Influence sociale et diffusion de l'innovation». En: *Mathematiques et Sciences Humaines*.
- Subran, L. (2014). *Economic Outlook, August-September 2014. The global automotive market*. Inf. téc. Euler Hermes Group.
- Thiriot, S. (2009). «Vers une modélisation plus réaliste de la diffusion d'innovations à l'aide de la simulation multi-agents». Tesis doct. Université Pierre et Marie Curie.
- Treuil, J.P., A. Drogoul y J.D. Zucker (2008). *Modélisation et simulation à base d'agents*. Dunod.
- Vag, A. (2007). «Simulating changing consumer preferences: a dynamic conjoint model». En: *Journal of business research*.
- Varenne, F. (2010). «Les simulations computationnelles dans les sciences sociales». En: *Nouvelles perspectives en sciences sociales: revue internationale de systèmique complexe et d'études relationnelles*.
- Wallis, W. (2007). *A Beginner's Guide to Graph Theory*. Birkhauser.
- Zhang, T. (2007). «Agent-based simulation of consumer purchase decision-making and the decoy effect». En: *Journal of business research*.

---

Zhang, T., S. Gensler y R. Garcia (2011). «A study of the diffusion of alternative fuel vehicles: An agent-based modeling approach». En: *Journal of product innovation management*.