



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Modelado del comportamiento humano para la  
respuesta a la demanda de las redes eléctricas  
inteligentes mediante sistemas multi-agente

Modeling Human Behavior for Demand Response of  
Smart Grids through Multi-Agent Systems

Autor

Miguel José López Franco

Director

Dr. Rafael Tolosana Calasanz

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
2020





## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe entregarse en la Secretaría de la EINA, dentro del plazo de depósito del TFG/TFM para su evaluación).

D./D<sup>a</sup>. Miguel José López Franco, en  
aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de  
septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el  
Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,  
Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)  
(Título del Trabajo)

Modelado del comportamiento humano para la respuesta a la demanda de  
las redes eléctricas inteligentes mediante sistemas multi-agente

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser  
citada debidamente.

Zaragoza, a 18 de noviembre de 2020

Fdo:



# AGRADECIMIENTOS

Porque sin ellos no habría sido posible llegar hasta aquí.

A mi familia, por darme el apoyo y los recursos necesarios aun cuando las cosas no salían bien.

A Rafael, director del proyecto, por el entusiasmo y la implicación mostrada a pesar de la situación actual.

A todos aquellos, antes compañeros y ahora amigos, que me habéis enseñado tanto y que me habéis incitado a seguir aprendiendo. Que estos años hayan sido tan valiosos es gracias a vosotros.



# RESUMEN

La vida de las personas ha cambiado desde la llegada de la energía eléctrica, con comodidades, facilidades y mejoras en la calidad de vida, a los hogares. Pero tiene el inconveniente de que es un recurso no almacenable. Por eso, a día de hoy, la energía eléctrica se produce según varía la demanda por parte de los usuarios, cuya estimación oscila siempre entre un mínimo y un máximo. Las redes eléctricas no pueden superar ese máximo de consumo energético y estamos ya muy próximos a él.

Para evitar esa situación surge lo que se conoce como respuesta a la demanda, cuyo objetivo es el de controlar el consumo energético de los usuarios y adaptarlo a la disponibilidad de energía eléctrica. Los modelos existentes de la respuesta a la demanda, planteados desde un punto de vista técnico, muestran ciertas carencias en el modelizado del comportamiento de los usuarios, sin reflejar cómo su adopción puede afectar a su rutina. Es, por tanto, una aproximación no del todo realista.

Desde este Trabajo Fin de Grado se ha propuesto un diseño de sistema que sí que tiene en cuenta los aspectos sociales y de comportamiento que se están ignorando en los modelos actuales, utilizando sistemas multiagente y lógica borrosa para representar a los usuarios y su razonamiento práctico, con la finalidad de ofrecer una visión más objetiva y más parecida a la realidad. Además, se realiza una prueba de concepto que ejemplifica cómo ciertos factores pueden influir en las decisiones de los usuarios y su interacción con la respuesta a la demanda.





# Índice

<b>1. Introducción y objetivos</b>	<b>1</b>
<b>2. Conceptos y tecnologías subyacentes</b>	<b>5</b>
2.1. Sistemas multiagente . . . . .	5
2.1.1. Arquitectura BDI . . . . .	5
2.1.2. Por qué sistemas multiagente BDI . . . . .	6
2.2. JADEX . . . . .	6
2.3. Lógica borrosa . . . . .	7
<b>3. Los modelos de respuesta a la demanda y el comportamiento humano</b>	<b>9</b>
<b>4. Modelizado del comportamiento humano en la respuesta a la demanda</b>	<b>13</b>
4.1. Mecanismos en JADEX . . . . .	13
4.1.1. Actividades paralelas . . . . .	14
4.1.2. Dependencias en las actividades . . . . .	15
4.1.3. Heterogeneidad en los usuarios . . . . .	15
4.1.4. Relación electrodoméstico-actividad . . . . .	15
4.1.5. Uso de los electrodomésticos . . . . .	16
4.1.6. Representación de actividades breves . . . . .	17
4.2. Uso de la lógica borrosa . . . . .	17
4.2.1. Adaptación de la lógica borrosa al problema . . . . .	17
4.2.2. Uso de <i>Fuzzy Control Language</i> . . . . .	18
<b>5. Validación experimental</b>	<b>21</b>
5.1. Aceptación de la respuesta a la demanda con tres variables . . . . .	23
5.2. Aceptación de la respuesta a la demanda con cuatro variables . . . . .	25
5.3. Resultados Experimentales . . . . .	27
<b>6. Conclusiones y trabajo futuro</b>	<b>29</b>
6.1. Conclusiones . . . . .	29

6.2. Trabajo futuro . . . . .	30
<b>Bibliografía</b>	<b>31</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>33</b>
<b>Lista de Tablas</b>	<b>35</b>
<b>Anexos</b>	<b>36</b>
<b>A. Organización</b>	<b>39</b>
A.1. Diagrama de Gantt . . . . .	39
<b>B. Detalles de JADEX</b>	<b>41</b>
B.1. Características disponibles en JADEX . . . . .	41
B.1.1. Anotaciones . . . . .	41
B.1.2. Servicios . . . . .	42
B.2. Comunicación en JADEX . . . . .	42
B.2.1. Proceso de suscripción . . . . .	43
B.2.2. Proceso de petición . . . . .	43
B.2.3. Fin de la simulación . . . . .	45
<b>C. Código</b>	<b>47</b>
C.1. Extractos de código - JADEX . . . . .	47
C.1.1. Dependencia en las actividades . . . . .	47
C.1.2. Representación de actividades breves . . . . .	48
C.2. Extractos de código - Lógica borrosa . . . . .	49
C.2.1. Variables de entrada . . . . .	49
C.2.2. Variables de salida . . . . .	49
C.2.3. Proceso de <i>fuzzification</i> . . . . .	49
C.2.4. Definición de las reglas . . . . .	50

# Capítulo 1

## Introducción y objetivos

Cuando surgieron las redes eléctricas, el consumo que se hacía entonces era muy inferior al actual <sup>1</sup>. Su diseño, por tanto, dista mucho del que hoy en día es el ideal. Al ser un recurso que no se puede almacenar, la producción de energía eléctrica viene determinada por la demanda que exista en ese momento. A mayor demanda de energía eléctrica, mayor será la producción y viceversa. Pero la infraestructura eléctrica también tiene un límite y estamos ya operando cerca su máximo. Se estima que si toda la población reemplazara sus vehículos de combustión por vehículos eléctricos y estos se recargan en los hogares, la demanda de energía superaría los límites para los que fue diseñada y, por tanto, sufriría daños severos [1]. Por este motivo, las redes eléctricas están en el proceso de conversión hacia una gestión más inteligente, un paradigma que se conoce como *Smart-Grid*.

Las *Smart-Grids* son redes eléctricas inteligentes que miden y controlan -a través de dispositivos como los *smart meters*- el consumo que los usuarios de la red eléctrica realizan, con el objetivo de ser más eficientes a la hora de producir y distribuir la electricidad y equilibrando la oferta y la demanda entre productores y consumidores. Además, propone que no sólo los usuarios sean consumidores de la energía eléctrica proporcionada por la red, sino que si un usuario es autosuficiente y genera excedente -por ejemplo, a través de placas solares propias-, esa energía pueda ser devuelta a la red y utilizada por otros usuarios.

En esta nueva generación de redes eléctricas, la respuesta a la demanda -*demand response* en inglés- se plantea como un paradigma que intenta, no solo actuar sobre la producción energética, sino actuar sobre la demanda de los usuarios de la red y adaptarla a las necesidades, bajo criterios de eficiencia y eficacia. Actualmente, las redes eléctricas inteligentes se encuentran en proceso de adaptación hacia el nuevo paradigma de red inteligente. Por ello, la respuesta a la demanda aún no está implantada. Esta se fundamenta en la comunicación que se establece entre el controlador del área eléctrica

---

<sup>1</sup><https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC>

y sus usuarios. Se trata de actuar sobre el consumo energético, en lugar de actuar sobre la producción, de manera que se altere el comportamiento de los clientes y no sea necesario actuar sobre la producción.

En la actualidad, la respuesta a la demanda se está estudiando y analizando a través de modelos y simulaciones. Sin embargo, los modelos existentes están planteados desde un punto de vista técnico y no contemplan factores sociales [2] - consideran que la adopción de la respuesta a la demanda debe regirse por variables puramente económicas (v.gr. variación de la tarifa eléctrica) y en ningún caso contemplan la disrupción y el perjuicio que pueden ocasionar a determinados grupos sociales (v.gr. aquellos que por condiciones económicas no tengan más remedio que modificar su conducta en el consumo). Por tanto, las simulaciones están previsiblemente alejadas de la realidad.

En este Trabajo Fin de Grado se ha propuesto una forma de tener en cuenta los aspectos que se están ignorando en los modelos actuales, utilizando sistemas multiagente y lógica borrosa para representar el comportamiento de los usuarios y el razonamiento práctico del ser humano frente a la respuesta a la demanda. Se persigue proporcionar una serie de herramientas que ayuden a mejorar los simuladores de respuesta a la demanda existentes, con la finalidad de ofrecer una visión más objetiva y más parecida a la realidad y que sirva para, en un futuro próximo, adoptar las medidas necesarias para mejorar la forma en la que se consume energía eléctrica hoy día.

Los objetivos de este trabajo son:

- I. El análisis de las carencias de los modelos de la respuesta a la demanda actuales relacionadas con los factores sociales.
- II. La construcción de un modelo conceptual que integre los aspectos socio-económicos que son esenciales para la adopción de la respuesta a la demanda.
- III. La construcción de un sistema que permita evaluar el grado de adopción de la respuesta a la demanda en un entorno que sea lo más parecido a la realidad posible.

La memoria de este trabajo está estructurada de la siguiente forma. En el Capítulo 2 se presentan los conceptos subyacentes relacionados con este trabajo: los sistemas multiagente y en particular la arquitectura BDI y JADEX como plataforma; además de la lógica borrosa para la toma de decisiones. En el Capítulo 3 se analizan los modelos de respuesta a la demanda actuales y se señala de qué manera no están contemplando el comportamiento humano. En el Capítulo 4, se proponen distintos mecanismos de la arquitectura BDI y JADEX que permiten aliviar esas limitaciones encontradas en el

Capítulo 3. En el Capítulo 5, se realizan una serie de simulaciones que representan una prueba de concepto, esto es, cómo se pueden integrar los elementos desarrollados en el Capítulo 4 para modelizar el comportamiento humano en la respuesta a la demanda. Finalmente, se presentan las conclusiones y el trabajo futuro en el Capítulo 6.



# Capítulo 2

## Conceptos y tecnologías subyacentes

### 2.1. Sistemas multiagente

Para entender en qué se basa y lo que aporta un sistema multiagente, es necesario comprender que un agente [3] es una entidad capaz de resolver problemas situado en un entorno particular. En función de las entradas recibidas por parte del entorno y del conocimiento que obtiene del mismo, un agente es capaz de modificar su estado y comportamiento -sobre los que tiene completo control-, de forma que pueda cumplir unos objetivos específicos para los que está diseñado. Para ello, es capaz de comportarse de manera flexible con el fin de resolver el problema, pudiendo escoger de entre varias opciones, aquella que más le convenga para alcanzar sus metas.

Además, es capaz de comunicarse con otros agentes -mediante el paso de mensajes-, llegando así a lo que se conoce como sistema multiagente [4]. En estos sistemas conviven varios agentes que operan de forma coordinada para cumplir un objetivo determinado.

#### 2.1.1. Arquitectura BDI

Dentro de los sistemas de agentes inteligentes existen varias arquitecturas que, dependiendo de cómo se organicen, comuniquen y qué tipos de comportamientos o decisiones son capaces de tomar dichos agentes, definen cada sistema. De entre todas ellas, destaca la arquitectura BDI (*Belief-Desire-Intention*, en inglés) [5], que se caracteriza por ser una aproximación a lo que es el razonamiento práctico del ser humano [6]. Este modelo propone que las acciones que se toman vienen motivadas por un proceso de razonamiento compuesto por los objetivos, el conocimiento del entorno y los posibles planes a ejecutar para satisfacer dichas metas.

- **Beliefs**: representa el conocimiento que se tiene tanto del entorno como del estado del propio agente. Dicho conocimiento es constantemente actualizado tras la

ejecución de cada acción, en previsión de que tanto el entorno como el agente puedan cambiar.

- **Desires:** representan los objetivos o metas que se desean alcanzar.
- **Intentions:** los posibles planes o acciones a ejecutar que lleven al agente al estado deseado.

### 2.1.2. Por qué sistemas multiagente BDI

A la hora de modelizar el comportamiento humano, es necesario seguir su correspondiente lógica de razonamiento, en el que si se desea conseguir un estado final concreto, es necesario conocer el entorno para, a partir de dicha información, escoger el plan de acción adecuado que lleve a dicha meta. Este razonamiento práctico es lo que caracteriza a los agentes BDI.

## 2.2. JADEX

Para pasar de ese modelo conceptual, que define el razonamiento práctico, a un sistema multiagente real se ha utilizado JADEX <sup>1</sup> [7, 8]. Desarrollada en Java, es una plataforma que permite el uso de agentes inteligentes y que además proporciona la capa de razonamiento BDI necesaria para resolver el problema.

Antes de analizar cómo se ha abordado el problema de la falta de representación de factores sociales, es necesario comprender cómo gestiona JADEX el comportamiento de los agentes inteligentes y cuáles son los factores clave que se han tenido en cuenta para darles forma. En la Sección 2.1.1, se describe brevemente la arquitectura *Belief-Desire-Intention*. ¿Qué mecanismos hay disponibles para adoptar la aproximación al razonamiento humano?

### Ciclo de vida de los agentes

El ciclo de vida de los agentes es lo que marcará su comportamiento dentro del sistema. Cada agente dispone del suyo propio, que viene especificado por el conocimiento del entorno, por sus objetivos, y por los planes disponibles para alcanzarlos.

En la Figura 2.1 se expone, de una forma simplificada, el funcionamiento de los agentes los cuales disponen de las tres características básicas de los agentes BDI: *Beliefs*, *Goals* -o *Desires*- y *Plans* -o *Intentions*-. Cuando un agente se crea e inicializa, comienza la consecución de sus objetivos (*Goals*). Éstos se pueden configurar para

---

<sup>1</sup><https://www.activecomponents.org/#/project/news>



que su comportamiento sea adecuado en función de las necesidades: si es un objetivo periódico, cada cuánto se reintenta su consecución, qué ocurre con los planes asociados una vez intentados, etc.

Cuando el agente intenta cumplir un objetivo y con la información que éste obtiene del entorno -a través de los *Beliefs*-, ejecuta los planes asociados necesarios -que pueden ser uno, dos, tres o todos- para darlo por completado. Cuando el agente ha completado todos los objetivos, *muere*, finalizando así su comportamiento.

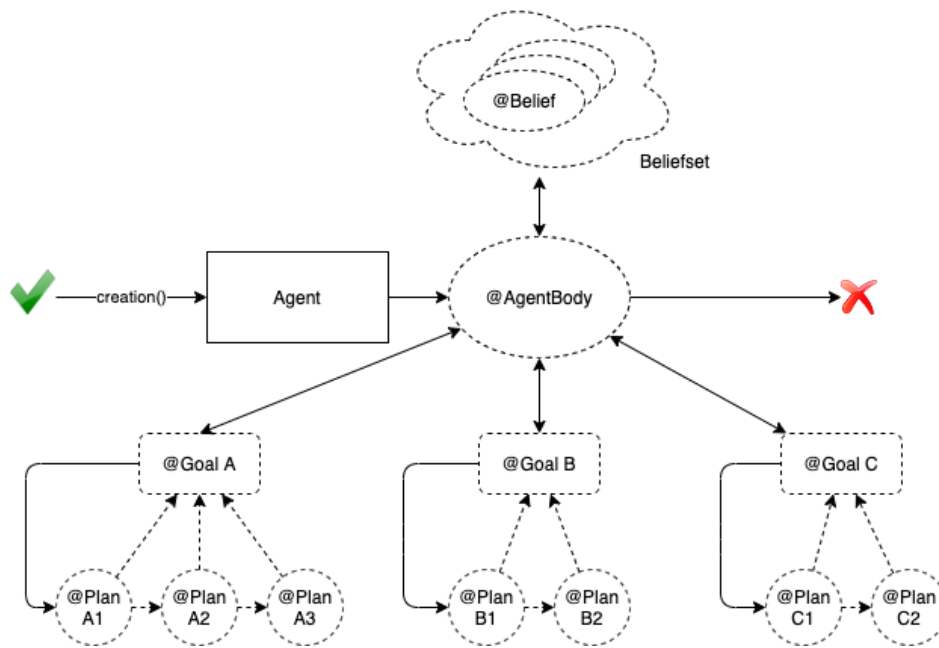


Figura 2.1: Simplificación del comportamiento de un agente en JADEX

En el Anexo B, se explica más detalladamente qué aspectos específicos de JADEX se han utilizado, detallando el código para elaborar la prueba de concepto de simulador.

## 2.3. Lógica borrosa

¿Cómo evaluar si un usuario aceptará la orden recibida por parte de la compañía eléctrica cuando ésta le diga que no puede utilizar el horno? ¿Cómo saber si un usuario decide hacer uso de la calefacción en función de la temperatura del ambiente? ¿Y de qué parámetros depende que un usuario acepte o rechace dichas órdenes?

Para dar respuesta a preguntas como las anteriormente formuladas, surge la lógica borrosa o difusa o, en inglés, *fuzzy logic* [9]. Es una disciplina dentro de la inteligencia artificial que permite realizar procesos de inferencia y representar conceptos -que pertenecen a conjuntos cuyas fronteras no están definidas- a través de enunciados vagos o borrosos: «él gana mucho», «el sabor es muy fuerte» o «tengo mucho frío», por

ejemplo. Dichos enunciados no son completamente ciertos ni completamente falsos, sino que los posibles valores quedan definidos dentro de un espectro con extremos absolutos: o totalmente cierto, o totalmente falso.

Gracias a esta técnica, ante la pregunta de si 20°C es frío o calor para un usuario a la hora de utilizar la calefacción, se obtiene la respuesta en forma de probabilidad. ¿Con qué probabilidad un usuario siente frío a 20°C y enciende la calefacción? [10]

## Capítulo 3

# Los modelos de respuesta a la demanda y el comportamiento humano

En la Figura 3.1, se muestra gráficamente cómo podría plantearse la implementación de la respuesta a la demanda en una *Smart-Grid*. En él, cada área eléctrica está controlada por un gestor que monitoriza el consumo a través de los *smart meters* (contadores inteligentes). Con la información obtenida por el gestor de cada área y la información sobre la producción de energía eléctrica, se obtienen una serie de resultados -a través del cálculo en los diferentes nodos y utilizando la computación en la nube- que indican al gestor si se debe reducir el consumo energético en su área. Si esto fuera así, se comunicará con los usuarios y ordenará las acciones necesarias para intentar cumplir el objetivo.

Tal y como se señala en [2], los modelos existentes para la respuesta a la demanda en la red eléctrica no consideran factores sociales y están centrados únicamente en aspectos tecnológicos, pues están diseñados desde la perspectiva técnica y percepción sesgada que posee el ingeniero eléctrico y sin considerar el factor social y humano. Los modelos actuales consideran que el factor económico es el único instrumento para gestionar la demanda energética y el único capaz de incidir en el comportamiento humano. En particular, el factor económico se articula a través de variaciones en la tarifa; tarifa que se le aplica al consumo de un conjunto de usuarios de la red eléctrica en un momento determinado con objeto de aumentar o disminuir la demanda.

Si bien no se discute que la variación de la tarifa eléctrica va a conseguir modificar la conducta humana y, por tanto, va a conseguir gestionar la demanda energética, en [2] se plantean determinadas cuestiones que creemos importantes: ¿Qué tarifas se consideran aceptables por los usuarios? ¿De qué manera se ve afectada la rutina de un usuario al que se le varía la tarifa eléctrica como consecuencia de una acción de gestión de la demanda? Considerando que algunas actividades que desarrollan los usuarios

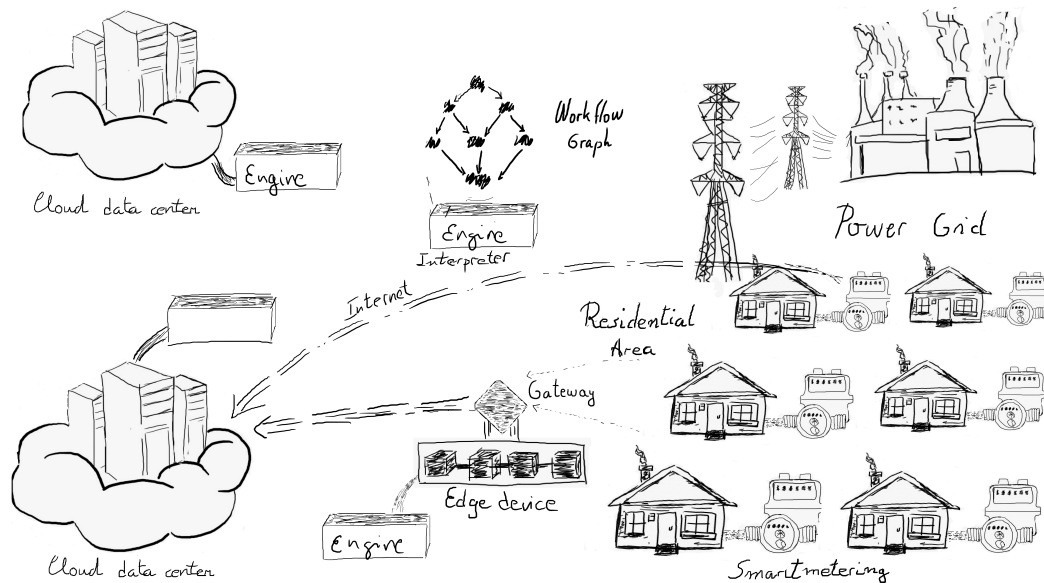


Figura 3.1: Esquema del funcionamiento de una *Smart-Grid*

pueden ser sustituidas por otras alternativas, ¿qué factores afectan a la flexibilidad de los usuarios a la hora de aceptar consignas o realizar ciertas actividades? ¿Pueden existir otros factores que también contribuyan a modificar la respuesta a la demanda? Estas preguntas carecen de respuesta en los modelos actuales, y se consideran lo suficientemente críticas como para realizar una aproximación que las tenga en cuenta.

Además, se han detectado numerosas carencias sobre cómo se entienden las actividades en los modelos de respuesta a la demanda actuales, como se resume en la Tabla 3.1:

- I. Los modelos no consideran que puede haber actividades que discurren en paralelo o que se realizan de forma solapada: ¿qué ocurre cuando hay actividades que pueden realizarse simultáneamente? Por ejemplo, se puede planchar mientras se ve la televisión o se escucha la radio, o puede darse la situación en la que el lavavajillas y la lavadora estén funcionando al mismo tiempo.
- II. No se tiene en cuenta la posible dependencia entre actividades y se asumen que estas son completamente independientes. Por ejemplo, la actividad de 'Comer' (que se entiende como un objetivo) depende de la actividad de 'Preparar la comida' (entendida como un plan para satisfacer el objetivo). Si la comida no puede prepararse, no puede cumplirse el objetivo de comer. ¿Qué ocurriría en ese caso?
- III. Los modelos no contemplan heterogeneidad en los usuarios de la red eléctrica, sino que todos somos iguales: mismo sexo, misma edad, mismas preferencias y

comportamientos, de manera que se pierden factores que pueden tener una fuerte influencia en la respuesta a la demanda. Una persona mayor va a pasar más tiempo en el hogar y, por tanto, en determinados momentos va a demandar mayor energía eléctrica que una persona joven que puede no estar en casa.

- IV. En los modelos existentes los electrodomésticos se asocian directamente a una actividad concreta. Además, las actividades se suponen independientes entre sí, por lo que la relación electrodoméstico-actividad se asume como simple y directa. Sin embargo, esto puede no ser así ya que un usuario puede utilizar el mismo electrodoméstico para dos actividades diferentes y con una forma de uso que no tiene por qué ser la misma.
- V. Se asume que los electrodomésticos se utilizan de la misma forma en todos los hogares. Esto tiene sentido si se tiene en cuenta que todos los usuarios son iguales, pero ya se ha visto que no es así. Por ese motivo la forma de utilizarlos puede variar en función del hogar y de la aceptación de la respuesta a la demanda. Por ejemplo, el concepto que los usuarios tienen de limpieza puede variar y por tanto, también varía el uso que hacen de los electrodomésticos destinados a ello: la frecuencia con la que se hace uso de la lavadora y la temperatura de los lavados -dependiendo, por ejemplo, del tipo de prendas que utilizan en los lavados- o el uso del lavavajillas.
- VI. Por último, ciertas actividades cuya duración es inferior a 10 minutos no se tienen en cuenta por ser demasiado cortas y no se considera que puedan influir en el consumo eléctrico (por ejemplo, hervir agua en una tetera). Pero si como se ha visto se permite la existencia de actividades paralelas, dichas actividades breves pueden influir en la respuesta a la demanda.

i)	No se contempla la ejecución de actividades paralelas
ii)	No se tiene en cuenta la posible dependencia en las actividades
iii)	Se asume que todos los usuarios de la red eléctrica son iguales
iv)	Asociación directa de un electrodoméstico concreto con una actividad específica
v)	Forma de uso de los electrodomésticos idéntica en todos los hogares
vi)	Se ignora la existencia de actividades breves, que tengan una duración inferior a 10 minutos

Tabla 3.1: Carencias en los modelos actuales



# Capítulo 4

## Modelizado del comportamiento humano en la respuesta a la demanda

En el Capítulo anterior se analizaron los problemas y limitaciones en el marco del comportamiento humano que presentan los modelos de respuesta a la demanda. En este Capítulo, se proporcionan mecanismos en BDI / JADEX para solucionar el problema. El objetivo, por tanto, es el de modelizar el comportamiento de las personas, exclusivamente en su faceta de consumidores de la red eléctrica y que interactúan con la respuesta a la demanda, a través de agentes inteligentes BDI. En este caso, JADEX permite separar el «Qué» del «Cómo» a través de la implementación de diferentes clases. El «Qué se quiere conseguir» se representa mediante objetivos o *Goals*, que son estados ideales que los agentes desean conseguir a través de la ejecución de los planes o *Plans*, que representan el «Cómo se consigue». Además, para representar el conocimiento del entorno se utilizan los *Beliefs* y que sirven también para determinar qué acciones se pueden o no realizar para conseguir el objetivo según los recursos disponibles. Entendiendo como recursos, los dispositivos eléctricos que permiten al cliente de la red eléctrica realizar alguna actividad, por ejemplo, la lavadora, la televisión o el horno microondas.

En el sistema existen por tanto dos agentes inteligentes fundamentales: los usuarios de la red y el controlador del área eléctrica. Cada uno tiene sus propios objetivos, que se alcanzarán a través de unos planes determinados en función del conocimiento que tengan del sistema.

### 4.1. Mecanismos en JADEX

Tal y como se ha detallado en el Capítulo 3, los modelos actuales que intentan dar una aproximación de la respuesta a la demanda no tienen en cuenta ciertos detalles a

la hora de modelizar los factores sociales que influyen en su adopción. Los mecanismos disponibles que se han adoptado para solucionarlos quedan resumidos en la Tabla 4.1.

Las soluciones adoptadas para solventar las carencias detectadas son las siguientes:

#### 4.1.1. Actividades paralelas

La existencia de actividades que se realizan de forma paralela es algo que está presente en el día a día de las personas: ver la televisión mientras se hace uso de la lavadora o del lavavajillas, planchar mientras se está escuchando música o utilizar la consola mientras está el aire acondicionado. ¿Cómo realizar esta aproximación en JADEX? Cuando un agente adopta un *goal* a ejecutar, se tiene la opción de esperar a que ésta termine de ser ejecutada (ya sea completada de forma satisfactoria o no) o lanzarla y no esperar su terminación y seguir ejecutando el resto de *goals* asociadas.

Esto se consigue con el método `get()` de la interfaz `Future`. Así, para representar que un usuario hace uso de la lavadora a la par que la cena, el código que soluciona esta aproximación es el siguiente:

```
@AgentBody
public void body(){
    ...
    agent.getComponentFeature(IBDI-AgentFeature.class)
        .dispatchTopLevelGoal(new Lavadora(dia));
    agent.getComponentFeature(IBDI-AgentFeature.class)
        .dispatchTopLevelGoal(new Cenar(dia)).get();
    ...
}
```

De esta forma cuando se añade el *goal* de `Cenar(dia)` al ciclo de vida del agente, no se espera a que el *goal* de `Lavadora(dia)` termine, sino que se ejecutan de forma paralela.

Limitación	Solución en JADEX
Actividades paralelas	Ejecución de <i>Goals</i> sin esperar a que terminen.
Actividades dependientes	Requisitos previos a la ejecución de <i>Goals</i>
Usuarios iguales	Diferentes agentes según el tipo de usuario.
Asociación electrodoméstico-actividad	Diferentes <i>Plans</i> para un mismo <i>Goal</i> .
Idéntico uso de electrodomésticos	Cada agente con características específicas.
Actividades breves	Representación de actividades breves.

Tabla 4.1: Limitaciones actuales en los modelos de Respuesta a la Demanda y el mecanismo en JADEX que permite mitigar la limitación



### 4.1.2. Dependencias en las actividades

¿Qué ocurre si un agente quiere ejecutar dos actividades pero una de ellas depende de la otra? ¿Tiene sentido que un agente haga uso de la secadora si no se ha podido utilizar la lavadora? O, ¿qué ocurre si para satisfacer el objetivo de 'Comer' es necesario ejecutar el plan 'Preparar comida' y no se tiene permiso para utilizar el horno o el microondas? En estos casos, ¿cómo se afecta a la rutina de los usuarios de la red eléctrica? Este aspecto no se contempla en los modelos existentes.

Para configurar este aspecto en JADDEX se han utilizado las anotaciones relacionadas con la creación dinámica de condiciones, en la que la creación del *goal* dependerá de los *beliefs* asociados.

```
@Goal
public class Secadora{
    @GoalCreationCondition("permisoSecadora")
    Secadora(int dia) { ... }
}
```

Así, si no se tiene permiso para intentar un objetivo, no se ejecuta. Por ejemplo, si no se tiene permiso para utilizar la secadora -que está determinado por el valor del *belief* *permisoSecadora*- no se creará el *goal* *Secadora*. La anotación es la de `@GoalCreationCondition` y puede encontrarse un ejemplo en el Anexo C.1.1.

### 4.1.3. Heterogeneidad en los usuarios

Para implementar distintos usuarios en JADDEX se pueden diseñar diferentes clases que los representen, cada una con un ciclo de vida propio que no tiene por qué ser igual al del resto. De esta forma se pueden crear agentes únicos que actúen con la variedad que los experimentos requieran.

En este caso concreto y como se observa en la Figura 4.1, para los experimentos se ha planteado un enfoque en el que hay tres tipos diferentes de agentes usuarios de la red eléctrica. Estos representan a un estudiante, una persona que trabaje desde el hogar y una persona jubilada. Los tres tienen un ciclo de vida diferente y el tiempo que pasan en casa es distinto. Además, cada uno de los agentes tiene unas características -las que definen si aceptar o no las órdenes de la compañía eléctrica- que no tienen por qué ser iguales ni a los de su clase, ni a las de los otros tipos de agentes.

### 4.1.4. Relación electrodoméstico-actividad

¿Siempre que se usa el microondas es para realizar la acción de 'Desayunar'? ¿Y el tostador también? ¿Y si quieres utilizar el tostador para 'Merendar'? ¿O el microondas para la acción de 'Cenar'?

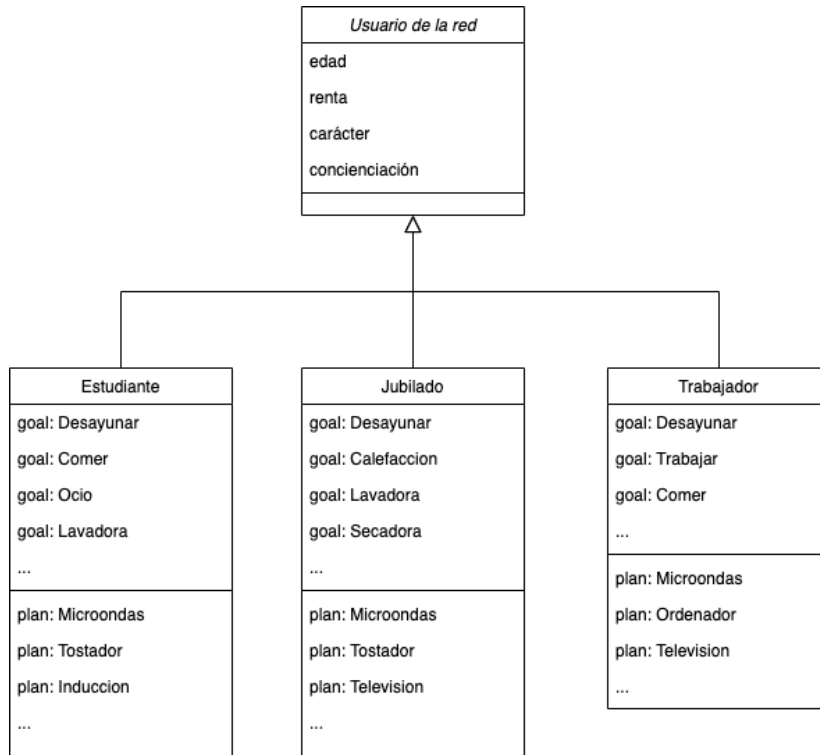


Figura 4.1: Diagrama de clases

Para evitar esta asociación directa, en JADDEX se han diseñado planes específicos para cada uno de los objetivos. Para 'Comer' y para 'Cenar' puedes utilizar el mismo electrodoméstico, sí, pero son planes independientes que hacen uso del mismo activo -como en este caso pueden ser el microondas o la inducción- y a efectos del simulador son dos electrodomésticos distintos.

#### 4.1.5. Uso de los electrodomésticos

Relacionado con la heterogeneidad de los usuarios -aunque ese aspecto está más centrado en el comportamiento-, está la forma de utilizar los electrodomésticos. ¿Todos los usuarios de la red utilizan la lavadora con el mismo programa de lavado? ¿A la misma temperatura? Y la calefacción, ¿también?

Para adoptar una solución válida en JADDEX se ha optado por incluir, cuando un usuario quiere hacer uso de un activo, la energía que éste consumirá. En la Figura B.2 se comenta cómo se produce la solicitud de energía eléctrica -o más que solicitud, se le indica al área eléctrica cuánto consume el activo que se va a utilizar-, donde la cantidad de energía que se utilizará queda definido en la variable `qty`.

Así, el programa de lavado de un usuario que lo utilice a 90°C consumirá más energía -y por tanto mayor será el valor de la variable `qty`- que alguien que haga lavados cortos a 40°C, o alguien que utilice el horno a 180°C requerirá menos energía que alguien que

lo utilice a 250°C.

#### **4.1.6. Representación de actividades breves**

En el día a día se realizan actividades de una duración breve que no tienen representación en los modelos actuales. Como cualquier actividad a realizar, consume tiempo. Y como cualquier actividad representada en este simulador, consume energía.

Para solucionar esta carencia, se asocian tiempos de ejecución a las actividades a realizar, de forma que todas consumen un número de ciclos determinado. Haciendo uso del servicio *ClockService* -para más información, ver Anexo B.1.2-, se bloquea al usuario durante el número de ciclos que representa el tiempo que se está realizando esa actividad. Así, si un usuario hace uso del tostador el agente estará esperando durante un tiempo inferior al que estaría cuando, por ejemplo, juega a la consola (ver Anexo C.1.2).

## **4.2. Uso de la lógica borrosa**

Como se ha explicado en la Sección 2.3, se han aplicado técnicas de lógica borrosa para modelizar la toma de decisiones y definir el proceso de aceptación o no de la respuesta a la demanda. Para ello, vamos a definir unas variables, a modo de ejemplo, que creemos que pueden estar involucradas en el proceso de aceptación de la respuesta a la demanda por parte del usuario de la red eléctrica. No obstante, entendemos que el conjunto de variables que hay que considerar tienen que surgir de una colaboración multidisciplinar entre la psicología, las ciencias sociales y la informática. En ese caso, se ha configurado a cada usuario de la red eléctrica con unas características determinadas que influirán a la hora de aceptar o no las órdenes, utilizando la biblioteca *jFuzzyLogic* [11, 12]. Además, destacar que, para que los datos sean fieles a la realidad, también sería necesario realizar un estudio sociológico guiado por profesionales del campo, con objeto de determinar cuánto influyen y de qué manera ciertas características de las personas. Como ese estudio escapa del alcance de este Trabajo Fin de Grado, se ha optado por definir las variables que se detallan en la Sección 4.2.1 y que se han considerado significativas.

### **4.2.1. Adaptación de la lógica borrosa al problema**

Al abordar este proyecto, una de las preguntas fundamentales es cómo determinar cuándo se aceptan o no las órdenes recibidas por la compañía eléctrica. Para ello se han establecido cuatro factores clave que definen a los agentes e influyen directamente en la aceptación. Estos son la capacidad económica, la edad, el carácter o flexibilidad

en las decisiones y el grado de concienciación que cada persona (agente) tiene sobre el medio ambiente.

- La **capacidad económica** se ha escogido ya que, si se decide optar por incrementar el precio de las tarifas eléctricas para desincentivar el consumo eléctrico, se ha considerado que aquellos usuarios con mayor poder adquisitivo serán menos sensibles a dichas órdenes, mientras que aquellos que tengan unos ingresos más limitados, se verán forzados a modificar su conducta pues el no hacerlo conlleva una penalización económica.
- La **edad** de los agentes se ha considerado como un factor determinante, pues los usuarios jóvenes, por ejemplo, al pasar menos tiempo en el hogar, van a estar menos expuestos a la respuesta a la demanda, en comparación con los usuarios de avanzada edad. Además, los usuarios de edad intermedia pueden tener unas necesidades y obligaciones familiares que no les permita aceptar las comandas.
- El **carácter o flexibilidad** del usuario. Se ha considerado que alguien que tiene un carácter más dócil o que es capaz de amoldarse a las situaciones, presentará menos inconvenientes a la hora de aceptar las órdenes. Sin embargo, alguien cuyo carácter sea fuerte y no acepte cambios que no haya contemplado y desee seguir con sus objetivos sin adaptarse a las situaciones, es muy probable que no asuma las órdenes impuestas por la compañía eléctrica.
- Por último, el **grado de concienciación con el medio ambiente** sí que puede influir en las decisiones. Cuanto mayor concienciado esté un usuario, más propenso -y, por tanto, flexible- a aceptar las órdenes será. De esta forma se puede modelar cómo una hipotética educación desde los niveles más bajos de la enseñanza puede influir a largo plazo en los diferentes grupos de edad.

#### 4.2.2. Uso de *Fuzzy Control Language*

Cada usuario, por tanto, está determinado por cuatro parámetros, correspondientes a las cuatro variables mencionadas, y cuya confluencia definirá el grado de aceptación de las órdenes recibidas por parte del controlador del área eléctrica. Estos son: los ingresos, la edad, el carácter y la concienciación con el medioambiente. Estas cuatro variables serán las entradas de la función de lógica borrosa que definan la aceptación o no de las órdenes.

Para implementar las funciones de lógica borrosa se ha utilizado el lenguaje basado en reglas denominado *Fuzzy Control Language*. En él, se definen las variables que servirán de entrada, el grado de pertenencia a un valor u otro en la variable de salida

y las reglas que determinarán el resultado final de la aceptación mediante el proceso que se conoce como *fuzzification*. En el Anexo C.2 aparece la configuración utilizada.

Las reglas utilizadas y su efecto en la variable de salida quedan resumidas en la Tabla 4.2. Esta tabla es orientativa, considerando los factores que puedan afectar al resultado final de la aceptación. Una vez más, es importante resaltar que dicha tabla habría que realizarla en colaboración con sociólogos y psicólogos que analicen el comportamiento social en este caso.

La representación gráfica de cada variable queda definida en la Figura 4.2. En ellas se muestran con qué valor numérico se asocia cada posible estado *fuzzy* de las características:

- Según el poder adquisitivo, representado por la variable **income**: los posibles estados son *poor*, *normal* o *excellent*.
- Según la edad, representada por la variable **age**: *young*, *middleaged*, *adult* o *old*.
- Según el carácter, representado por la variable **character**: *soft*, *medium* o *hard*.
- Según la concienciación por el medioambiente, representado por la variable **environment**: *bad*, *medium* o *high*.

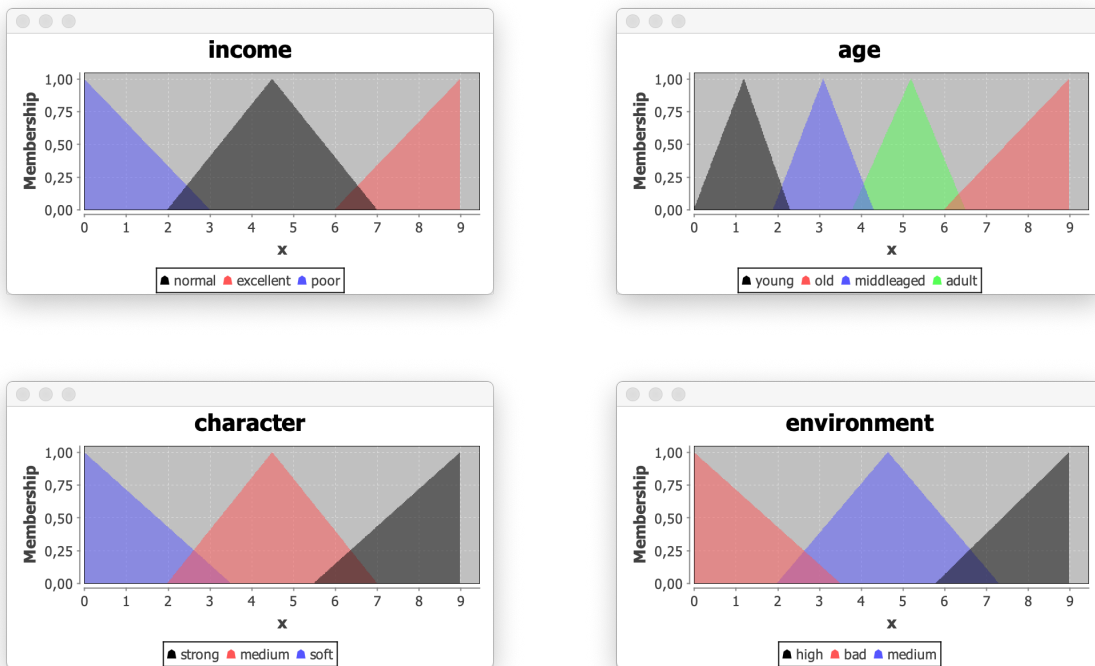


Figura 4.2: Variables utilizadas en las funciones de pertenencia de lógica borrosa

income	age	character	envoronment	accept
poor	-	soft	-	yes
poor	adult	$\neg$ soft	bad	no
poor	adult	$\neg$ soft	$\neg$ bad	yes
poor	$\neg$ adult	$\neg$ soft	-	yes
excellent	-	$\neg$ soft	$\neg$ high	no
excellent	-	-	high	yes
$\neg$ poor	-	soft	-	yes
$\neg$ poor	-	strong	high	yes
$\neg$ poor	-	strong	$\neg$ high	no
normal	young OR old	medium	-	yes
normal	mid OR adult	medium	$\neg$ high	no
normal	mid OR adult	medium	high	yes

Tabla 4.2: Reglas para determinar la aceptación

Por último, la variable **accept** será la que dictamine el resultado final y las decisiones que tomará el agente. Si, tras aplicar las reglas, la variable **accept** determina que el agente pertenecerá al conjunto que no acepta las órdenes, no las aceptará y viceversa.

Para la representación de las variables se ha optado por utilizar funciones triangulares por ser las más sencillas. Con un trabajo de investigación por parte de expertos en sociología puede perfilarse mejor la importancia y aspecto de las mismas.

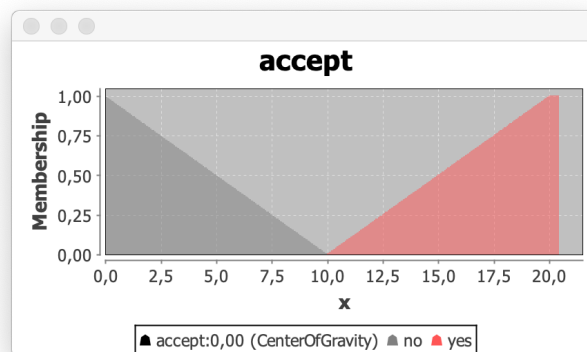


Figura 4.3: Aspecto de la variable de salida **accept**

# Capítulo 5

## Validación experimental

Desde este Trabajo Fin de Grado no se pretende construir un simulador completo, sino que lo que se pretende es proporcionar, a través de JADDEX, un sistema que pueda modelar factores humanos que se están ignorando en los modelos actuales de la respuesta a la demanda. Para ello, en esta sección se va a construir una pequeña prueba de concepto que permita simular experimentos concretos, partiendo de agentes con comportamientos específicos y con el objetivo de evaluar el grado de adopción de la respuesta a la demanda y estudiar la interrupción en la rutina de los usuarios.

En ellos se ha simulado la interacción del controlador del área y los usuarios de la red -concretamente 100<sup>1</sup>- durante la ejecución de las tareas que se realizarían en 2 días, formando así un sistema multiagente de 101 componentes. Los eventos de *demand response* se reciben cuando la cantidad de energía disponible es inferior a cierto valor. Esto es, aproximadamente una vez al día, coincidiendo con las horas centrales donde todos los agentes hacen mayor uso de la red.

Para ello, se han representado tres tipos de agentes que se identifican con tres usuarios diferentes: un joven estudiante, una persona jubilada y una persona que trabaja desde el hogar. Vienen definidos por el valor de las variables de lógica borrosa -renta, edad, carácter y concienciación por el medioambiente-, quedando como se detalla en la Tabla 5.1. Todas las variables asignadas tienen un valor aleatorio que oscila entre 0 y 9, pero quedando delimitado por las propiedades de los agentes:

- **Renta:** representa los ingresos e indirectamente la capacidad para asumir tarifas más elevadas cuando no se acepta la respuesta a la demanda, estando acotada según el tipo de agente. A menor valor de esta variable, menor capacidad económica y más sensible se será a los cambios de tarifa, mientras que si es un valor próximo al 9, mayor será la capacidad de soportar ciertos aumentos en la factura. Por ello, se ha planteado que los jóvenes y los jubilados tengan unos

---

<sup>1</sup>Actualmente el número de hogares en un área eléctrica en Europa está en el orden de la centena

valores máximos inferiores a los que puede tener un trabajador.

- **Edad:** su valor, entre 0 y 9 representa las edades entre 0 y 90 años. Según el tipo de usuario, este valor estará acotado por un mínimo y un máximo.
- **Carácter:** representa el carácter y la flexibilidad en sus intenciones. Su valor siempre oscila entre 0 -muy moldeable, la persona es capaz de adaptarse a las órdenes recibidas sin mayor complicación y siempre tiene alternativas para cumplir sus objetivos- y 9 -muy estricto con sus intereses y no cede ante las posibles órdenes por parte de la compañía-.
- **Concienciación por el medioambiente:** representa cómo de sensible es a la hora de aceptar las órdenes desde un punto de vista medioambiental. Los valores oscilan entre 0 -no se preocupa lo más mínimo- y 9 -es consciente de lo que supone su gasto para el ecosistema-, pero están acotados según el agente que lo represente. Los jóvenes y los trabajadores estarán más concienciados que los jubilados, pues se ha supuesto que estos últimos no han recibido tanta educación medioambiental como sí han recibido los otros dos tipos de agente.

Los agentes representados son los siguiente:

- **Joven estudiante:** una persona joven, en edad de estudiar y que el tiempo que pasa en el hogar -y por tanto lo que le afectará la respuesta a la demanda- es limitado. Su renta no es muy elevada ya que, o estudia, o tiene poca experiencia laboral -lo que implica menos ingresos- , el carácter puede tomar cualquier valor y este tipo de agente sí que tiene, como mínimo, algo de conciencia por el medioambiente.
- **Persona jubilada:** persona que pasa bastante tiempo en casa, con una renta intermedia y con apenas concienciación por el medioambiente. Su carácter también puede tomar cualquier valor y la edad toma los valores más altos posibles.
- **Trabajador:** persona que trabaja desde el hogar, con una renta entre intermedia y elevada, su carácter también puede tomar cualquier valor y dispone de algo de concienciación por el medioambiente.

Se han planteado dos escenarios diferentes: el primero en el que no se tiene en cuenta la variable que representa la concienciación por el medioambiente, y un segundo en el que sí. De esta forma se puede estudiar cómo varía la aceptación si se influye en esa variable.



Agente	renta		edad		carácter		medioambiente	
	min	max	min	max	min	max	min	max
<b>Persona joven</b>	0	6	0	3.5	0	9	2	9
<b>Persona jubilada</b>	2	7	6	9	0	9	0	6
<b>Trabajador</b>	3	9	2	6	0	9	2.5	9

Tabla 5.1: Características de los agentes en los experimentos realizados

## 5.1. Aceptación de la respuesta a la demanda con tres variables

En los siguientes experimentos se han tenido en cuenta las variables de renta, edad y carácter para evaluar cómo la capacidad económica puede influir en la aceptación. Se han realizado varias ejecuciones para obtener el valor medio y se han dividido las pruebas en dos grupos: renta baja y renta alta -pero siempre dentro de los límites de cada perfil de usuario-. Por ejemplo, la renta en una persona joven varía entre 0 y 6 así que se ha comparado en dos grupos: con una renta de 0 a 3 y con renta de 3 a 6.

En la Figura 5.1 se detalla el porcentaje de aceptación según la renta de los usuarios. Observando los resultados obtenidos, se aprecia una aceptación mayor cuanto menor es la capacidad económica ya que se es más sensibles a los cambios de tarifa.

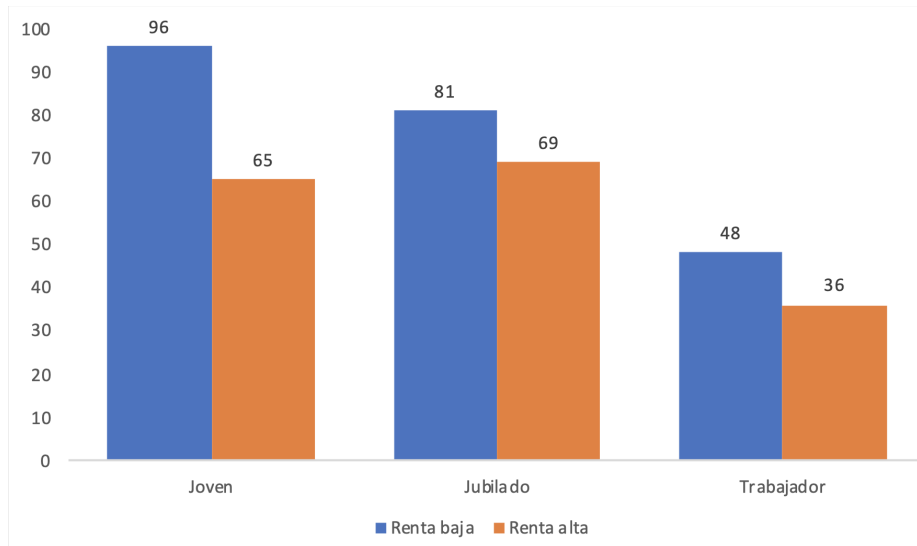


Figura 5.1: Aceptación de la respuesta a la demanda en % según renta y usuario, sin tener en cuenta la concienciación por el medioambiente

Para estudiar cómo de disruptivo se es en la rutina de los usuarios, se han estudiado el número de planes afectados en relación al número total de planes ejecutados, entendiendo por plan la acción que el agente ejecuta para satisfacer un objetivo. En la Figura 5.2 se detallan cuántos planes son ejecutados, cuántos son cancelados porque se acepta la respuesta a la demanda y cuántos son continuados a pesar de que les llega

un aviso de por parte del controlador.

Relacionando las Figuras 5.1 y 5.2, cuanto mayor es el porcentaje de aceptación, más planes cancelados hay -se hace más caso a las órdenes del gestor del área eléctrica- y más se afecta a la rutina de los usuarios.

Acompañando a la Figura 5.2 está la Tabla 5.2. En ella se detalla el porcentaje de planes que estaban programados para realizarse pero que son cancelados por la aceptación de la respuesta a la demanda.

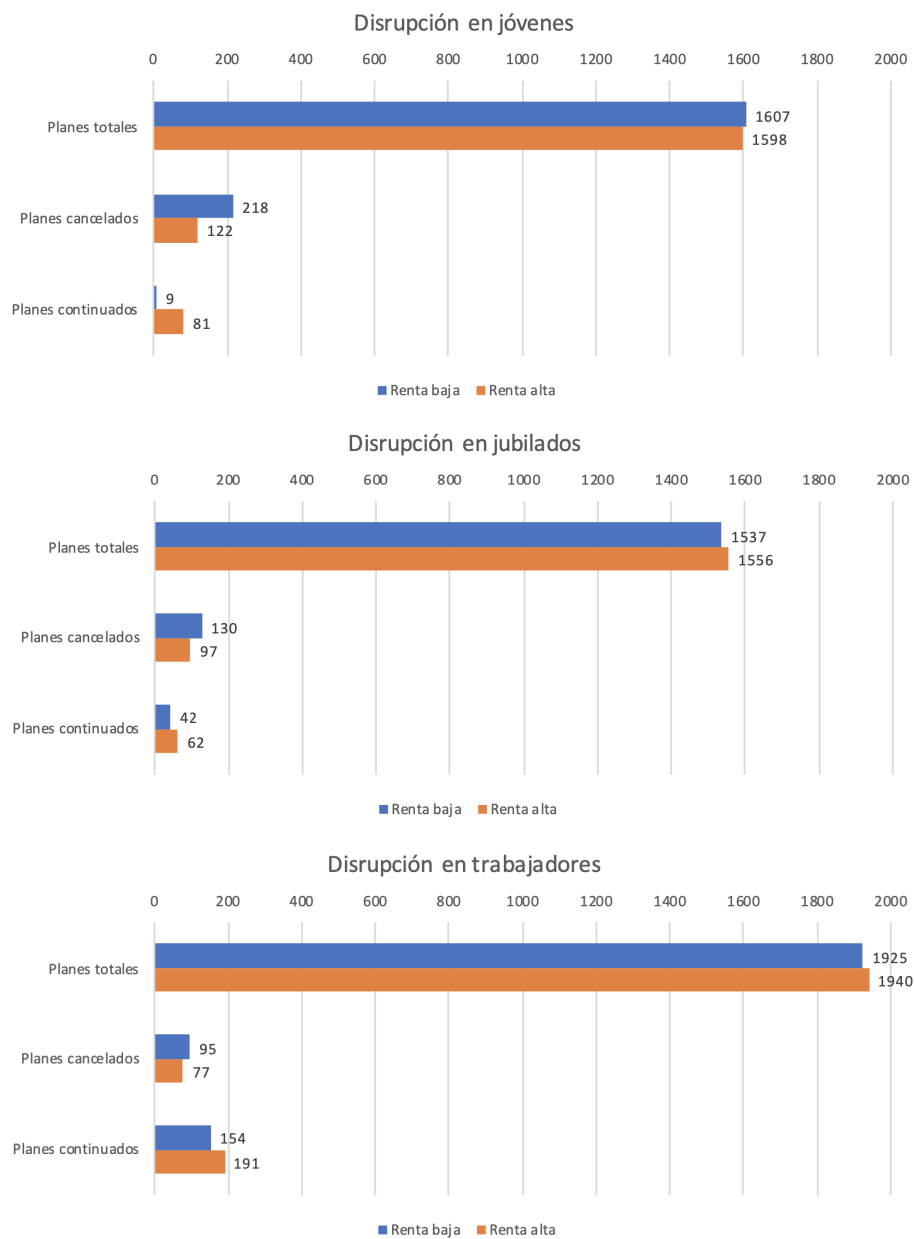


Figura 5.2: Cómo se afecta a la rutina de los usuarios, sin tener en cuenta la preocupación por el medioambiente

Agente	Renta	Planes totales	Planes cancelados	Planes continuados	% de afectación
Joven	Baja	1607	218	9	13,56
	Alta	1598	122	81	7,63
Jubilado	Baja	1537	130	42	8,45
	Alta	1556	97	62	6,22
Trabajador	Baja	1925	95	154	4,90
	Alta	1940	77	191	3,96

Tabla 5.2: Disrupción en la rutina de los agentes, sin tener en cuenta el medioambiente

## 5.2. Aceptación de la respuesta a la demanda con cuatro variables

En esta ocasión se ha añadido la variable de concienciación por el medioambiente para observar cómo ésta puede variar el porcentaje de usuarios que aceptan o no las órdenes. Sí que se observa -como describe la Figura 5.3- un ligero aumento en la aceptación respecto al caso estudiado en la Sección 5.1, sobre todo en los trabajadores y los jóvenes. Como se comenta en la Tabla 5.1, los valores que puede tomar la variable asociada a la concienciación por el medioambiente están delimitados según el tipo de agente. ¿Y si dicho valor fuese, en media, mayor?

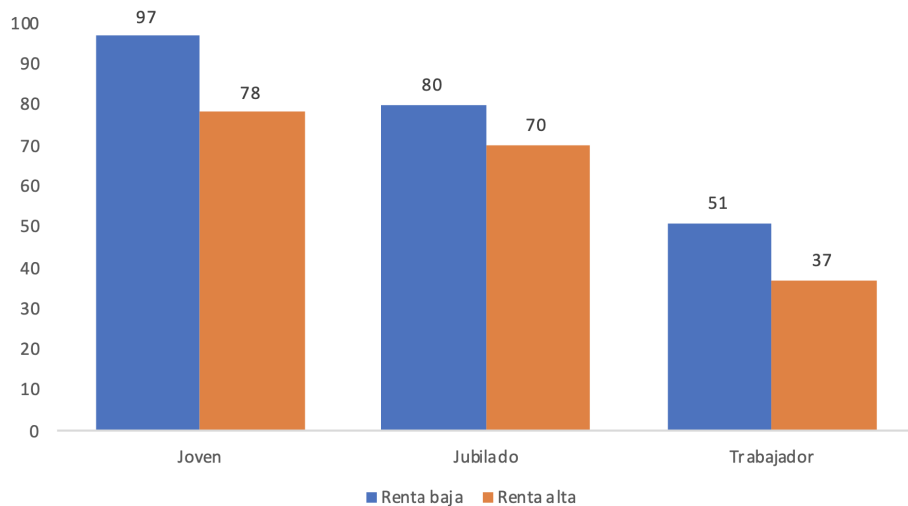


Figura 5.3: Aceptación de la respuesta a la demanda en % según renta y usuario, teniendo en cuenta la concienciación por el medioambiente

En cuanto a cómo se afecta a la rutina, ocurre algo similar a lo que se comenta en la Figura 5.2: a mayor aceptación, mayor porcentaje de planes cancelados, traduciéndose a una mayor disrupción. En la Tabla 5.3 se detalla cómo afecta en este caso a la rutina de los usuarios.

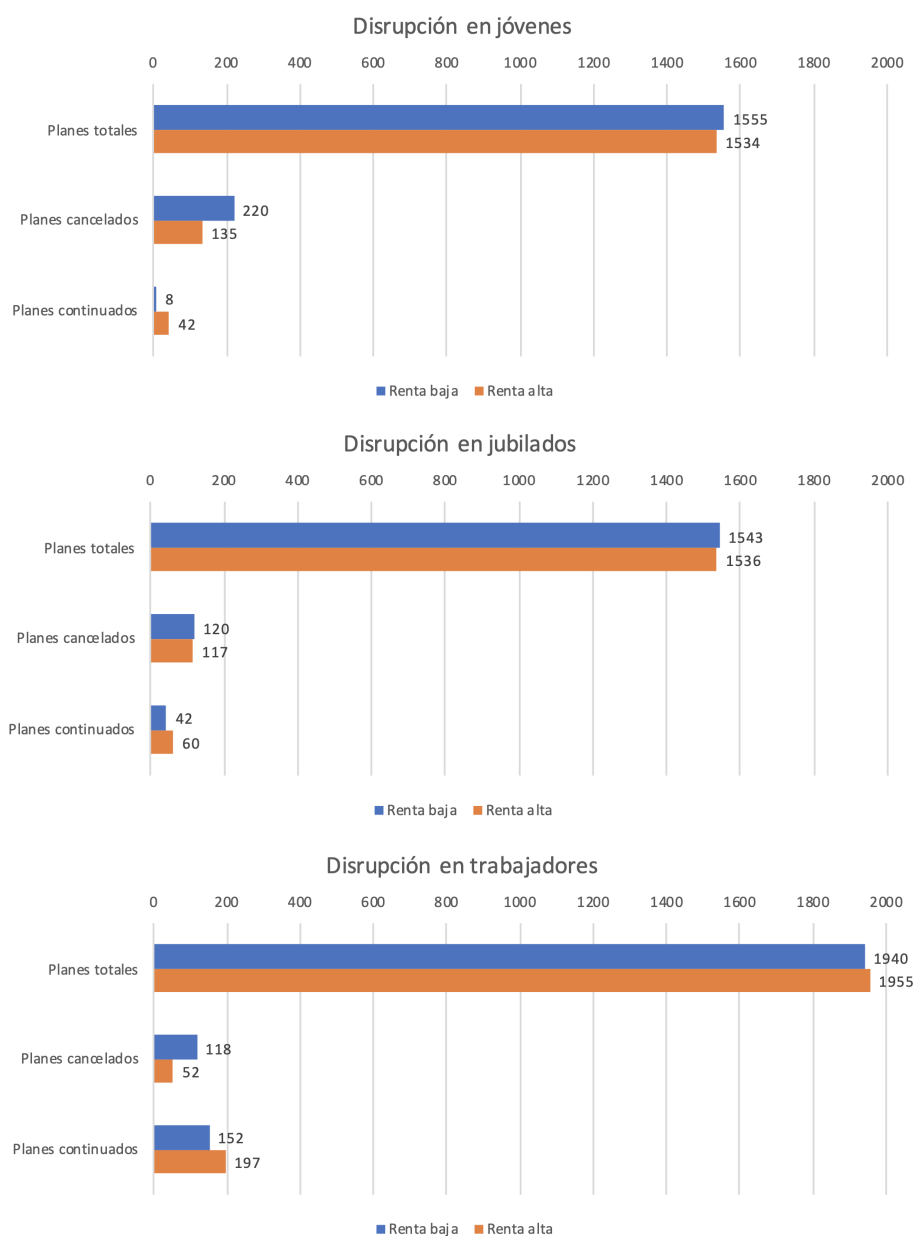


Figura 5.4: Cómo se afecta a la rutina de los usuarios, esta vez sí, teniendo en cuenta la preocupación por el medioambiente

Agente	Renta	Planes totales	Planes cancelados	Planes continuados	% de afectación
Joven	Baja	1555	220	7	14,14
	Alta	1534	135	42	8,80
Jubilado	Baja	1543	120	42	7,77
	Alta	1536	117	60	7,61
Trabajador	Baja	1940	118	152	6,08
	Alta	1955	52	197	2,65

Tabla 5.3: Disrupción en la rutina de los agentes, teniendo en cuenta el medioambiente

### 5.3. Resultados Experimentales

Tras realizar los experimentos planteados y observar lo que muestran las Figuras 5.2 y 5.4, queda patente que el factor económico es importante a la hora de determinar la aceptación, pues la penalización económica que la compañía puede inferir en los usuarios es lo que motiva seguir las indicaciones de la respuesta a la demanda. Además, observando los experimentos presentados en la Sección 5.2, se concluye que la variable de concienciación por el medioambiente también tiene un peso relevante que modifica la posible respuesta de los usuarios. Además, cuanto mayor es su aceptación, mayor es el grado de interrupción en las rutinas de los usuarios, como destacan las Tablas 5.2 y 5.3.

No obstante, cabe destacar que a la hora de diseñar y realizar los experimentos, muy probablemente se haya incurrido en el mismo error que se comete en los modelos actuales de respuesta a la demanda: las suposiciones. En este caso, las variables que afectan a los usuarios y su grado de influencia no son origen de ningún estudio sociológico, sino de nuestra intuición: el resultado está condicionado por nuestra visión de la realidad. Es por ello que desde aquí, se proporciona un modelo conceptual que sí que tiene en cuenta factores que puedan afectar a la aceptación, pero el validar los datos y determinar cuáles pueden influir y en qué medida, es parte de otro ámbito -más humanístico y social que técnico-.



# Capítulo 6

## Conclusiones y trabajo futuro

### 6.1. Conclusiones

Cuando las redes eléctricas se diseñaron, no existía el consumo eléctrico que hay hoy día. Para monitorizarlo y con la finalidad de ser más eficientes, surge lo que se conocen como *Smart-Grids* y nace el concepto de respuesta a la demanda, cuyas aproximaciones actuales que intentan modelarla están planteadas desde un punto de vista técnico y sin tener en cuenta factores sociales que pueden afectar a su adopción -como puedan ser las necesidades y rutinas específicas de cada usuario, la capacidad de hacer frente a posibles sanciones económicas o su concienciación por el medioambiente a la hora de utilizar los recursos eléctricos-.

En este Trabajo Fin de Grado se ha estudiado y analizado las suposiciones que se realizan en los modelos actuales de respuesta a la demanda, desde un punto de vista social. Para todas ellas, se ha proporcionado una serie de modelos de sistemas multiagente BDI (implementados en JADEX) en combinación con lógica borrosa para la toma de decisiones, que permiten modelar el comportamiento humano respecto de la respuesta a la demanda en la red eléctrica. Los mecanismos propuestos se pueden incorporar en los modelos existentes de manera que pueden realizarse simulaciones más realistas y que tengan en cuenta los factores sociales.

Los modelos proporcionados se han validado construyendo un simulador prueba de concepto, en el que se modela un área eléctrica con distintos tipos de usuarios de la red eléctrica (joven, adulto, anciano) con distintas características de comportamiento y en el que los agentes reciben distintas peticiones de respuesta a la demanda, requiriendo reducir su consumo y con unos datos generados de forma aleatoria. El objetivo de los experimentos es demostrar y ejemplificar cómo se pueden hacer uso de las distintas variables del modelo. Por ejemplo, se puede cuantificar la disrupción causada en los clientes de la red, medida en términos del número actividades que no han podido realizarse (v.gr. la actividad de preparar la comida y comer). Otra aplicación posible

es la posibilidad de explorar la influencia en el comportamiento de distintas variables: en nuestros experimentos se introduce como variable la sensibilidad al medio ambiente y se ve cómo esta podría influir hacia una adopción más favorable a la respuesta a la demanda. Así, los estados podrían programar actividades en materia educativa con el objetivo futuro de conseguir una mayor eficiencia energética.

## **6.2. Trabajo futuro**

Como se ha menciona a lo largo de la presente memoria, es necesario el estudio de la conducta humana y su comportamiento por parte de sociólogos y expertos. Con su trabajo, a través de encuestas masivas a la población, se puede definir más claramente el ciclo de vida de los agentes y las decisiones a tomar, así como qué variables son importantes y cuál es su grado de influencia en la aceptación de la respuesta a la demanda. Por tanto, como trabajo futuro se plantea una colaboración mutidisciplinar entre las ciencias sociales, la psicología, la ingeniería eléctrica y la informática.



# Bibliografía

- [1] Panagiotis Papadopoulos, Spyros Skarvelis-Kazakos, Inaki Grau, Liana Mirela Cipcigan, and Nicholas Jenkins. Electric vehicles' impact on british distribution networks. *IET Electrical Systems in Transportation*, 2(3):91–102, 2012.
- [2] Eoghan McKenna, Sarah Higginson, Philipp Grunewald, and Sarah J Darby. Simulating residential demand response: Improving socio-technical assumptions in activity-based models of energy demand. *Energy Efficiency*, pages 1–15, 2017.
- [3] Michael J Wooldridge and Nicholas R Jennings. Intelligent agents: Theory and practice. *The knowledge engineering review*, 10(2):115–152, 1995.
- [4] Michael Wooldridge. *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons, 2009.
- [5] Anand S Rao, Michael P Georgeff, et al. Bdi agents: from theory to practice. In *Icmas*, volume 95, pages 312–319, 1995.
- [6] Michael Bratman et al. *Intention, plans, and practical reason*, volume 10. Harvard University Press Cambridge, MA, 1987.
- [7] Lars Braubach, Alexander Pokahr, and Winfried Lamersdorf. Jadex: A short overview. In *Main Conference Net. ObjectDays*, volume 2004, pages 195–207, 2004.
- [8] Alexander Pokahr, Lars Braubach, and Winfried Lamersdorf. Jadex: A bdi reasoning engine. In *Multi-agent programming*, pages 149–174. Springer, 2005.
- [9] Jerry M Mendel. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 83(3):345–377, 1995.
- [10] Maher Hamdi and Gerard Lachiver. A fuzzy control system based on the human sensation of thermal comfort. In *1998 IEEE International Conference on Fuzzy Systems Proceedings. IEEE World Congress on Computational Intelligence (Cat. No. 98CH36228)*, volume 1, pages 487–492. IEEE, 1998.

- [11] Pablo Cingolani and Jesus Alcalá-Fdez. jfuzzylogic: a robust and flexible fuzzy-logic inference system language implementation. In *Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2012 IEEE International Conference on*, pages 1–8. IEEE, 2012.
- [12] Pablo Cingolani and Jesús Alcalá-Fdez. jfuzzylogic: a java library to design fuzzy logic controllers according to the standard for fuzzy control programming. pages 61–75, 2013.

# Lista de Figuras

2.1. Simplificación del comportamiento de un agente en JADDEX . . . . .	7
3.1. Esquema del funcionamiento de una <i>Smart-Grid</i> . . . . .	10
4.1. Diagrama de clases . . . . .	16
4.2. Variables utilizadas en las funciones de pertenencia de lógica borrosa .	19
4.3. Aspecto de la variable de salida <b>accept</b> . . . . .	20
5.1. Aceptación de la respuesta a la demanda en % . . . . .	23
5.2. Cómo se afecta a la rutina de los usuarios, sin tener en cuenta la preocupación por el medioambiente . . . . .	24
5.3. Aceptación de la respuesta a la demanda en % . . . . .	25
5.4. Cómo se afecta a la rutina de los usuarios, esta vez sí, teniendo en cuenta la preocupación por el medioambiente . . . . .	26
A.1. Diagrama de Gannt . . . . .	40
B.1. Proceso de suscripción . . . . .	43
B.2. Interacción con la respuesta a la demanda . . . . .	44
B.3. Proceso de finalización de la simulación . . . . .	45



# Lista de Tablas

3.1. Carencias en los modelos actuales . . . . .	11
4.1. Limitaciones actuales en los modelos de Respuesta a la Demanda y el mecanismo en JADDEX que permite mitigar la limitación . . . . .	14
4.2. Reglas para determinar la aceptación . . . . .	20
5.1. Características de los agentes en los experimentos realizados . . . . .	23
5.2. Disrupción en la rutina de los agentes, sin tener en cuenta el medioambiente	25
5.3. Disrupción en la rutina de los agentes, teniendo en cuenta el medioambiente	26

