

uc3m | Universidad **Carlos III** de Madrid

Grado Universitario...

Indique el curso académico (ej. 2019-2020)

*Trabajo Fin de Grado*

# “Asistente estratégico de Catán con CLIPS”

---

Ibay Amor Salgado

Tutor/es

Javier Ignacio Carbó Rubiera

Alejandro Cervantes Rovira

Colmenarejo, Septiembre 2020



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**

## RESUMEN

Durante los últimos años la industria de los videojuegos ha experimentado un enorme crecimiento. También se ha popularizado la digitalización de juegos de mesa tradicionales o nuevos, principalmente por permitir jugar sin necesidad de otras personas. En su lugar, se pueden enfrentar contra jugadores controlados por el ordenador. Este es uno de los principales lazos entre los videojuegos y la Inteligencia Artificial.

La técnica de Inteligencia Artificial tratada en este documento es el sistema experto. Consiste en un programa que trata de imitar el comportamiento de un experto para solucionar un problema en un ámbito concreto. Lo hace almacenando la información relevante para el experto y copiando su razonamiento.

Se aplica sobre la versión del juego de mesa Colonos de Catán conocida como *JSettlers*, desarrollada por Jeremy D. Monin. Se centra en la fase de negociación entre jugadores, tratando de encontrar la decisión óptima ante un intercambio durante una partida.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, sistema experto, negociación, Colonos de Catán.

## ABSTRACT

*During the last years the video game industry has experienced a huge growth. The digitalization of traditional or new board games has also become popular, mainly because it allows to play without the need of other people. Instead, they can be played against computer-controlled players. This is one of the main links between video games and artificial intelligence.*

*The artificial intelligence technique discussed in this document is the expert system. It consists of a program that tries to imitate the behavior of an expert to solve a problem in a specific area. It does it storing the relevant information for the expert and copying his reasoning.*

*It is applied on the version of the board game Settlers of Catan known as JSettlers, developed by Jeremy D. Monin. It focuses on the negotiation phase between players, trying to find the optimal decision before an exchange during a game.*

*Key words: Artificial Intelligence, expert system, negotiation, Settlers of Catan.*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION.....	1
1.1	MOTIVACION DEL TRABAJO .....	1
	<i>[WORK MOTIVATION]</i> .....	2
1.2	OBJETIVOS PRINCIPALES .....	3
	<i>[MAIN GOALS]</i> .....	3
1.3	MARCO REGULADOR .....	4
	<i>[REGULATORY FRAMEWORK]</i> .....	5
1.4	ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO .....	5
	<i>[DOCUMENT ORGANISATION]</i> .....	6
2.	ENTORNO SOCIOECONÓMICO.....	8
2.1	SITUACIÓN ACTUAL .....	8
	<i>[CURRENT SITUATION]</i> .....	9
2.2	PRESUPUESTO .....	9
	<i>[BUDGET]</i> .....	10
2.3	IMPACTO SOCIOECONÓMICO .....	10
	<i>[SOCIO-ECONOMIC IMPACT]</i> .....	11
3.	ESTADO DEL ARTE .....	12
	<i>[STATE OF THE ART]</i> .....	13
4.	SOLUCIÓN PROPUESTA .....	15
4.1	DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	15
4.1	REQUISITOS DEL SISTEMA.....	16
4.1.1	Requisitos funcionales .....	16
4.1.2	Requisitos no funcionales.....	17
4.2	LIBRERÍA JESS.....	18
4.3	DISEÑO DEL SISTEMA.....	19
4.3.1	Modelo de clases existentes.....	19
4.3.2	Descripción de clases existentes.....	19
4.3.3	Clases modificadas y añadidas.....	21
4.3.4	Hechos, reglas y ejecución del motor .....	23
5.	EVALUACIÓN Y RESULTADOS.....	28
6.	CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS .....	31
	<i>[CONCLUSIONS AND FUTURE IMPROVEMENTS]</i> .....	31

BIBLIOGRAFÍA .....	33
GLOSARIO .....	34
ANEXO 1: Diagrama de Gantt .....	35

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Captura de la interfaz gráfica durante una partida. Fuente: Elaboración propia.....	15
Ilustración 2. Diagrama de clases existentes. Fuente: Elaboración propia .....	19
Ilustración 3. Añadido del diagrama de clases. ....	21

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto del proyecto. ....	10
Tabla 2. Clasificación de las técnicas de I.A.....	12
Tabla 3. Requisito funcional 01 .....	16
Tabla 4. Requisito funcional 02 .....	17
Tabla 5. Requisito funcional 03 .....	17
Tabla 6. Requisito funcional 04 .....	17
Tabla 7. Requisito funcional 05 .....	17
Tabla 8. Requisito funcional 06 .....	17
Tabla 9. Requisito funcional 07 .....	17
Tabla 10. Requisito no funcional 01.....	17
Tabla 11. Requisito no funcional 02.....	18
Tabla 12. Requisito no funcional 03.....	18
Tabla 13. Requisito no funcional 04.....	18
Tabla 14. Asignación de posiciones a materias primas.....	20
Tabla 15. Base de conocimiento del consejero. ....	25
Tabla 16. Lógica de las reglas que aceptan una oferta. ....	25
Tabla 17. Lógica de las reglas que rechazan una oferta.....	26
Tabla 18. Lógica de las reglas que negocian una oferta.....	26
Tabla 19. Análisis de los intercambios realizados en las partidas a imitar.....	29
Tabla 20. Resultados de las decisiones por partida y jugador.....	29

Tabla 21. Tasa de aciertos por jugador y partida y acumulados. ....	30
Tabla 22. Tasa de aciertos por tipo de decisión .....	30

# 1. INTRODUCCION

Con el fin de permitir al lector abordar la lectura del presente documento con una mayor facilidad, se empleará este apartado para describir los motivos del trabajo, la problemática a resolver y la forma en que se resolverá.

Adicionalmente, en este punto se expondrá el marco regulador que afecta al desarrollo del proyecto, y para tener una visión más amplia desde el inicio se aportará una visión global de la organización del trabajo y del documento.

## 1.1 MOTIVACION DEL TRABAJO

En las últimas décadas el desarrollo de la I.A. ha sido extraordinario. Sus aplicaciones son numerosas: medicina, finanzas, robótica o entretenimiento son quizás las más destacables, aunque lo cierto es que cada vez la I.A. está más presente en la vida cotidiana de las personas. Otras herramientas como el Big Data favorecen un enorme crecimiento en el volumen de datos con el que se trabaja, lo cual implica una necesidad por profundizar y mejorar en las técnicas de I.A. Sin embargo, las dos ramas que más han favorecido e impulsado a la I.A. son la lógica y la computación. En el apartado 3 se profundiza en estos conceptos.

Además, es también cada vez más frecuente que una sola persona pueda pasar el tiempo con juegos de mesa o videojuegos que acostumbraban a ser para más personas. Esta capacidad de reemplazar a jugadores humanos hace muy atractivos a los sistemas con I.A. Ya sea por entrenamiento o diversión, lo cierto es que molesta querer entrenar o jugar y no poder. Esto se debe y a su vez contribuye a la acelerada expansión de dichos sistemas aplicados a dichos juegos, ya que satisface únicamente de forma parcial una enorme y variada demanda, tal y como se detallará en [la sección 2.1](#) .

Centrando el foco en el entrenamiento o la profesionalización de una persona como jugador profesional de cierto juego, resulta evidente que progresará más adecuadamente si tiene un oponente enfrente en el momento en que lo desee. Además, en algunas ocasiones puede resultar muy complicado enfrentarse con uno de dichos sistemas software. El ejemplo quizás más ilustrativo o conocido puede ser *DeepBlue* de IBM, que consiguió vencer una partida al Gran Maestro de ajedrez Gary Kaspárov en 1996<sup>1</sup>. Fue el primer software en conseguir ganar a un campeón del mundo vigente. En el [capítulo 3](#) se profundizará en la historia de la I.A. y su aplicación a los juegos de mesa.

---

<sup>1</sup> DeepBlue no fue, según Kaspárov, totalmente autónomo en sus decisiones. Un momento decisivo de la partida fue manipulado al ordenar un movimiento determinado al sistema software, y los responsables se negaron posteriormente a publicar los registros de la partida. No obstante, el poder hacer frente a un gran maestro del ajedrez supone una gran revolución en el campo de la I.A.

Por último, con este trabajo se busca crear un sistema software que sirva de apoyo para un jugador humano en el popular juego de estrategia por turnos *Colonos de Catán*<sup>2</sup>, cual es ampliamente conocido por el autor del trabajo desde hace muchos años. Esto sirve sin duda alguna como motivación extra.

### ***[WORK MOTIVATION]***

*In recent decades the development of A.I. has been extraordinary. Its applications are numerous: medicine, finance, robotics or entertainment are perhaps the most notable, although the truth is that A.I. is increasingly present in people's daily lives. Other tools such as Big Data favour an enormous growth in the volume of data with which we work, which implies a need to deepen and improve A.I. techniques. However, the two branches that have most favoured and promoted A.I. are logic and computing. Section 3 looks at these concepts in more detail.*

*In addition, it is also increasingly common for a single person to spend time with board games or video games that used to be for more people. This ability to replace human players makes A.I. systems very attractive. Whether for training or fun, the truth is that it is annoying to want to train or play and not be able to. This is due to and contributes to the accelerated expansion of such systems applied to such games, since it only partially satisfies a huge and varied demand, as will be detailed in section 2.1.*

*By focusing on the training or professionalization of a person as a professional player of a certain game, it becomes evident that he or she will progress more adequately if he or she has an opponent in front of him or her at the time he or she wishes to do so. In addition, it can sometimes be very difficult to deal with one of these software systems. Perhaps the most illustrative or well-known example is IBM's DeepBlue, which managed to beat chess Grandmaster Gary Kasparov in 1996. It was the first software system to beat a current world champion. Chapter 3 will look more deeply into the history of the AI and its application to board games.*

*Finally, this work seeks to create a software system to support a human player in the popular turn-based strategy game *Settlers of Catan*, which is widely known by the author of the work for many years. This undoubtedly serves as an extra motivation.*

---

<sup>2</sup> Las reglas completas del juego pueden encontrarse en: [https://catan.cl/files/Catan\\_reglamento\\_Devir-ES.pdf](https://catan.cl/files/Catan_reglamento_Devir-ES.pdf)

## 1.2 OBJETIVOS PRINCIPALES

El principal objetivo por conseguir es desarrollar un sistema experto basado en reglas que actúe como un consejero que guía a un jugador en los intercambios de materias del juego *JSettlers*<sup>3</sup>. Dicho objetivo ha sido dividido en objetivos parciales:

- Análisis del marco regulador, encontrando así leyes o restricciones que afecten a algún ámbito de aplicación del proyecto.
- Análisis del contexto socioeconómico actual, que ha de servir como estudio sobre la necesidad de un consejero en juegos de mesa y también para la estimación del presupuesto del proyecto.
- Análisis del estado del arte, que permita conocer distintas opciones que se han empleado y se siguen utilizando para enseñar a las personas a tomar decisiones más acertadas en videojuegos.
- Explicación y razonamiento de la solución propuesta, mediante la exposición del diseño y descripción del sistema, y los detalles de su implementación.
- Evaluación del sistema desarrollado.
- Conclusiones, mejoras y futuras continuaciones.

También se añade en el [Anexo 1](#) un diagrama de Gantt, útil especialmente para evaluar la evolución que ha seguido el proyecto durante el tiempo que ha sido llevado a cabo.

### ***[MAIN GOALS]***

*The main objective to be achieved is to develop an expert system based on rules that acts as an advisor guiding a player in the exchange of subjects in the JSettlers game. This objective has been divided into partial objectives:*

*-Analysis of the regulatory framework, thus finding laws or restrictions that affect some scope of the project.*

*-Analysis of the current socio-economic context, which should serve as a study on the need for a board game advisor and also for the estimation of the project budget.*

---

<sup>3</sup> JSettlers es un proyecto subido a la plataforma GitHub. Es una versión digital del juego Colonos de Catán y puede ser encontrado en: <https://github.com/jdmonin/JSettlers2>

*-Analysis of the state of the art, allowing us to learn about different options that have been and continue to be used to teach people how to make better decisions in video games.*

*-Explanation and reasoning of the proposed solution, by exposing the design and description of the system, and the details of its implementation.*

*-Evaluation of the developed system.*

*-Conclusions, improvements and future developments.*

*A Gantt chart is also added in Annex 1, useful especially for evaluating the evolution that the project has followed during the time it has been carried out.*

### **1.3 MARCO REGULADOR**

En lo respectivo al principal objetivo del trabajo, desarrollar un sistema experto, no se han encontrado regulaciones en España ni en la Unión Europea al respecto.

Sin embargo, sí que se está planteando, principalmente por parte de la U.E., una regulación general de la I.A. para poder controlar o limitar el acceso a los datos, el reconocimiento facial y todas aquellas técnicas que se engloban en dicho campo. La idea más probable en estos momentos es la creación de una entidad que se encargaría de lo relacionado con la I.A. en la U.E.

En España existe la Estrategia Nacional de I.A., que está coordinada por el Ministerio de Ciencia e Innovación y cuya principal misión es expandir y fomentar el uso de la I.A. en todo el territorio nacional, tanto del sector público como del privado (Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España, 2020). El 22 de octubre de 2019 se publicó en la página del Gobierno el mapa de capacidades de tecnologías de I.A. de España, en el que se muestra la situación actual de la I.A. en España, y en el que puede encontrarse de forma visual la información más relevante del sector en el ámbito nacional.

En lo que respecta al software y herramientas empleadas, ha resultado ser todo gratuito. El entorno de desarrollo de Java utilizado ha sido Eclipse, que cuenta con una licencia de código abierto denominada Licencia Pública Eclipse (EPL)<sup>4</sup>. También la versión digital del juego (JSettlers) es gratuita, ya que fue publicada bajo la licencia GLP 3.0<sup>5</sup>. Por otro lado, Jess no

---

<sup>4</sup> <https://www.eclipse.org/legal/epl-2.0/>

<sup>5</sup> <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>

es un proyecto de código abierto, sino que sus desarrolladores (Sandia National Laboratories) mantienen los derechos de propiedad. Sin embargo, el uso educacional o gubernamental es gratuito, por lo su utilización en este proyecto no ha incurrido en ningún coste adicional<sup>6</sup>.

### ***[REGULATORY FRAMEWORK]***

*Regarding the main objective of the work, to develop an expert system, no regulations have been found in Spain or in the European Union in this respect.*

*However, a general regulation of AI is being considered, mainly by the EU, in order to control or limit access to data, facial recognition and all the techniques included in this field. The most likely idea at the moment is the creation of an entity which would be in charge of A.I. matters in the E.U.*

*In Spain there is a National A.I. Strategy, which is coordinated by the Ministry of Science and Innovation and whose main mission is to expand and promote the use of A.I. throughout the country, in both the public and private sectors (Ministry of Science and Innovation of the Spanish Government, 2020). On 22 October 2019, the map of A.I. technology capacities in Spain was published on the Government's website, showing the current situation of A.I. in Spain, and where the most relevant information on the sector at national level can be found visually.*

*All software and tools used have turned out to be free. The Java development environment used was Eclipse, which has an open source licence called the Eclipse Public Licence (EPL). Also the digital version of the game (JSettlers) is free, since it was published under the GLP 3.0 license. On the other hand, Jess is not an open source project, but its developers (Sandia National Laboratories) maintain the property rights. However, educational or government use is free, so no additional costs have been incurred by its use in this project.*

## **1.4 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO**

Para comprender mejor las circunstancias sociales y económicas actuales de la I.A. aplicada a los videojuegos, y también para para la presentación de un presupuesto y el seguimiento de la matriz de evaluación, se aborda en primer lugar el entorno socioeconómico en el [capítulo 2](#).

En el [capítulo 3](#) se abordan, siguiendo de nuevo con los criterios de la matriz de evaluación, el estado del arte y los conceptos teóricos sobre la materia de estudio que servirán al lector para entender mejor el resto del documento. También se enumeran cronológicamente algunos

---

<sup>6</sup> <https://jess.sandia.gov/jess/download.shtml>

de los acontecimientos históricos más relevantes, proporcionando de esta forma una visión más amplia de la situación en que se encuentra la I.A.

El [capítulo 4](#) profundizan en el diseño y el desarrollo que han sido realizados para llevar a cabo el trabajo. Comienza con una descripción del problema y de los recursos necesarios para el proyecto. Continúa con la especificación del sistema y finaliza con una explicación sobre su funcionamiento. En el [capítulo 5](#) se muestran las pruebas y la evaluación de los resultados, a lo que se añade una descripción de cómo han sido obtenidos y evaluados.

Para cerrar el documento, en el [capítulo 6](#) se plasman posibles mejoras para el sistema y las conclusiones, tanto de carácter personal como técnico, que surgen tras la realización de este proyecto.

Debido a ser un requisito de obligatorio cumplimiento para el tipo de TFG al que pertenece este proyecto, se añaden de forma adicional traducciones al inglés de aquellas secciones consideradas más importantes hasta cumplir con 10 páginas, tal y como indica el requisito. Todas las traducciones se encuentran inmediatamente después de su respectiva sección en castellano.

### ***[DOCUMENT ORGANISATION]***

*In order to better understand the current social and economic circumstances of A.I. applied to video games, and also for the presentation of a budget and the monitoring of the evaluation matrix, the socio-economic environment is first addressed in chapter 2.*

*In chapter 3, following again the criteria of the evaluation matrix, the state of the art and the theoretical concepts on the subject of study that will help the reader to better understand the rest of the document are addressed. Some of the most relevant historical events are also listed chronologically, thus providing a broader view of the situation in which the A.I. finds itself.*

*Chapter 4 looks in depth at the design and development that has been undertaken to carry out the work. It starts with a description of the problem and the resources needed for the project. It continues with the specification of the system and ends with an explanation of how it works. Chapter 5 shows the testing and evaluation of the results, with a description of how they were obtained and evaluated.*

*To close the document, chapter 6 sets out possible improvements to the system and the conclusions, both of a personal and technical nature, that arise after the completion of this project.*

*As this is a mandatory requirement for the type of TFG to which this project belongs, English translations of those sections considered most important are added up to 10 pages, as indicated in the requirement. All the translations are found immediately after their respective section in Spanish.*

## 2. ENTORNO SOCIOECONÓMICO

En esta sección se aborda el contexto socioeconómico en el que se encuentra el sector de la I.A. aplicada a los videojuegos, logrando así una visión más general de en qué punto de su desarrollo se encuentra dicho campo. A continuación, y considerando lo anterior, se estima el presupuesto del proyecto, detallando todos los recursos disponibles.

### 2.1 SITUACIÓN ACTUAL

La industria de los videojuegos es una de las que más está creciendo en los últimos años. En 2019 facturó 152.100 millones de dólares a nivel mundial, lo que supuso un crecimiento de alrededor del 9,6% respecto al año anterior (Newzoo, 2020). China y Estados Unidos fueron los países que más ingresaron; mientras que España obtuvo la novena mayor facturación, con un total de 1760 millones de dólares. En cuanto a las plataformas más empleadas, en 2019 la que obtuvo mayor cuota de mercado fue el smartphone, seguido de las videoconsolas. Sin embargo, los teléfonos inteligentes son la tercera plataforma en lo que a facturación se refiere, detrás de los ordenadores y las consolas de sobremesa (A.E.V.I., 2020).

A su vez, en esta industria está muy presente la I.A., ya que puede dotar a los videojuegos de funcionalidades que tiene una gran demanda, como por ejemplo el hecho de poder jugar contra enemigos no humanos o detectar jugadores tramposos. Es tal la evolución que ha sufrido esta técnica, que hoy en día existen multitud de juegos en los que es difícil distinguir si el oponente es un humano o no. El tipo de I.A. más destacable en su aplicación a los videojuegos es la I.A. de combate, cuyo objetivo es que los jugadores no humanos puedan llevar a cabo tácticas y estrategias (como desplazamientos planeados, apuntar, disparar, etc.) en un videojuego concreto. Sin duda alguna la relevancia de dicho tipo de I.A. va ligado a la enorme y creciente demanda del tipo de videojuegos conocido como *Shooter*. Dicho género pertenece a los juegos de acción, también es conocido como juegos de disparos y fue el que mayores ingresos obtuvo en el 2019.

El factor social también es remarcable en este ámbito, pues cada vez más se organizan circuitos, torneos o meras reuniones alrededor de algún videojuego. En 2019 el videojuego más visualizado mundialmente volvió a ser *League of Legends*<sup>7</sup>, con un total de 350 millones de horas. Existen en el planeta más de 2500 millones de jugadores de videojuegos, por lo que el dinero que cada año gastan en juegos, en compras integradas en juegos o en cualquier otra compra relacionada con ellos es una auténtica fortuna (Newzoo, 2020). Además, cada año la facturación es mayor que la del año anterior, por lo que el futuro de esta industria y el de aquellas que están fuertemente ligadas es, a priori, muy prometedor.

---

<sup>7</sup> League of Legends (LoL) es uno de los videojuegos más conocidos mundialmente, fue lanzado oficialmente el 27 de octubre de 2019 y desarrollado por Riot Games.

## **[CURRENT SITUATION]**

*The video game industry is one of the fastest growing in recent years. In 2019, it had a turnover of 152.1 billion dollars worldwide, which meant a growth of around 9.6% with respect to the previous year (Newzoo, 2020). China and the United States were the countries with the highest turnover; while Spain had the ninth highest turnover, with a total of 1.76 billion dollars. In terms of the most widely used platforms, in 2019 the smartphone obtained the largest market share, followed by video consoles. However, smartphones are the third platform in terms of turnover, behind computers and desktop consoles (A.E.V.I., 2020).*

*At the same time, A.I. is very present in this industry, as it can provide video games with functionalities that are in great demand, such as being able to play against non-human enemies or detect cheating players. Such is the evolution of this technique that today there are many games in which it is difficult to distinguish whether the opponent is human or not. The most notable type of A.I. in its application to video games is combat A.I., whose objective is to allow non-human players to carry out tactics and strategies (such as planned movements, aiming, shooting, etc.) in a specific video game. The relevance of this type of A.I. is undoubtedly linked to the enormous and growing demand for the type of video game known as Shooter. This genre belongs to action games, is also known as shooting games and was the one that obtained the highest income in 2019.*

*The social factor is also remarkable in this area, since more and more circuits, tournaments or mere meetings are organized around some video game. In 2019 the most visualized videogame in the world was again the League of Legends , with a total of 350 million hours. There are more than 2500 million video game players on the planet, so the money they spend every year on games, on purchases integrated into games or any other purchase related to them is a real fortune (Newzoo, 2020). In addition, each year the turnover is higher than the previous year, so the future of this industry and those that are strongly linked is, a priori, very promising.*

## **2.2 PRESUPUESTO**

Para la elaboración del presupuesto se ha establecido la duración del proyecto en 4 meses, tal y como se indica en el [Anexo 1](#). Los costes han sido divididos en directos e indirectos. Los costes directos incluyen el salario del desarrollador de software y del jefe del proyecto, el ordenador y las herramientas y licencias de software empleadas. Todas las herramientas que han sido empleadas son gratuitas, al igual que ocurre con las licencias. Para el cálculo del coste de amortización del ordenador se ha tenido en cuenta que su coste total es de 899 € con una esperanza de vida de 6 años. Por otro lado, los costes indirectos están representados

por los viajes, las dietas y el material fungible. En la siguiente tabla se recoge la información detallada acerca del presupuesto del proyecto. Al final de esta se ha añadido el Impuesto de Valor Añadido (I.V.A.), que tiene un valor en España del 21%.

Concepto	Coste mensual (€)	Duración (meses)	Total (€)
Salario	4573,38 €	4 meses	18293,52 €
Ordenador	12,49 €	4 meses	49,95 €
Herramientas Software	0 €	4 meses	0 €
Licencias	0 €	4 meses	0 €
<b>Costes directos</b>			18343,47
Viajes	135 €	4 meses	540 €
Dietas	120 €	4 meses	480 €
Material fungible	10 €	4 meses	40 €
<b>Costes indirectos</b>			1060 €
<b>Total sin I.V.A.</b>			<b>19403,47 €</b>
I.V.A (21%)			4074,73 €
<b>Total</b>			<b>23478,20 €</b>

*Tabla 1. Presupuesto del proyecto.*

## **[BUDGET]**

*For the preparation of the budget, the duration of the project has been set at 4 months, as indicated in Annex 1. The costs have been divided into direct and indirect costs. The direct costs include the salary of the software developer and the project manager, the computer and the software tools and licences used. All the tools that have been used are free of charge, as is the case with the licences. For the calculation of the amortization cost of the computer, it has been taken into account that its total cost is 899 € with a life expectancy of 6 years. On the other hand, indirect costs are represented by travel, daily allowances and consumables. Detailed information about the project budget is given in the table below. At the end of this one has added the Value Added Tax (V.A.T.), which has a value in Spain of 21%.*

## **2.3 IMPACTO SOCIOECONÓMICO**

Debido a que la publicación del presente proyecto tiene finalidades únicamente didácticas, en el corto plazo no se espera ningún tipo de retribución que pueda suponer un impacto económico. Por el contrario, el trabajo sí puede tener un impacto de tipo social; puesto que aquellas personas a las que les gustaría aprender estrategias de negociación en el juego

Colonos de Catán dispondrá de un medio para poder hacerlo. Por tanto, puede decirse que la finalidad última o filosófica del proyecto está alineada con aquella que tuvieron los creadores de JSettlers: desarrollar y publicar un juego o una extensión de un juego que permita aprender a jugar, mejorar el juego o simplemente jugar a todas aquellas personas que lo deseen.

### ***[SOCIO-ECONOMIC IMPACT]***

*Since the publication of this project has only didactic purposes, no remuneration is expected in the short term that could have an economic impact. On the contrary, the work can have a social impact, since those who would like to learn negotiation strategies in the game Colonos de Catán will have a means to do so. Therefore, it can be said that the philosophical purpose of the project is aligned with that of the creators of JSettlers: to develop and publish a game or an extension of a game that will allow all those who wish to learn to play, to improve the game or simply to play.*

### 3. ESTADO DEL ARTE

En este apartado se exponen en primer lugar los hechos más relevantes de la historia de la I.A. Después se describen las áreas, tanto clásicas como de vanguardia, que conforman la I.A. Finalmente se presentará la situación actual de los sistemas expertos, ya que el objetivo de este trabajo es desarrollar uno de ellos.

Durante toda la Historia, los seres humanos han tratado de explicar cómo funciona el cerebro de una persona. Se puede decir que la I.A. nace alrededor del año trescientos antes de Cristo con Aristóteles y su intento por describir mediante silogismos el funcionamiento de la mente humana. Mucho más tarde, ya en el siglo XIX, George Boole dio a conocer su lógica booleana; que significó un gran avance respecto a los silogismos. También en este siglo ocurrieron sucesos tan destacables como la aparición del juego, las torres de Hanoi o la Lógica de Primer Orden. Ya en el siglo XX, Alan Turing introdujo el concepto de Máquina de Turing; algo tan revolucionario que puede ser considerado como el antecedente de los ordenadores y como el inicio de la informática teórica. Durante el final del siglo XX y lo que ha transcurrido del XXI, una lluvia de investigaciones, descubrimientos y publicaciones ha permitido un avance desmesurado de las técnicas de I.A. Son destacables: la aparición de lenguajes de programación de alto nivel o de programas capaces de enfrentarse a los mejores seres humanos en partidas de ciertos juegos, la invención del transistor de unión y el reconocimiento de voz del primer iPhone; entre muchos otros.

Existen distintas metodologías englobadas dentro de la I.A. que han ido surgiendo con el tiempo como respuesta para solucionar problemas. En función de cuándo aparecieron, se habla de áreas clásicas y áreas de vanguardia:

Áreas Clásicas	Áreas de Vanguardia
Sistemas Expertos	Redes de Neuronas Artificiales
Aprendizaje Automático	Lógica Difusa
Robótica	Algoritmos Genéticos
Visión por computador	Realidad Virtual
Procesamiento de Lenguaje Natural	Sistemas Híbridos
Reconocimiento del habla	Agentes

*Tabla 2. Clasificación de las técnicas de I.A.*

En lo que respecta a la aplicación de la I.A. en los videojuegos, todas las técnicas mencionadas anteriormente se han empleado o se emplean actualmente. Dado que el propósito de este trabajo es desarrollar un sistema experto, a continuación se explicarán sus componentes y su funcionamiento.

Un sistema experto es un programa que intenta simular el razonamiento de un experto humano en una determinada materia. Es decir, trata de tomar decisiones en base a la información que tiene en cada momento. Están formados por una base de conocimientos o de hechos, un conjunto de reglas y un motor de inferencia:

- Base de hechos: Define la estructura de la información en un dominio determinado. También contiene la propia información.
- Conjunto de reglas: Son generalmente reglas de antecedentes y consecuentes, si se cumplen unas premisas se activa y ejecuta la regla. Tanto las causas como las consecuencias de las reglas se pueden referir a información de la base de hechos.
- Motor de inferencia: Imita la estrategia de resolución de problemas de un experto. Según la estrategia, el orden de ejecución de las reglas es modificado.

La estrategia de resolución de conflictos es un mecanismo esencial cuyo objetivo es ordenar las reglas que se ejecutan según cierto criterio. Lo más común es utilizar la estrategia *depth*, en la que se ejecuta la última regla activada, o la estrategia *breadth*, en la que se ejecutan las reglas en el mismo orden en que se activan.

Hoy en día hay una gran variedad de software que permite el desarrollo de este tipo de sistemas, destacando por ser gratuitos C.L.I.P.S. o Babylon. Este tipo de sistemas inteligentes tienen multitud de utilidades, por ello su campo de aplicación es muy diverso: militar, telecomunicación, aeronáutica, educación, medicina, química, transporte, etc.

### ***[STATE OF THE ART]***

*In this section, the most relevant facts in the history of the A.I. are presented first. Then the areas, both classical and avant-garde, that make up the A.I. are described.*

*Throughout history, human beings have tried to explain how a person's brain works. It can be said that the A.I. was born around three hundred B.C. with Aristotle and his attempt to describe through syllogisms the workings of the human mind. Much later, as early as the 19th century, George Boole made known his Boolean logic; which was a great advance on syllogisms. Also in this century there were such remarkable events as the appearance of the game, the towers of Hanoi or First Order Logic. Already in the 20th century, Alan Turing introduced the concept of Turing's Machine; something so revolutionary that it can be considered the antecedent of computers and the beginning of theoretical computing. During the end of the 20th century and what has happened in the 21st century, a shower of research, discoveries and publications has allowed for an inordinate advance in A.I. techniques. The*

*appearance of high-level programming languages or programs capable of facing up to the best human beings in certain games, the invention of the junction transistor and the voice recognition of the first iPhone, among many others, are worthy of note.*

*There are different methodologies within the A.I. that have emerged over time as a response to solve problems. Depending on when they appeared, we talk about classic areas and avant-garde areas:*

*As far as the application of AI in video games is concerned, all the techniques mentioned above have been or are currently used. Since the purpose of this work is to develop an expert system, its components and operation will be explained below.*

*An expert system is a program that attempts to simulate the reasoning of a human expert in a given subject. In other words, it tries to make decisions based on the information it has at any given time. They are made up of a knowledge or fact base, a set of rules and an inference engine:*

- *Fact base: Defines the structure of information in a given domain. It also contains the information itself.*
- *Set of rules: These are generally background and consequential rules. If certain premises are met, the rule is activated and executed. Both the causes and the consequences of the rules can refer to information from the factual basis.*
- *Inference Engine: Mimics the problem-solving strategy of an expert. According to the strategy, the order of execution of the rules is modified.*

*The conflict resolution strategy is an essential mechanism whose objective is to order the rules that are executed according to certain criteria. The most common is to use the depth strategy, in which the last activated rule is executed, or the breadth strategy, in which the rules are executed in the same order as they are activated.*

*Nowadays there is a great variety of software that allows the development of this type of systems, standing out for being free C.L.I.P.S. or Babylon. This type of intelligent systems has a multitude of utilities, so its field of application is very diverse: military, telecommunications, aeronautics, education, medicine, chemistry, transport, etc.*

## 4. SOLUCIÓN PROPUESTA

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El propósito de este proyecto es desarrollar un sistema software capaz de mejorar la toma de decisiones de negociación que hacen las personas al jugar a Colonos de Catán, un juego de estrategia por turnos en el que se enfrentan entre dos y seis jugadores.

En cada turno el jugador lanza los dados y, en función de la tirada, recibe materias primas. Después puede construir, comprar cartas especial o negociar con el resto de los jugadores antes de terminar su turno. El objetivo de todos los jugadores es alcanzar diez puntos, siendo el ganador el primero en conseguirlo. Para ganar puntos se deben construir poblados o mejorar estos a ciudades; aunque también se pueden obtener puntos mediante la compra de ciertas cartas o desbloqueando algún bonus. Para comprar se necesitan materias primas, que tienen en cada turno cierta probabilidad de ser obtenidas, en función de la posición en el tablero de los poblados y ciudades del jugador. Los jugadores también tienen la posibilidad de intercambiar materias primas entre ellos, previo acuerdo.

El principal inconveniente que un jugador no profesional tiene para progresar es el desconocimiento sobre la economía interna del juego. Por esta razón, el sistema debe aspirar a que el jugador aprenda ciertos conceptos y comprenda cómo actuar en cada situación particular. Jeremy Monin ha desarrollado y publicado una aplicación que simula a la perfección el juego Colonos de Catán. No solo permite que personas que no estén físicamente juntas puedan jugar, sino que también cuenta con la opción de añadir oponentes controlados por el ordenador. Es decir, es un proyecto de I.A. que cuenta con bots ya integrados en su código.



Ilustración 1. Captura de la interfaz gráfica durante una partida. Fuente: Elaboración propia.

Para crear partidas propias o unirse a ajenas el jugador humano tiene una interfaz gráfica en la que, si está jugando una partida, también ve el tablero de juego, sus cartas y los botones con las distintas opciones de decisión que tiene. Por tanto, el sistema a implementar debe enviar a través de esta interfaz gráfica sus consejos argumentados al jugador.

#### 4.1 REQUISITOS DEL SISTEMA

Los requisitos del sistema que han sido identificados se dividen en dos grupos:

- Funcionales: establecen el funcionamiento del sistema para enviar consejos a un jugador humano.
- No funcionales: se centran en especificar criterios sobre el diseño y la implementación.

Para representar un requisito se cuenta con los siguientes campos:

- **Identificador:** Es una cadena de caracteres útil para identificar a cada requisito, por lo que será único para cada requisito. Siguen el siguiente esquema R<A>##, donde:
  - <A> puede ser F (funcional) o NF (no funcional).
  - # es el número del requisito dentro de su grupo.
- **Nombre.**
- **Necesidad:** Permite indicar si el requisito es esencial, deseable u opcional.
- **Descripción:** Explica el propósito o características del requisito.
- **Verificabilidad:** Útil para tener una medida del grado de dificultad para comprobar el requisito

##### 4.1.1 Requisitos funcionales

<b>Identificador:</b> RF01	<b>Nombre:</b> Detectar jugador humano
<b>Necesidad:</b> Esencial	<b>Verificabilidad:</b> Alta
<b>Descripción:</b> El sistema debe detectar al jugador humano al que aconsejará.	

*Tabla 3. Requisito funcional 01*

<b>Identificador:</b> RF02	<b>Nombre:</b> Crear base de hechos
<b>Necesidad:</b> Esencial	<b>Verificabilidad:</b> Alta
<b>Descripción:</b> El sistema debe crear una base de conocimientos relativos al jugador al que aconseja.	

*Tabla 4. Requisito funcional 02*

<b>Identificador:</b> RF03	<b>Nombre:</b> Actualizar base de hechos
<b>Necesidad:</b> Esencial	<b>Verificabilidad:</b> Alta
<b>Descripción:</b> El sistema debe actualizar la información de la partida a medida que esta transcurre.	

*Tabla 5. Requisito funcional 03*

<b>Identificador:</b> RF04	<b>Nombre:</b> Elegir consejo
<b>Necesidad:</b> Esencial	<b>Verificabilidad:</b> Alta
<b>Descripción:</b> El sistema debe elegir la decisión que aconsejará tomar al jugador en función de la información en la base de hechos.	

*Tabla 6. Requisito funcional 04*

<b>Identificador:</b> RF05	<b>Nombre:</b> Detectar intercambio
<b>Necesidad:</b> Esencial	<b>Verificabilidad:</b> Alta
<b>Descripción:</b> El sistema debe detectar cuándo el jugador humano al que aconseja debe tomar una decisión en un intercambio.	

*Tabla 7. Requisito funcional 05*

<b>Identificador:</b> RF06	<b>Nombre:</b> Enviar consejo
<b>Necesidad:</b> Esencial	<b>Verificabilidad:</b> Alta
<b>Descripción:</b> El sistema debe enviar el consejo al jugador una vez detectado el intercambio en el RF05.	

*Tabla 8. Requisito funcional 06*

<b>Identificador:</b> RF07	<b>Nombre:</b> Detectar fin partida
<b>Necesidad:</b> Deseable	<b>Verificabilidad:</b> Alta
<b>Descripción:</b> El sistema debe despedirse del jugador cuando termine la partida.	

*Tabla 9. Requisito funcional 07*

#### 4.1.2 Requisitos no funcionales

<b>Identificador:</b> RNF01	<b>Nombre:</b> Autonomía
<b>Necesidad:</b> Esencial	<b>Verificabilidad:</b> Alta
<b>Descripción:</b> El sistema debe ejecutarse de forma autónoma, sin interacción externa.	

*Tabla 10. Requisito no funcional 01*

<b>Identificador:</b> RNF02	<b>Nombre:</b> Formato consejo
-----------------------------	--------------------------------

<b>Necesidad:</b> Deseable	<b>Verificabilidad:</b> Alta
<b>Descripción:</b> El consejo debe ser una decisión ante un intercambio (aceptar, negociar o rechazar) seguida de una argumentación.	

*Tabla 11. Requisito no funcional 02*

<b>Identificador:</b> RNF03	<b>Nombre:</b> Tamaño consejo
<b>Necesidad:</b> Deseable	<b>Verificabilidad:</b> Baja
<b>Descripción:</b> El consejo no puede tener un tamaño mayor a 200 palabras.	

*Tabla 12. Requisito no funcional 03*

<b>Identificador:</b> RNF04	<b>Nombre:</b> Lugar consejo
<b>Necesidad:</b> Deseable	<b>Verificabilidad:</b> Alta
<b>Descripción:</b> El sistema debe mostrar los consejos en el chat habilitado específicamente para ello.	

*Tabla 13. Requisito no funcional 04*

## 4.2 LIBRERÍA JESS

En lo relativo al lenguaje utilizado para implementar el sistema experto, se ha optado por C.L.I.P.S., ya que ha sido estudiado previamente en la universidad por el autor del trabajo. Además, JSttlers está escrito en Java. Para integrar el código C.L.I.P.S. en un proyecto de Java se ha empleado la librería Jess. Dicha librería ha sido desarrollada por Ernest Friedman Hill en Livermore (California). Consiste en un algoritmo llamado Rete que simula un motor de inferencia. También incluye los métodos necesarios para manipular la base de hechos o el conjunto de reglas, lo que otorga al código Java prácticamente de todas las funcionalidades del código C.L.I.P.S. Igualmente permite la carga de un archivo con formato .clp que incluya el conjunto de reglas, la definición de la estructura de la información y/o la información inicial.

En el presente trabajo se ha optado por la última opción; de forma que se tiene un archivo con formato .clp. Mediante el código Java se carga dicho archivo y se crea un motor de inferencia. A medida que avanza el juego la información de la base de hechos se va modificando. En el momento en que corresponda, se ejecutará el motor, lo que causará la activación de alguna regla. Este proceso se detalla en la [sección 4.3.4](#).

Otra opción factible hubiera sido elegir Drools<sup>8</sup> en lugar de Jess. Se trata de otra solución al problema de la integración del sistema experto en Java. Sin embargo, no fue escogido finalmente debido a que no es gratuito (Licencia Apache 2.0) y a es más específico para sistemas del ámbito financiero o de los negocios.

---

<sup>8</sup> <https://www.drools.org/>

### 4.3 DISEÑO DEL SISTEMA

Dado que el código desarrollado para realizar el presente trabajo ha sido añadido a otro ya existente, se presentarán en primer lugar y de forma breve los componentes del código previo. Como se ha comentado anteriormente, el lenguaje que los autores decidieron utilizar es Java, por lo que primero se analizará el modelo de clases publicado, centrando el foco únicamente en aquellas clases que afectan al propósito de este documento. Después se enumerarán aquellas clases que haya sido necesario modificar o añadir, argumentando las razones que han llevado a ello y las modificaciones realizadas. En último lugar se expondrán la plantilla de hechos y las reglas en lenguaje C.L.I.P.S. implementadas.

#### 4.3.1 Modelo de clases existentes



Ilustración 2. Diagrama de clases existentes. Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.2 Descripción de clases existentes

Como se ha comentado previamente, algunas de las clases, atributos y métodos no serán mencionados por quedar fuera del objeto de estudio de este documento. De esta forma, las clases que intervienen de alguna manera en este trabajo y que existían previamente a la realización del mismo son:

##### SOCGame

Almacena y manipula todos los datos de una partida y gestiona los turnos. Está relacionado con la clase de tablero (SOCBoard), de forma que cada partida tiene un tablero asociado. También se relaciona con la clase de jugador (SOCPPlayer), puesto que cada jugador juega una o más partidas.

### SOCBoard

Representa el tablero de juego. Contiene toda la información relativa a la posición de cada materia prima, del mar y del desierto, así como los números que otorgan probabilidad a cada hexágono de materias. Únicamente existe uno por partida.

### SOCPlayer

Almacena y manipula los datos de un jugador, pudiendo este ser o no humano. Respecto a los datos, contienen toda la información de un jugador respecto a una partida; esto es, su nombre, su número de jugador, si es humano o no, sus cartas actuales, sus figuras, sus puntos y todas sus posibles acciones. Tal y como se comentó en la sección anterior, en el proyecto viene incluida la opción de jugar contra jugadores controlados por el ordenador; por ello se incluye la implementación de dichos bots en esta clase. Como resulta obvio, también está incluida la lógica que permite distinguir cuándo un jugador debe tomar las decisiones de forma autónoma (bot o jugador controlado por el ordenador) y cuándo se debe esperar a que una persona transmita su decisión a través de la interfaz (jugador humano).

### SOCTradeOffer

Simula una oferta de comercio del juego. Contiene como información la partida a la que hace referencia, los jugadores involucrados, los recursos a intercambiar y si está esperando respuesta o no.

### SOCResourceSet

Representa una colección de recursos del juego. Mediante una estructura de datos interna se almacenan enteros, que representan según su posición la cantidad de cada materia prima.

<b>Posición</b>	<b>Materia prima</b>
0	Arcilla
1	Piedra
2	Lana
3	Cereal
4	Madera

*Tabla 14. Asignación de posiciones a materias primas.*

### SnippingTextArea

Permite la manipulación de áreas de la interfaz gráfica que sirven como chats de texto. Se emplea para el envío de consejos por parte del ayudante, permitiendo así que el jugador los reciba en la misma interfaz en la que juega la partida.

### SOCPlayerInterface

Representa la interfaz que tiene un jugador humano al jugar una partida. Contiene como atributo la información del chat a través del cual el consejero se comunica con el jugador.

### SOCHandPanel

Contiene y actualiza los datos de juego de cada jugador cuando corresponde. Resulta de gran utilidad para actualizar la base de conocimiento del consejero, como se detallará en la siguiente sección.

#### 4.3.3 Clases modificadas y añadidas

- SOCHelper: Este componente ha sido creado como representación del consejero que guía al jugador en los intercambios de materias primas. Está formado por:
  - Un atributo para almacenar el nombre del fichero que contiene las reglas en lenguaje C.L.I.P.S., la definición de las plantillas con sus respectivos slots y los hechos iniciales. Se inicializa al crear al ayudante.
  - Un atributo de tipo *Rete* que actúa como motor de inferencia, tal y como se explicó en la sección 4.2.
  - Un atributo de tipo *SnippingTextArea*, que representa el chat de la partida a través del cual el ayudante envía sus consejos al jugador.
  - Un atributo de tipo entero que simboliza el número de jugador del jugador al que aconseja.
  - Los métodos *getFile()*, *getEngine()*, *getChat* y *getPlayer()*, cuya función es retornar los valores de los atributos del consejero.

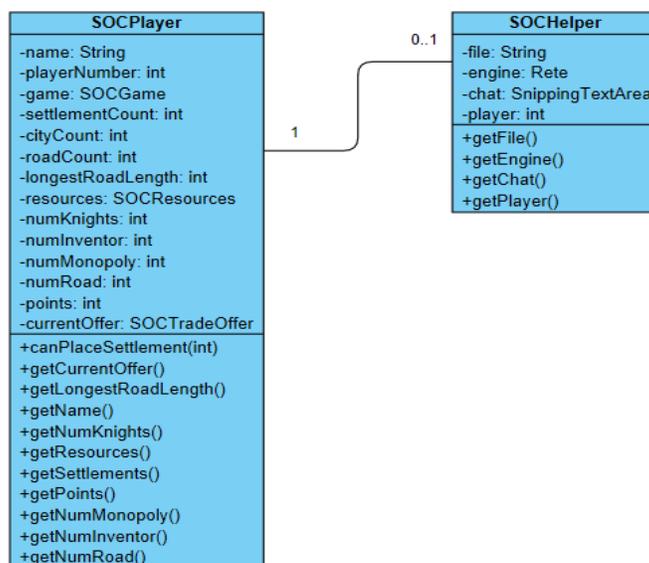


Ilustración 3. Añadido del diagrama de clases.

- SOCHandPanel: Ha sido modificado para que cada vez que se actualizan los valores del jugador que es aconsejado, también se modifique la base de hechos en concordancia. La información que contienen estos valores es: el número de cada tipo de materia prima que tiene el jugador, el número de poblados construidos, el de puntos, el de ciudades, el de caminos, el de la mayor ruta de caminos conexos, el de caballeros usados, las cartas de desarrollo no utilizadas, las cartas especiales, si el jugador dispone o no de un lugar donde poder colocar un nuevo poblado y si es el turno del jugador.

Estos datos proporcionan otra información también relevante que el ayudante deberá tener en cuenta. Por ejemplo, si el jugador ha construido menos de cuatro ciudades y tiene al menos un poblado, entonces puede mejorar un poblado a ciudad. Esta lógica ha sido implementada en las reglas, tal y como se detalla en la siguiente sección.

Ciertos valores del resto de jugadores son públicos, como los puntos o el número de cartas en mano, por lo que también se deben actualizar en la base de hechos dichos valores. Al igual que el resto de información, el consejero la actualizará en su base de conocimientos inmediatamente después de ser actualizada en las estructuras de datos internas del juego.

Dichas actualizaciones deben ocurrir inmediatamente después de que se actualicen las estructuras de datos internas del juego, ya que ciertas acciones suceden justo antes de que el jugador deba tomar una decisión y el consejero debe estar informado correctamente del estado actual de la partida para poder ser de utilidad. Esto quiere decir que la base de hechos y las estructuras de datos internas deben estar sincronizadas. Para ilustrar lo anterior se puede pensar en un jugador que recibe una oferta de intercambio de materias primas; es preciso haber actualizado las cartas que posee tras lanzar los dados este turno, o de lo contrario los consejos que le ofrezca su ayudante pueden carecer de fundamento al basarse en información desactualizada.

- SOCPlayer: Se ha añadido un atributo nuevo de tipo SOCHelper, el cual se usará para jugadores humanos. Esto permite la existencia de más de un consejero en la misma partida, exactamente uno por cada jugador humano.
- SOCGame: Se ha modificado de forma que si un jugador humano recibe una oferta o contraoferta de materias primas, se debe ejecutar el motor de inferencia de su consejero. Gracias a lo cual todos los jugadores humanos recibirán un consejo por pantalla inmediatamente antes de tener que tomar una decisión.

#### 4.3.4 Hechos, reglas y ejecución del motor

A continuación, se presenta el contenido del archivo .clp. Primero se detalla cómo se ha estructurado la base de hechos para permitir almacenar la información de la partida. Entonces, se explicará el conjunto de reglas y, finalmente, se dará a conocer el proceso mediante el cual el sistema va modificando la información de su base de hechos y, mediante la ejecución de reglas que se activan, envía consejos al jugador.

Dado que cada jugador humano debe disponer de un consejero para ayudarlo en los intercambios de materias primas, se ha optado por definir una plantilla en la base de hechos que represente a un jugador. En dicha plantilla están incluidos todos los campos o slots necesarios para almacenar la información de dicho jugador. De esta forma, cuando se crea el consejero, este tendrá como información inicial en su base de hechos un jugador con sus slots inicializados a los valores por defecto. Este jugador representa al jugador al que debe aconsejar, siendo distinto para cada consejero.

En la siguiente tabla se encuentra la definición de cada uno de los valores que forman parte de la plantilla jugador. Como se puede apreciar, únicamente se han empleado dos tipos de campos: Entero y simbólico (symbol). El valor simbólico es un tipo de slot del lenguaje C.L.I.P.S. en el que se puede especificar los valores permitidos para dicho slot. En este caso se usan “verdadero” y “falso” como únicos valores posibles para los slots simbólicos.

<b>Información</b>	<b>Nombre del slot</b>	<b>Tipo de slot</b>
Número de arcillas del jugador.	arcilla	Entero
Número de piedras del jugador.	piedra	Entero
Número de lanas del jugador.	lana	Entero
Número de cereales del jugador.	cereal	Entero
Número de maderas del jugador.	madera	Entero
Número de arcillas que recibiría el jugador de un intercambio activo.	dan_arcilla	Entero
Número de piedras que recibiría el jugador de un intercambio activo.	dan_piedra	Entero
Número de lanas que recibiría el jugador de un intercambio activo.	dan_lana	Entero
Número de cereales que recibiría el jugador de un intercambio activo.	dan_cereal	Entero
Número de maderas que recibiría el jugador de un intercambio activo.	dan_madera	Entero

Número de arcillas que daría el jugador en un intercambio activo.	piden_arcilla	Entero
Número de piedras que daría el jugador en un intercambio activo.	piden_piedra	Entero
Número de lanas que daría el jugador en un intercambio activo.	piden_lana	Entero
Número de cereales que daría el jugador en un intercambio activo.	piden_cereal	Entero
Número de maderas que daría el jugador en un intercambio activo.	piden_madera	Entero
Número de puntos totales del jugador.	puntos	Entero
Número de poblados construidos por el jugador.	poblados	Entero
Número de ciudades construidas por el jugador	ciudades	Entero
Número de caminos construidos por el jugador.	caminos	Entero
Número de caminos consecutivos máximo construidos por el jugador.	longitud	Entero
Número de caminos consecutivos máximo construidos por el jugador que más puntos tiene.	longitud_lider	Entero
Número de caballeros utilizados por el jugador.	caballeros	Entero
Número de caballeros utilizados por el jugador que más puntos tiene.	caballeros_lider	Entero
El jugador dispone o no de un lugar en el tablero para colocar un nuevo poblado.	posible_poblado	Simbólico
Es el turno del jugador	turno	Simbólico
Número de puntos del jugador con el que se está negociando.	puntos_negociador	Entero
Número de puntos del jugador que más puntos tiene.	puntos_lider	Entero
Número de caballeros sin utilizar del jugador.	caballeros_mano	Entero
Número de cartas de “Inventor” sin utilizar del jugador.	inventores_mano	Entero

Número de cartas de “Monopolio” sin utilizar del jugador.	monopolios_mano	Entero
Número de cartas de “Carreteras” sin utilizar del jugador.	carreteras_mano	Entero
Probabilidad de obtener al menos una arcilla al lanzar los dados.	prob_arcilla	Entero
Probabilidad de obtener al menos una piedra al lanzar los dados.	prob_piedra	Entero
Probabilidad de obtener al menos una lana al lanzar los dados.	prob_lana	Entero
Probabilidad de obtener al menos una cereal al lanzar los dados.	prob_cereal	Entero
Probabilidad de obtener al menos una madera al lanzar los dados.	prob_madera	Entero

Tabla 15. Base de conocimiento del consejero.

En cuanto a las reglas, se pueden dividir en tres grupos según el consejo que ofrecen al jugador. A continuación se describen los tres tipos, acompañados con sendas tablas que muestran la lógica que siguen:

- Reglas que aceptan la oferta: Son todas aquellas reglas que tienen como consecuente aconsejar al jugador la aceptación de un intercambio de materias, independientemente del motivo. Su activación implica que dicho intercambio otorga algún beneficio para el jugador.

Interés materias ofrecidas	Turno jugador	Hueco poblado	Hueco ciudad	Menos de ocho cartas	Interés comprar desarrollo	Interés carreteras	Consejo
✓	✓	✓					<b>Aceptar</b>
✓	✓		✓				
✓	x	✓		✓			
✓	x		✓	✓			
✓	✓				✓		
✓	✓					✓	
✓	x			✓		✓	

Tabla 16. Lógica de las reglas que aceptan una oferta.

- Reglas que rechazan la oferta: Es el conjunto de reglas cuyo consecuente es aconsejar al jugador el rechazo del intercambio. Si se activan significa que o bien las materias que le ofrecen no le interesan o no es un buen momento para intercambiar cartas.

Interés materias ofrecidas	Turno jugador	Hueco poblado	Hueco ciudad	Menos de ocho cartas	Interés comprar desarrollo	Interés carreteras	Consejo
✓	✗	✓		✗			<b>Rechazar</b>
✓	✗		✓	✗			
✗	✗						
✓	✓	✗	✗		✗	✗	

Tabla 17. Lógica de las reglas que rechazan una oferta.

- Reglas que negocian la oferta: Son aquellas reglas que implican aconsejar al jugador que negocie la oferta. El significado implícito en estas reglas es que hay un interés por parte del jugador de obtener las materias ofrecidas, pero o bien el coste o la cantidad de estas no es el apropiado.

Interés materias ofrecidas	Turno jugador	Hueco poblado	Hueco ciudad	Menos de ocho cartas	Interés comprar desarrollo	Interés carreteras	Consejo
✗	✗	✓		✓			<b>Negociar</b>
✗	✗		✓	✓			
	✗			✓	✓		
	✗			✓		✓	
✗	✓						

Tabla 18. Lógica de las reglas que negocian una oferta.

Cabe destacar que en las tres tablas anteriores el concepto “interés materias ofrecidas” engloba varios tipos de intereses. Se considera que el jugador tiene interés en obtener las materias que le ofrecen cuando gracias a las mismas puede comprar alguna pieza o carta que sin ellas no podría. También es importante remarcar que las celdas vacías indican que no afectan al consejo; es decir, que contienen tanto el caso de que se cumpla como el de que no.

La justificación del consejo esta implícita en los antecedentes de la regla que provoco el consejo. Uno de los consecuentes de cada regla es transmitir un consejo al jugador a través del chat. El otro consecuente de todas las reglas es enviar también la argumentación o los motivos de la decisión. Esto es de gran relevancia, pues se ha dicho que el sistema aspira a que el jugador aprenda, y no solo copie las decisiones que se le dictan.

Para finalizar la sección, cabe destacar que el motor de inferencia no está en continua ejecución. Al contrario, únicamente se ejecuta al recibir una oferta para intercambiar materias primas, o bien una contraoferta. Esto no implica que la información de la base de hechos no esté en continua actualización; de hecho, dicha información se actualiza a la vez que las estructuras de datos internas del juego. De esta forma, la base de hechos almacena información actualizada de la partida, y solo se ejecuta el motor de inferencia para activar reglas cuando hay un intercambio en proceso y es el jugador humano aconsejado el que debe tomar una decisión. Así que las activaciones de las reglas provocan la salida por pantalla de los consejos, y siempre se ofrece un único consejo al jugador cuando es el siguiente en decidir en un intercambio de materias.

## 5. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

Para la evaluación del sistema se ha optado por comparar los consejos del consejero desarrollado con decisiones de jugadores expertos en partidas reales. Esta no ha sido la única opción barajada, pero sí ha sido por la que finalmente se ha optado. Las partidas fueron disputadas en la final del torneo europeo de Barcelona de 2017<sup>9</sup> y en la final del torneo nacional canadiense de 2019<sup>10</sup>.

Dado que es necesaria en el sistema la capacidad de imitar una partida ya jugada han sido necesarias cuatro modificaciones en el código del juego: configuración inicial del tablero, poder elegir los números de los dados, poder escoger la carta de desarrollo que compra un jugador y poder elegir la carta que un jugador roba a otro. Cabe destacar que estas modificaciones se han realizado exclusivamente para la evaluación del sistema. Se trata de eliminar el azar presente en el juego para poder representar fielmente las partidas reales que se jugaron. No ha sido necesario realizar una modificación en la implementación que permita al usuario elegir el resultado en cada situación en la que normalmente intervendría el azar. En su lugar, puesto que se conocen a priori todos los resultados de azar que sucedieron, se ha optado por programar dichos acontecimientos. Por ejemplo, al usuario no se le pide que escoja el número de los dados en cada turno, sino que el sistema tiene la información de qué número debe salir en cada turno (aquel que salió en la partida que se está imitando).

En cuanto al procedimiento seguido para la captación de los consejos del ayudante en cada una de las partidas ha sido el siguiente:

- En primer lugar se han analizado las partidas, contabilizando el número de intercambios en los que interviene cada jugador. El criterio que se ha seguido para decidir si un intento de negociación es contado como intercambio o no consiste en distinguir aquellas ofertas en las que se definen claramente las materias que cada jugador debe dar y recibir. Esto es consecuencia directa de la implementación del juego JSettlers, ya que no se permite pedir una materia sin especificar lo que se ofrece, ni ofrecer sin especificar lo que se pide. Esto resulta de vital importancia, pues es la única diferencia encontrada entre el juego de mesa y su versión digital. Mientras que en el primero una negociación puede comenzar con un jugador únicamente solicitando u ofreciendo una determinada materia, en el segundo esto no está permitido. Como consecuencia de ello ha sido necesario este análisis, cuyos resultados son:

---

<sup>9</sup> La partida puede ser visualizada en: <https://www.youtube.com/watch?v=oTwVZmJ9uRo>

<sup>10</sup> La partida puede ser visualizada en: <https://www.youtube.com/watch?v=L7t2CypaTME>

<b>Jugador</b>	<b>Canadá 2019</b>				<b>Barcelona 2017</b>			
	Aceptar	Negociar	Rechazar	<b>Total</b>	Aceptar	Negociar	Rechazar	<b>Total</b>
Rojo	3	3	6	<b>12</b>	1	2	3	<b>6</b>
Naranja	0	2	8	<b>10</b>	0	1	4	<b>5</b>
Azul	1	2	8	<b>11</b>	1	1	2	<b>4</b>
Blanco	1	5	5	<b>11</b>	1	3	2	<b>6</b>

Tabla 19. Análisis de los intercambios realizados en las partidas a imitar.

- A continuación se han jugado ocho partidas, cada una de las cuales ha imitado las decisiones de una de las partidas que se han elegido como modelo. Aquello que no es decisión del jugador, sino que fue azar en el momento en que se jugaron las partidas, también ha sido imitado gracias a las dos modificaciones realizadas en el código tal y como se ha comentado previamente. Este paso no habría sido posible sin tres colaboradores que, junto con el autor del documento, han jugado cuatro veces cada una de las dos partidas, rotando el jugador al que imitan en cada una de ellas; lo cual ha permitido capturar los consejos que reciben todos los jugadores y compararlos con las decisiones que tomaron los jugadores en la partida real.

Nótese que la argumentación o causas aportadas junto a los consejos por el ayudante no son tenidos en cuenta en la evaluación. Resulta obvia que, siguiendo el criterio de evaluación escogido, resulta imposible poder contrastar los motivos de cada decisión; ya que ninguno de los jugadores profesionales argumenta sus decisiones durante las partidas.

<b>Ayudante</b>	<b>Canadá 2019</b>				<b>Barcelona 2017</b>			
	Aceptar	Negociar	Rechazar	<b>Total</b>	Aceptar	Negociar	Rechazar	<b>Total</b>
Rojo	3/3	1/3	4/6	<b>8/12</b>	0/1	1/2	2/3	<b>3/6</b>
Naranja	0/0	0/2	8/8	<b>8/10</b>	0/0	0/1	3/4	<b>3/5</b>
Azul	1/1	1/2	7/8	<b>9/11</b>	1/1	0/1	2/2	<b>3/4</b>
Blanco	0/1	2/5	4/5	<b>6/11</b>	1/1	1/3	2/2	<b>4/6</b>

Tabla 20. Resultados de las decisiones por partida y jugador.

- Finalmente, se han analizado los resultados obtenidos en cada partida:

<b>Ayudante</b>	<b>Aciertos (%)</b>		
	Canadá 2019	Barcelona 2017	<b>Total</b>
Rojo	66,66%	50,00%	<b>61,11%</b>
Naranja	80,00%	60,00%	<b>73,33%</b>
Azul	81,81%	75,00%	<b>80%</b>

Blanco	54,54%	66,66%	<b>58,82%</b>
<b>Total</b>	<b>70,45%</b>	<b>61,90%</b>	<b>67,69%</b>

*Tabla 21. Tasa de aciertos por jugador y partida y acumulados.*

El porcentaje de aciertos global; esto es; teniendo en cuenta todas las decisiones de todos los jugadores en ambas partidas, es de 67,69%; ya que los ayudantes han imitado las decisiones correctamente en 44 de 65 ocasiones posibles. Otro criterio para la evaluación, como distinguir únicamente si el ayudante aconseja o no aceptar una oferta (como si negociar y rechazar fueran la misma opción), hubiera conseguido probablemente una tasa global de aciertos mayor. Sin embargo, se ha decidido emplear el criterio de las tres opciones (aceptar, rechazar y negociar) por representar más fielmente la toma de decisiones del juego y porque permite analizar mejor las situaciones particulares en las que los consejos del ayudante difieren de las decisiones de los jugadores expertos. En la siguiente tabla se detalla la tasa de aciertos global para cada tipo de decisión; se puede apreciar que la contraoferta es el tipo de decisión que peor ha imitado el consejero.

	Aceptar	Negociar	Rechazar
Canadá 2019	80,00%	33,33%	85,18%
Barcelona 2017	66,66%	28,67%	81,81%
<b>Total</b>	<b>75,00%</b>	<b>31,58%</b>	<b>84,21%</b>

*Tabla 22. Tasa de aciertos por tipo de decisión*

Tanto en la Tabla 10 como en la Tabla 11, los totales consisten en una media ponderada, lo que significa que se tiene en cuenta para el cómputo de la media si un jugador, una partida o un tipo de decisión contiene más o menos decisiones que otro. Es el equivalente a otorgar el mismo peso o importancia a cada una de las decisiones.

En última instancia, debe ser remarcado el factor social o psicológico que acarrea jugar una partida con otras personas físicamente. Por poner un ejemplo, durante la partida analizada de Canadá 2019, dos jugadores (aquellos con las piezas blancas y azules concretamente), dejan de poder negociar entre ellos debido a una discrepancia que surge como consecuencia de estar físicamente en el mismo sitio. En este caso fue una duda sobre el quebrantamiento de una norma a la hora de pasar los dados al siguiente jugador lo que provocó que uno de los jugadores retirara la palabra al otro, haciendo imposible cualquier tipo de negociación. Puede ocurrir también todo lo contrario, que dos jugadores que no se conocen previamente se hagan favores mutuamente en beneficio de ambos. Este factor social es relevante pues el sistema software es totalmente ajeno a él, no lo tiene en cuenta en ningún momento, y puede ser la causa del error del consejero en determinadas situaciones.

## 6. CONCLUSIONES Y FUTURAS MEJORAS

Para cerrar el documento se exponen a continuación las conclusiones, tanto de carácter técnico como personal, que surgen a partir de la realización de este proyecto. Adicionalmente, se argumentan posibles mejoras del sistema a realizar en el futuro.

En lo que concierne al aspecto técnico del trabajo, todos los objetivos especificados han podido ser cumplidos. El sistema es capaz de aconsejar al jugador en todos los intercambios en los que intervenga y explicar el motivo de cada decisión; sin embargo, evaluando el rendimiento del sistema, el resultado es que el consejero toma las mismas decisiones que una persona experta en el juego en el 67,69% de las veces. Este valor es bastante mejorable y pone en manifiesto la dificultad de desarrollar sistemas que simulen el comportamiento de las personas en una negociación. Además, se debe tener en cuenta el factor psicológico que se ha comentado previamente y que es extremadamente complicado de incluir en un sistema software.

En lo personal, el desarrollo del trabajo ha permitido la profundización en un tema con especial interés y mediante técnicas estudiadas a lo largo del grado en Ingeniería Informática. Más allá de lo entretenido que han podido ser algunos momentos, lo mejor sin duda ha sido el cambio en las charlas durante las partidas de Colonos de Catán con aquellos que han sido colaboradores de este proyecto: ahora también se habla de cómo mejorar el juego de cada uno, e incluso algún colaborador trata de aportar ideas para mejorar el sistema software.

Como futuras mejoras o próximas líneas de continuación del sistema software, se podría añadir otra plantilla a la base de conocimientos del consejero. Esta nueva plantilla representaría a un rival del jugador aconsejado. La información que almacenaría son las cartas que sin duda alguna tiene dicho rival. De esta forma, el ayudante sabría algunas cartas de los rivales. Bastaría con actualizar la mano de cada rival cuando ocurran sucesos públicos en los que consiga materias primas. El hecho de saber en todo momento algunas cartas puede resultar muy ventajoso; ya sea a la hora de negociar o de tomar otro tipo de decisiones durante la partida. Otra posible mejora es ampliar los objetivos del sistema software, de forma que no solo ayude a las personas en las negociaciones del juego, sino durante cada uno de sus turnos. Podría enviarle consejos sobre dónde construir, dónde colocar el ladrón, qué cartas descartar, etc. El ayudante tomaría las decisiones como un jugador más, pero en lugar de actuar transmitiría a su jugador aconsejado lo que debería hacer y por qué.

***[CONCLUSIONS AND FUTURE IMPROVEMENTS]***

*To close the document, the conclusions, both of a technical and personal nature, that arise from the implementation of this project are set out below. Additionally, possible improvements to the system to be carried out in the future are argued.*

*As far as the technical aspect of the work is concerned, all the specified objectives have been achieved. The system is capable of advising the player in all the exchanges in which he or she intervenes and explaining the reason for each decision; however, evaluating the performance of the system, the result is that the advisor makes the same decisions as an expert in the game in 67.69% of the times. This value can be considerably improved and highlights the difficulty of developing systems that simulate people's behaviour in a negotiation. In addition, the psychological factor previously mentioned must be taken into account, which is extremely complicated to include in a software system.*

*On a personal level, the development of the work has allowed the deepening of a subject with special interest and through techniques studied throughout the degree in Computer Engineering. Apart from the fact that some moments have been entertaining, the best thing has undoubtedly been the change in the talks during the games of Colonos de Catán with those who have been collaborators in this project: now there is also talk of how to improve everyone's game, and even some collaborators try to contribute ideas to improve the software system.*

*As future improvements or next lines of continuation of the software system, another template could be added to the advisor's knowledge base. This new template would represent an opponent of the advised player. The information it would store is the cards that that opponent undoubtedly has. In this way, the assistant would know some cards of the opponents. It would be sufficient to update the hand of each rival when public events occur in which he or she obtains raw materials. Knowing some cards at all times can be very advantageous; whether it is for negotiating or for making other decisions during the game. Another possible improvement is to expand the objectives of the software system so that it not only helps people in game negotiations, but also during each of their turns. It could send you advice on where to build, where to place the thief, which cards to discard, etc. The assistant would make the decisions like any other player, but instead of acting, he would convey to his advised player what he should do and why.*

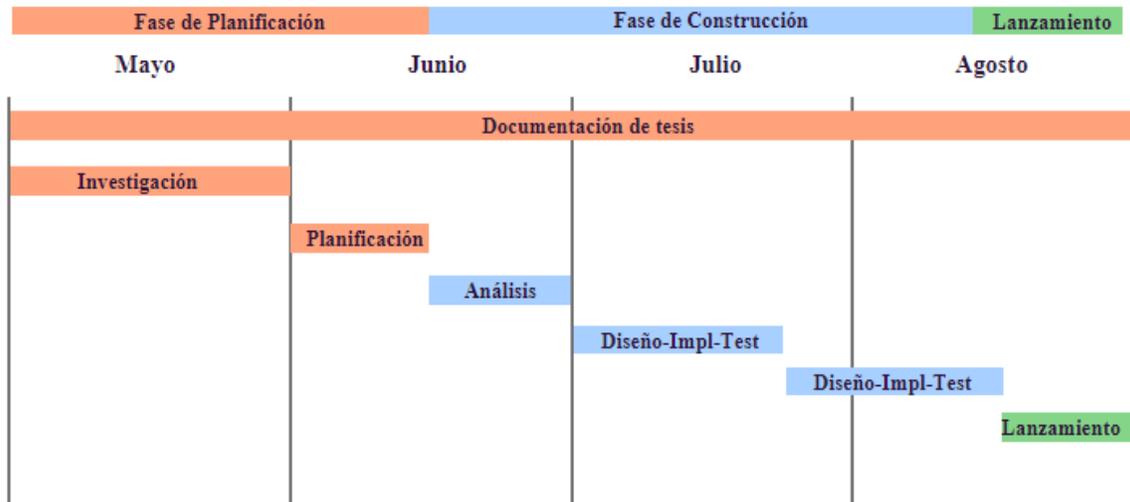
## BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Española de Videojuegos. *Anuario de la industria del videojuego en España*. A.E.V.I., España, Anuario. 2020. Disponible en: <http://www.aevi.org.es/web/wp-content/uploads/2020/04/AEVI-ANUARIO-2019.pdf>
- Boda M.A. “Avoiding revenge using optimal opponent ranking strategy in the board game Catan”. *International Journal of Gaming and Computer*, 10, 47-70, abril 2018.
- Campbell M., Hoane A.J. & Hsu F., “Deep Blue”, *Artif. Intell.*, 134, 57-83, enero 2002.
- Campbell M. “Mastering board games”, *ScienceDirect*, 362, 1118 – 1118, diciembre 2018.
- Guhe M. & Lascarides A., “The effectiveness of persuasion in The Settlers of Catan”. *2014 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games*, 1-8, agosto 2014.
- Heiden J.M., Braun B., Müller K.W. & Egloff B. (2019). “The Association Between Video Gaming and Psychological Functioning”. *Frontiers in Psychology*, vol 10, 1731, julio 2019.
- Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España. “I.A.”. Ciencia.gob. <https://www.ciencia.gob.es/portal/site/MICINN/menuitem.26172fcf4eb029fa6ec7da6901432ea0/?vgnnextoid=70fcdb77ec929610VgnVCM1000001d04140aRCRD#:~:text=La%20Estrategia%20Nacional%20de%20Inteligencia%20Artificial%20tiene%20como%20objetivo%20alinearel%20sector%20p%C3%BAblico%20y%20privado> (acceso: 27 de mayo de 2020)
- Newzoo. *Global Games Market Report 2019*. Newzoo, Estados Unidos, Informe anual. 2020. Disponible en: <https://newzoo.com/insights/trend-reports/newzoo-global-games-market-report-2019-light-version/>
- Sousa M. & Bernardo E., “Back in the Game: modern board games” en *Videogame Sciences and Arts*, 1ª ed., Suiza: Springer Nature, 2019, 72-85. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/41532687/Back\\_in\\_the\\_Game\\_Modern\\_Board\\_games](https://www.academia.edu/41532687/Back_in_the_Game_Modern_Board_games)

## GLOSARIO

A.E.V.I.	<i>Asociación Española de Videojuegos (Spanish Videogame Association)</i>
C.L.I.P.S.	<i>Sistema de Producción Integrado en Lenguaje C (C Language Integrated Production System)</i>
E.P.L.	<i>Licencia Pública de Eclipse (Eclipse Public License)</i>
G.P.L.	<i>Licencia Pública General (General Public License)</i>
I.B.M.	<i>International Business Machines Corporation</i>
I.A.	<i>I.A. (Artificial Intelligence)</i>
I.V.A.	<i>Impuesto sobre el Valor Añadido (Value Added Tax)</i>
S.O.C.	<i>Colonos de Catán (Settlers of Catan)</i>
U.E.	<i>Unión Europea (European Union)</i>

## ANEXO 1: Diagrama de Gantt



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

Yo, Ibay Amor Salgado, declaro ser el autor del documento “Asistente estratégico de Catán con CLIPS”, haber citado las fuentes y referencias bibliográficas que he precisado y no haber presentado este TFG en ninguna otra universidad o institución.

Colmenarejo, a 3 de sept de 2020.

Firma:

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping, stylized lines that form a cursive script. The signature is positioned below the 'Firma:' label.