

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
GRADO EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

Trabajo Fin de Grado



Vida Artificial en Watership: El Gen Egoísta

Autor: Adrián BORJA PIMENTEL

Tutor: Alejandro BALDOMINOS GÓMEZ

LEGANÉS. SEPTIEMBRE, 2017

Adrián Borja Pimentel

Universidad Carlos III de Madrid

Avenida de la Universidad, 30

28911 Leganés, Madrid (España)

Email: seindelbardo@gmail.com

*“Todo el mundo será tu enemigo,
Príncipe con Mil Enemigos, y te
matarán si te alcanzan. Pero antes
tendrán que atraparte, a ti, que cavas y
escuchas y corres, príncipe con la
alarma presta. Sé astuto e ingenioso y
tu pueblo nunca será destruido”.*

**“La Colina de Watership” (1972),
Richard Adams**

Agradecimientos

Cuando uno intenta hacer algo, todas las personas que a las que se lo cuente opinarán. A algunas les será indiferente, otras dirán que no vale la pena, otras además intentarán destruir todo interés por aquello que haces. Estas líneas son para aquellas personas que siempre han confiado en mí y me han apoyado en todo lo que he hecho, incluso aunque no entendieran que era lo tenía entre manos. Para aquellas personas que me han acompañado en esta aventura, brindándome su apoyo, consejo y compañía.

Muchas llevan a mi lado varios años, pero son mis padres a los que me acompañan desde antes de nacer. Ellos me han dado todo cuanto tengo, me han cuidado y educado, y son los responsables de que haya tenido la oportunidad de llegar hasta aquí tal y como soy. Entre tantas cosas, os agradezco que siempre os habéis preocupado porque diera lo mejor de mí, por enseñarme a no conformarme, por intentar llegar lo más lejos que pudiera. Y es en este punto del camino cuando os doy las gracias por todo lo que habéis hecho por mí y por todo lo que estáis dispuestos a hacer. Aún queda un largo camino, y nada me da más valor para recorrerlo que saber que siempre vais a estar ahí.

Evidentemente, tras mis padres viene toda mi familia, en primer lugar mi hermano y mi cuñada, seguidos de todas mis tías y tíos. Os conozco desde que tengo memoria porque cuando era un canijo ya estabais ahí para cuidar de mí. Y junto a vosotros todos mis primos y primas con los que tan buenos momentos he disfrutado. Entre ellos, quiero destacar especialmente a mi primo Luisja, pues es de las personas con las que más momentos he compartido, y también de las que más a influido en la persona que soy hoy, para mí has sido referencia e inspiración, y te debo muchos rasgos de mi personalidad. Muchas gracias familia. Se que todos, incluso los que ya no pueden decirlo, estáis orgullosos de mí, porque siempre lo habéis estado, y porque a partir de ahora, podréis decir que el autor de este trabajo es nieto de los abuelos.

Mi familia siempre ha estado ahí desde el principio, pero entre todas las personas que han ido y viniendo en el camino, hay una cuya compañía ya es irremplazable y ocupa un lugar especial en mi vida. Más de seis años han pasado ya y lo único que me hace más feliz que saber que estás ahí, es saber que quieres estar. Creo que si has seguido queriéndome y soportándome en la odisea que ha sido aprobar el grado y, aún así me has apoyado cuando he dicho que iba a estudiar durante otros dos años más, es porque lo que sientes por mí es lo mismo que yo por ti. Gracias Mireya por ser quien eres y todo lo que significas para mí. Hoy estoy aquí también gracias a ti.

Y uno no puede olvidarse en estos momentos de sus mejores amigos. La familia escogida con la que siempre puedes contar para cualquier aventura, y es que mis amigos no son simples aventureros, son Las Hordas del Caos. Gracias Luis, Paco, Eliseo, Jonathan, Tomás y Míriam por ser parte de mi vida.

Hay batallas que duran mínimo 4 años, y si yo no he necesitado más tiempo para librarlas ni he perdido la cabeza en el proceso es porque he podido contar con auténticos compañeros de batalla. Entre ellos destaco especialmente a Axel, Imanol y Daniel a los que también puedo llamar amigos. Y no quiero olvidarme de la Delagación, del GUL y de Iñigo Montoya, los lugares donde he conocido a grandes personas que me han acompañado durante estos cuatro años haciéndolos inolvidables, tan inolvidables que a muchos seguiré viéndoles durante varios años más, incluso cuando abandone el campus.

Por último, quiero dedicar el último agradecimiento a Baldo, por acompañarme, guiarme y ayudar en este proyecto. Ha sido duro pero lo hemos conseguido. Si este proyecto ha llegado hasta aquí es también gracias a ti. Gracias por todo.

Resumen

La vida artificial es una disciplina relacionada con la inteligencia artificial centrada en el estudio de la vida, la evolución y los comportamientos de los seres vivos a través de modelos de simulación. En el presente trabajo se ha buscado la creación de un pequeño sistema que emule un reducido ecosistema formado principalmente por plantas, conejos y zorros. El mayor interés de este sistema era conseguir comportamientos colaborativos de los progenitores hacia sus crías.

Para conseguir los objetivos, el trabajo se ha apoyado en los conocimientos etológicos redactados por Richard Dawkins en su obra, *El gen egoísta*. El resultado ha sido un *framework* extensible que presenta un mundo coherente, compuesto por territorios e individuos que interaccionan siguiendo un sistema de turnos de declaración-acción. En él, los individuos más aptos tienen mayores posibilidades de sobrevivir y, en las poblaciones implementadas, el cuidado de las crías para la supervivencia de la descendencia es estrictamente necesario.

Palabras clave: vida artificial, inteligencia artificial, gen egoísta, Watership, simulación, etología, biología.

Summary

Introduction

A living being is a complex molecular organism with the capacity to perform the basic functions of life, that is, a being with the ability to nourish, relate and reproduce. Therefore, it can be said that the answer to the question *Is a particular organism a living being?* is intrinsic in the answer to *What can that organism do?*

Nourish, relate and reproduce are really complex functions and have many nuances between different individuals in an ecosystem, but they define the essence of the key behaviors that characterize living beings. Artificial life is an area of study that seeks to simulate these unique behaviors in nature.

The name of this work is related to Richard Adams' fantasy novel *Watership Down* [4], a story about the adventures of a group of rabbits that fight for survival and have their own burrow. This work is a literary metaphor about the human behavior and ambition. In the course of their adventures, these rabbits have human conducts and they conform complex societies that, although being directed by animals, are the reflection of the societies created by humans. In the same way that this novel is classified as literature for children, this project, and the concept itself of artificial life, can be taken as a toy for children, but if you read on, you realize that this story is something far more complex than a tale starring rabbits who try to survive.

The Selfish Gene [6] is a work of the ethologist Richard Dawkins, whose teachings have been the main pillar for the creation of this project. Artificial life in *Watership: The Selfish Gene*, is the prototype of an artificial life system that will be the first work of an ambitious and complex project. In this section the context in which the work is located will be detailed, as well as the motivation, objectives and structure of the entire document.

Context

Life, evolution, and the behavior of living beings are the areas of study in which artificial life focus. This discipline, related to the artificial intelligence, have had the

purpose of creating systems that simulate the biologic phenoms that we find in nature. The finality of these systems is to understand essential aspects about how life works and the laws which govern the evolution.

Outside the academic field, it is in the entertainment industry where most of the techniques used in these systems can be applied. For years, video games have been taking advantage of many resources developed over potential artificial life systems, but limiting their use for, simply, simulate some biological behaviors that, in the context of the game, provide a better setting and a more elaborated game experience.

Nowadays there are many studies both in the field of biology and in ethology, and, thanks to artificial life systems, the interest for simulating and understanding the behavior of the living beings can be satisfied in a computational way, thus allowing elaboration of better studies of the natural phenoms, especially those related to living beings, and the possibility of taking advantage of all this knowledge in a booming industry, like the video game industry is.

Motivation

Since the initial project approach until now, both the motivation and the objectives have changed. We consider that it is important to mention both the initial motivation, which is fairly general, and the motivation arisen during the development of the project, which will be called *specific motivation*. Both motivations will be exposed throughout this section.

General Motivation

The main idea of the project arises from the approach of a survival game occupied by both persons and *bots*, but they do not know the role of the others players, that is to say, if the rest of the players are persons or *bots*. The objective of persons is to survive, and the objective of *bots* is to kill them. As the role of the players is unknown, it is possible that the player is indeed the sole being the unique human playing in the game.

Seeing the complexity of the project and analyzing its potential impact and contribution, it raised the conclusion that the real motivation of this project was the creation of a game where *bots* (NPCs) and real players (PCs) could interact in equal conditions.

In video games it is common that the player controls a character with particular skills and characteristics, which must be used to overcome the different obstacles that game poses. Many of these obstacles or objectives are posed by NPCs which, in linear story game, play a specific role with defined interventions, but there are games called *open world* or *sandbox* where NPCs play like concrete characters of the world that have some utility for the player. It is this last detail that is important for the motivation of

the project, these NPCs exist only to complement the gameplay of whoever is behind of the screen, and their interaction with the player is their only contribution to the game world.

The main motivation of the project consist to design an interactive virtual environment where NPCs will be designing like autonomous agents with their own objectives and needs, that will condition the interaction whit the PC, going from being passive beings to being pseudo-players with the same opportunities that the player. This suppose the principal application of two disciplines related to computer's science: multi-agent systems and artificial life.

Specific Motivation

For the development of the idea, it was necessary to design social communities where the agents were able to interact to cover their necessities at very high levels of complexity for the actual project, so we opted to focus this work in some of the essential and basic aspects that are required for a basic artificial life system, serving as a previous step to eventually reach the general idea in its completeness.

As a starting point, a small prototype was developed with a population of rabbits that were looking for team strategies that would improve the expansion of their species. However, this prototype was far from the designs that characterize artificial life projects. So after analyzing the shortcomings that had in comparison to the traditional design, we decided to focus our attention on aspects such as *How does teamwork arise?*, *What motivates parents to care for their offspring?* or *Does the need for a community to survive be natural or acquired?*

After not finding good answers to these questions, we decided to do research in the field of biology (science that study the living beings) and the ethology (branch of the biology that studies the behavior of the animals), then the consultation with experts in the field guided us to the work *The Selfish Gene* by Richard Dawkins. This work not only answered most of our questions, but also offered us the opportunity to focus the project from a new perspective that substantially changed its motivation.

The final motivation consists in designing and implementing the basic tools of an artificial life environment that be scalable and allows to, with slight modifications, prove some of the hypotheses presented in the Dawkins' work. Checking these hypotheses will give assurance to the project in terms of its biological and ethological foundation, and its ease of modification will leave the doors open to continue the development of what is raised in the general motivation.

Objectives

Given the continuing character of the project, and that the current work is intended to develop a first basic and functional version, the artificial life system must fulfill the following three objectives:

Survival of offspring

In the developed system, the new individuals born through sexual reproduction do not have the totality of their capabilities at birth, in fact, without the help of others individuals, they will die. It is a key objective that the family, specially the parents, spend actions and resources in the evolution of their offspring, that implicates the collaboration and communication between individuals.

Extensible framework

One of the motivations of the project consist in implement the basic tools of an artificial life environment that be scalable. It is therefore an objective that at the end of the development the implemented platform be scalable, allowing, among other things, easily adding new individuals and characteristic behaviors.

Behaviors validation

The other part of the motivation was to verify some of the hypotheses raised in the Dawkins' work, in order to give assurance to the project. So a third objective is to be able to use the system to verify some of the hypotheses used as a reference in the framework design.

Document structure

In this section a brief description of the sections that compose this document and the content described in them is made:

- **Chapter 1: Introduction.** This chapter serves as a presentation to the project, stating briefly the theme to be addressed, the context in which the project is located, the motivations that have led to its realization and the objectives that are expected to be achieved.
- **Chapter 2: State of the art.** This chapter gives a detailed introduction to the artificial life and other related topics, explaining how the studies carried out in this field have evolved since its beginning and providing interesting projects. Besides,

is perform a second analysis about the influence and presence of the artificial life in the video games industry.

- **Chapter 3: Biological and ethological foundations.** This chapter collects and presents in order all the biological and ethological knowledge used in the development of the project. It also includes an introduction to biology and ethology from the most basic concepts.
- **Chapter 4: Description of the system.** This chapter is dedicated to explain how the system has been designed. It details the individuals that compose it, how they interact with each others, what characteristics they have and how the biologic fundamentals have influenced in all decisions of the design. Also it be explains, in more technical detail, how to incorporate new individuals in the framework.
- **Chapter 5: Experimentation.** This chapter is dedicated to the experiments performed to verify the proper functioning of the framework and to perform some analyzes of interest in the artificial life system with different populations. About experiments, it is detailed the objective they are trying to achieve, how they were performed, what results have produced, and what conclusions can be extracted from these results.
- **Chapter 6: Conclusions.** This chapter is dedicated to explain all the conclusions obtained after completing this project. In this section, possible future lines of the project have been also included.
- **Chapter 7: Project management.** This chapter is dedicated to those aspects of project management, including project planning, budget, applicable regulatory framework and socio-economic impact.
- **Annex: Critical discussion.** This chapter contains several thoughts on acquired knowledge in the field of ethology after the reading of *The Selfish Gene*, and its interpretation in modern human society.

System Description

This project concludes with the development of an artificial life framework. This framework allows the creation of artificial life systems with could perform potentially complex simulations. Its initial design was based on different biological and ethological themes extracted from the Richard Dawkins' work, *The Selfish Gene*. Thank to this work, the implemented platform has a great scientific base on which it has been built. Further, its design is thought to be scalable, allowing its modification and updating to suit the different needs of users, and allowing the simulation of more complex scenarios to validate diverse ethological hypotheses.

For the beginning, the system has been developed in Python 3.4. We selected this programming language because Python is very flexible because of it is an interpreted language, uses dynamic typing system and supports multiple programming paradigms. Furthermore, it is a very adaptable language that allows quick and effective implementation. Also, like Python has a design philosophy that favors code reading, is a good option that makes collaboration from other developers easier. Other reason is that Python is currently very popular and has been used in many artificial intelligence projects; therefore, it has a wide catalog of libraries for data analysis or integration, with multitude of artificial intelligence tools. For all these reasons, we consider that Python was a good option to develop the current project. In addition, working with Python is very comfortable to me, and I know that this language would allow me to develop the project without problems.

As for the system developed, the first element of importance is the territory. A territory is an area that have everything needed for individuals to live. Also, it is an abstraction of all the biological elements that compose an ecosystem. Part of these elements are the individuals, but there are others like the existence of fertile or rocky soil, the presence of water or the weather. In the system current version, a territory is characterized by: the presence of three living being species (foxes, rabbits and plants); for having or not having natural burrows that will serve the rabbits to hide from the predators and for the limit of plant that can grow in the territory, which represents the amount of water, mineral resources and the climatic conditions of this territory.

The three living being species have predator-prey relationships between them. The foxes eat rabbits, and rabbits eat plants. To survive, the two first species have certain skills to satisfy their needs and wishes. These skills are: breed, search food, eat, rest and migrate. Also, as in the system one of the main interests is that the parents have the responsibility to take care of the young until the adulthood, the parents have the skill to feed them, and the young, and only the young, have the ability to order food. In fact, a young fox or rabbit can only order food, eat and rest until they reach adulthood, when they can perform all available actions. In addition, adult rabbits have two unique skills that are "hide" and "protect", which have the purpose of hiding the young and avoiding the foxes when they are hunting.

The success in the skills and capacities of the individuals depends on its genotype, and the genotype is the set of genes that an individual has. In the system, foxes and rabbits have nine genes that represent: strength, dexterity, constitution, speed, intelligence, perception, life expectancy, fertility and sexual maturity. In the other hand, plants have three genes that represent how much they can grow, growth in each unit of time and how many seeds they produce each time they reproduce. The plants of the system do not have skills.

Breeding is key in artificial life systems, because is the main way for the species to survive. In the framework, plants reproduce asexually, creating copies of themselves with certain probability of gene mutation. The animals, however, reproduce with individuals of the same species and different sex. When mating, the female is pregnant and cannot mate until she gives birth. When a female gives birth, the size of the litter

will depend on the fecundity genes of both parents, and each new member have its own genotype randomly selected from the parents with a 50% probability.

This nature of sexual reproduction is very important in the system because it constitutes the basis of the collaboration between relatives. In his work, Dawkins defines living things as survival machines for genes, the important thing is not the survival of individuals, but the survival of genes.

There is, according to Dawkins, a gene that represents the selfish or altruistic behavior, understanding selfishness as putting individual interests before the interests of the rest of the individuals, and altruism as putting the interests of others before the own interests. With these definitions, it is trivial to see how those individuals considered altruistic are presenting self-destructive behavior in favor of the rest, while selfish take advantage of this behavior without sacrifice themselves. Throughout the generations, the selfish gene will have a important presence in the gene pool, that is, the genes that are present in various individuals of the same community or species.

On the other hand, Dawkins mentions another gene destined to the altruism between relatives. The presence of this gene in most individuals is based on the fact that relatives have many genes in common, including probably the gene of the altruism with the relatives. For example, if one individual sacrifices itself for ten relatives, one copy of the gen will be lost, but, in the best case, ten copies will be saved, so this behavior favors the presence of the gene in the gene pool.

Having said that, the combination of the selfish gene that seek to favor itself, the gene of the altruism with the relatives that the encourages individual's self-sacrifice for their relatives and the idea that the important thing is the survival of the genes and not of the individuals, give rise to all the necessary motivation for the parents to want to take care of their offspring.

Dawkins also proposes a simple formula for calculating generational distance between individuals and genetic similarity. This formula consists of counting in a genealogical tree the jumps separating two individuals, s , and common relatives n . By the nature of sexual reproduction, in which an individual will have half the genes of each parent, each jump in the tree means the loss of half the genetic material of each of the parents. For example, from two parents to their child, the child has half the genes of each, and the grandchild, let's call him Nieto, has quarter of genes in common with each grandparent. However, Nieto will have more genes in common with his uncle, because his uncle has the genes of their parents, in the same way Nieto has them because the parents of his uncle are their grandparents.

$$n \times \left(\frac{1}{2}\right)^s$$

As for the execution, the system uses a system of turns to simulate the life. In each turn, there is a first phase in which individuals must choose what action they want to perform, and in a second phase, perform it. This methodology is important

because it allows the individuals to be aware of what is happening in the ecosystem, so they can choose their actions based in the actions that other individuals choose to perform. The order of declaration of the chosen action is determined by the gene of the perception, and the order of action is determined by the speed. With these premises, the calculation of the genetic similarity and the skills that allow the care of the young, the framework offers an artificial life platform where the collaboration between individuals is fundamental for the evolution.

Experiments

Finally, a total of six experiments were executed in order to verify the correct functioning of the most important behaviors of the system.

- The first of these experiments have a territory inhabited by some foxes and rabbits of both sexes and enough plants to feed large populations of rabbits. The objective of this experiment is to verify that the parents care of the offspring, letting their genes remain in the gene pool.
- The second experiment has enough plants, and individuals of the other two species, of both sexes, distributed among four territories. The objective of this experiment is to verify that individuals migrate when the territory in which they are cannot satisfy their needs and desires.
- The third experiment have four territories, each one of them have a different limit of plants and individuals of the three species. The objective of the experiment is to check how the populations in each of the territories evolve.
- The fourth experiment have a single territory with individuals of all the species. The objective is to observe how the gene pool evolve throughout the turns.
- The fifth experiment is similar to the fourth, but there are many individuals with bad genes and less individuals with good genes. The objective of this experiment is to verify whether the fittest individuals are those who survive.
- The sixth experiment involves a framework extension intended to verify a hypothetical situation, mentioned by Dawkins in his work, to illustrate how evolutionary stable strategies work. It consists of a single territory with several individuals fighting each others choosing between two possible strategies.

Objectives Validation

The first objective of the system was get collaborative behaviors among individuals of the species to ensure the survive of the offspring. These behaviors was founded in

the Dawkins' theories about the interest of the individuals to preserve their own genes in the population, thus arising an altruist behavior of the close relatives of an individual to get it's survival. After the experiments it was verified that this behavior was carry out in the system, not only from parents to children, but also from grandparents, cousins, siblings or uncles, since, although many of them were not so rewarded because of the genetic distant calculated by Dawkins, sometimes the motivation was greater than that provided by other actions such as eat o get food, this care can be given by less direct relatives.

In addition, the use of happiness and diverse territories, caused that individuals who could not do anything to spread their genes chose to migrate. Migrating was also a preferable action when a territory ceased to offer resources. So, we can said that individuals migrate looking for better life conditions as it happens in nature.

Moreover, the framework has become a functional and extensible platform, easily allowing the incorporation of new individuals whit their own specific genes and different behaviors from existing ones. This was demonstrated in the experiments realized, which proved the correct functionality of the environment and showed how the population evolves, an element that is totally characteristic of artificial life systems. These developments occurred both at the level of population and individuals.

In the first case, changing the quantity of individuals of the same species throughout the simulation and being possible the extinction of some of them any moment. In case of extinction of any of the species, there was a break in the alimentary chain represented in the system, and this entailed the extinction of another species, which is quite accurate of real behavior.

In the second case, the evolution took place in the genes of the individuals, being able to reproduce those individuals with better genotypes and, so, to affect the average values present in the gene pool. This allows to see what attributes were most relevant in the survival of individuals and was consistent with the principle of survival of the fittest.

Finally, one of the experiments that proved the correct functioning of the system as an environment for the study of population evolution, was the hypothetical case of pigeons and hawks used by Dawkins to show the functioning of the evolutionarily stable strategies. In the experiments, this case had similar results that those enunciating by Dawkins, completing the third objective of the project, and demonstrating the efficacy of the system as a tool for verify ethological hypotheses.

In general, it can be concluded that the framework has successfully achieved all the objectives, resulting a platform whit a great biological and ethological base that can evolve easily and be used to different purposes, both academic, playful or economic.

In the other hand, after the development of this project, we have reached the conclusion that biological principles that govern the behavior are a really interesting field of study, and that its investigation, the perspective of the development of artificial life systems, supposes a very valuable learning.

Future work

The implementation performed in this work pretended to be a starting point that could satisfy certain minimal characteristics. Reached this objective, there are many lines of future works dedicated to improving the framework, among other things.

First, the framework is ready to easily include new species of individuals with their own characteristics and behaviors. Adding more individuals would be an interesting line of work that would bring richness and diversity to the system. In the same way, incorporating new behaviors to the individuals or adding complexity to the existing ones, would allow a more precise approximation to the behaviors present in nature and would lead to more realistic simulations. In this case, using the framework to perform other ethological and biological experiments, is another possible work line that the project could have.

In the same line, the chromosomes used could get more sophisticated, adding more genes and codifying the influence of these in the behaviors. For example, one of the ideas arisen in the design consists in including genes that can influence directly any aspect of the individuals. These would keep certain relation with the genes that codified the physical attributes, but would allow to generate an “appearance” that could be used by the other individuals to evaluate certain qualities of this individual, such as the amount of food that can be obtained by hunting it, or if it is more speedy than others. Also, incorporating these changes would allow the exploration of more theories enunciated in Dawkins’ work, such as the altruism towards similar individuals, based on the fact that a similar appearance is due to possess common genes. Another option would be to work with misleading individuals, that pretend to be someone that they are not for their own benefit. This would have enough repercussion, because, in a certain way, it would be working with reasoning and deception systems.

The incorporation of improvements in the framework can also be applied to the territory, adding certain characteristics that allows simulating more complex habitats with a specific ecosystem. These changes would also include the implementation of the seasons, weather, wind, land type or the simple incorporation of day and night.

As an artificial life simulation platform there are many possible lines that would lead to the improvement of the framework. But in its current state, one possible line is to use it as a complement in a video game that contains animal individuals modeling through an artificial life system, being an innovative alternative versus the traditional random generation of animals. In the same way, it can be used in the elaboration of business strategies, doing simulations based on the behavior to obtain certain predictions or estimates.

In summary, the main future lines that could take the current work would be:

- Implement new species and behaviors.

- Add complexity to the chromosomes of individuals and the influence of genes in the system.
- Incorporate new elements into territories that allow more realistic situations and give meaning to certain behaviors given only in specific ecosystem circumstances.
- Use the framework for academic purposes as a simulation platform of biological ecosystems.
- Use the framework as a complement in video game projects, thus being able to develop projects that incorporate more sophisticated artificial life systems in some of the non-player characters (NPCs).

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos	1
Lista de Figuras	5
Lista de Tablas	7
1 Introducción	9
1.1 Contexto	10
1.2 Motivación	10
1.2.1 Motivación general	10
1.2.2 Motivación específica	11
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Supervivencia de las crías	12
1.3.2 Framework extensible	12
1.3.3 Validación de comportamientos	12
1.4 Estructura del documento	12
2 Estado del Arte	15
2.1 Vida artificial	15
2.2 Trabajos relacionados	17
2.2.1 Critica al trabajo de J. Vadillo (2008)	18
2.3 Vida artificial en la industria del entretenimiento	20
2.3.1 Creatures (1996)	21
2.3.2 Harvest Moon (1996)	22

2.3.3	The Sims (2000)	23
2.3.4	Fable (2004)	24
2.3.5	Minecraft (2009)	25
2.3.6	ARK: Survival Evolved (2017)	25
3	Fundamentos Biológicos y Etológicos	29
3.1	Conceptos básicos	29
3.2	Comportamiento individual	31
3.3	Comportamiento colectivo	34
3.4	Estrategias Evolutivamente Estables	37
4	Descripción del sistema	41
4.1	Transcurso de la vida	46
4.2	Extendiendo el <i>framework</i>	50
5	Experimentación	55
5.1	EX_1 Conejos y zorros cuidan a sus descendientes	55
5.2	EX_2 conejos y zorros se mueven si no son felices	56
5.3	EX_3 Evolución de la población respecto al límite de plantas	58
5.4	EX_4 Evolución del acervo génico en todas las poblaciones	61
5.5	EX_5 Evolución del acervo con individuos mal preparados	64
5.6	EX_6 Estrategias Evolutivamente Estables	65
6	Conclusiones	69
6.1	Validación de objetivos	69
6.2	Trabajo futuro	70
7	Gestión de proyecto	73
7.1	Planificación	73
7.2	Marco regulador	74
7.3	Entorno socio-económico	75
7.4	Presupuesto	76

<i>Tabla de Contenidos</i>	3
Anexo A Discusión Crítica	79
Bibliografía	83

Lista de Figuras

2.1	Creatures	21
2.2	Harvest Moon	22
2.3	The Sims	23
2.4	Fable	24
2.5	Minecraft	25
2.6	ARK: Survival Evolved	26
3.1	Fecundidad, longevidad y madurez sexual	33
3.2	Árbol Genealógico de A	36
4.1	Diagrama de flujo	47
5.1	Tierra 1	58
5.2	Tierra 2	59
5.3	Tierra 3	60
5.4	Tierra 4	60
5.5	Plantas	62
5.6	Conejos	62
5.7	Zorros	63
5.8	Comparativa de la evolución de los genes	64
5.9	Palomas contra halcones	66
5.10	1 paloma contra 239 halcones	66
5.11	239 palomas contra 1 halcón	67
7.1	Diagrama de Gantt	74

Lista de Tablas

3.1	Fecundidad, longevidad y madurez sexual	32
7.1	Presupuesto en equipo técnico	76
7.2	Presupuesto en personal	77
7.3	Presupuesto total	77

Capítulo 1

Introducción

Un ser vivo es un complejo organismo molecular con la capacidad de desempeñar las funciones básicas de la vida, es decir, un ser con la capacidad de nutrirse, relacionarse y reproducirse. Puede decirse, enunciado esto, que responder a la pregunta *¿es un determinado organismo un ser vivo?*, es intrínseco a responder *¿qué puede hacer un determinado organismo?*

Nutrirse, relacionarse y reproducirse son funciones realmente complejas y con infinitud de matices entre los distintos individuos de un ecosistema, pero definen la esencia de los comportamientos clave que caracterizan a los seres vivos. La vida artificial es una área de estudio que busca simular estos comportamientos únicos en la naturaleza.

Este trabajo recibe su nombre de la novela de fantasía de Richard Adams, *La colina de Watership* (*Watership Down*) [4], una historia que narra las aventuras de un grupo de conejos que luchan por sobrevivir y fundar su propia madriguera. La obra es una metáfora literaria sobre el comportamiento y la ambición humana, y en el transcurso de sus aventuras, los conejos presentan conductas humanas y se encuentran con complejas sociedades que, aunque son dirigidas por animales, son reflejo de las sociedades creadas por las personas. Al igual que esta novela está calificada como literatura infantil, este proyecto y el propio concepto de la vida artificial podría interpretarse como un juguete para niños, pero al seguir leyendo, uno se da cuenta de que lo que tiene delante es algo muchísimo más complejo que un simple cuento protagonizado por conejos que buscan sobrevivir.

El Gen Egoísta [6] es una obra del etólogo Richard Dawkins, cuyas enseñanzas han sido el pilar principal para la creación de este proyecto. *Vida Artificial en Watership: El Gen Egoísta*, es el prototipo de un sistema de vida artificial que será el primer trabajo de un ambicioso y complejo proyecto. En la presente sección se detallarán el contexto en el que se sitúa dicho trabajo, así como su motivación, los objetivos y la estructura de todo el documento.

1.1 Contexto

La vida, la evolución y los comportamientos de los seres vivos son aquellas áreas de estudio en las que se centra la vida artificial. Esta disciplina, relacionada con la inteligencia artificial, ha tenido como propósito crear sistemas que simulen los fenómenos biológicos presentes en la naturaleza. La finalidad de estos sistemas es comprender aspectos esenciales sobre el funcionamiento de la vida y las leyes que rigen la evolución.

Fuera del ámbito académico, la mayoría de las técnicas usadas en estos sistemas han encontrado varias oportunidades de aplicación en la industria del entretenimiento. Este proyecto se sitúa en un momento en el que los videojuegos llevan años aprovechando numerosos recursos desarrollados sobre potenciales sistemas de vida artificial, pero limitando su uso a, simplemente, teatralizar algunos comportamientos biológicos que, en la temática del juego en cuestión, aportan mejor ambientación o una experiencia de juego más elaborada.

Actualmente existen muchos estudios tanto en el campo de la biología como en la etología, y gracias a los sistemas de vida artificial, puede satisfacerse ese interés por simular y comprender mejor el comportamiento de los seres vivos de forma computacional, permitiendo así, tanto la elaboración de mejores estudios de los fenómenos naturales, especialmente los referidos a los seres vivos, como poder aprovechar todo ese conocimiento en una industria en auge como lo son los videojuegos.

1.2 Motivación

Desde el planteamiento inicial del proyecto y sus objetivos, tanto la motivación como los objetivos han sufrido cambios. Creemos que es importante mencionar tanto la motivación inicial, con un carácter más genérico, como la surgida durante el desarrollo del proyecto, a la que llamaremos motivación específica. Ambas motivaciones se expondrán a lo largo de esta sección.

1.2.1 Motivación general

La idea general del proyecto surge del planteamiento de un juego de supervivencia en el que se encuentran tanto personas como *bots*, pero ninguno de ellos conoce el rol de los demás jugadores, es decir, si son jugadores humanos o *bots*. Las personas deben sobrevivir y los *bots* deben acabar con las personas. Al desconocer el rol de los demás individuos del juego, podría darse el caso de que en realidad el jugador fuera el único humano en la partida.

Viendo la complejidad del proyecto y analizando qué tendría de interesante, se llegó a la conclusión de que lo que realmente motivaba este proyecto era la creación de un juego donde *bots* (PNJs) y jugadores humanos (PJs) interactuaran en igualdad de condiciones.

En los videojuegos es común que el jugador controle un personaje con una serie de habilidades y características, las cuales debe utilizar para superar los distintos obstáculos que el juego le plantea. Muchos de estos obstáculos u objetivos son planteados por PNJs que, en juegos de historia lineal representan un papel concreto con unas intervenciones definidas, pero existen juegos denominados de *mundo abierto* o *sandbox*, donde los PNJs interpretan a seres del mundo con alguna utilidad para el jugador. Es este último detalle lo importante para la motivación del proyecto, esos PNJs existen únicamente para complementar la jugabilidad de quien está tras el monitor, y su interacción con el jugador es su único aporte al mundo del juego.

La motivación general del proyecto consiste en diseñar un entorno virtual interactivo en el que los PNJs sean diseñados como agentes autónomos con sus propios objetivos y necesidades, los cuales condicionarán la interacción con el PJ, pasando de ser seres pasivos a ser seudojugadores con las mismas oportunidades que el jugador. Esto supone la aplicación principal de dos disciplinas pertenecientes a las ciencias de la computación: los sistemas multiagentes y la vida artificial.

1.2.2 Motivación específica

Para el desarrollo de esta idea, era necesario diseñar comunidades sociales donde los agentes fueran capaces de interactuar para cubrir sus necesidades con unos niveles de complejidad muy elevados para el actual proyecto, por lo que se optó por centrar el trabajo en algunos de los aspectos fundamentales y básicos que serían necesarios como paso previo para alcanzar la idea general en su completitud.

Como punto de partida, se desarrolló un pequeño prototipo con una población de conejos que buscaban estrategias de equipo que mejoraran la expansión de su especie. Sin embargo, este prototipo se alejaba bastante de los diseños que caracterizan los proyectos de vida artificial. Por lo que tras analizar las carencias que presentaba frente al diseño tradicional, decidimos centrar nuestra atención en aspectos como *¿de qué manera surge el trabajo en equipo?*, *¿qué motiva a los padres a cuidar de sus crías?* o *¿la necesidad de una comunidad para sobrevivir es natural o adquirida?*

Al no encontrar buenas respuestas a estas cuestiones, decidimos realizar una investigación en el campo de la biología (ciencia que estudia los seres vivos) y la etología (rama de la biología que estudia el comportamiento de los animales), la cual nos llevó a hablar con expertos en la materia que nos guiaron hasta la obra *El gen egoísta* de Richard Dawkins. Esta obra no solo respondió la mayoría de nuestras preguntas, si no que nos ofreció la oportunidad de enfocar el proyecto desde una nueva perspectiva que cambió sustancialmente la motivación del proyecto.

La motivación final del proyecto consiste en diseñar e implementar las herramientas básicas de un entorno de vida artificial que sea escalable y permita con leves modificaciones comprobar algunas de las hipótesis planteadas en la obra de Dawkins. Comprobar dichas hipótesis dará seguridad al proyecto en cuanto a su fundamentación

biológica y etológica, y su facilidad de modificación dejará las puertas abiertas para seguir desarrollando en busca de lo planteado en la motivación general.

1.3 *Objetivos*

Dado el carácter continuo del proyecto, y que en el actual trabajo se pretende desarrollar una primera versión básica y funcional, hemos establecido 3 objetivos que tiene que cumplir el sistema de vida artificial desarrollado.

1.3.1 *Supervivencia de las crías*

En el sistema desarrollado, los nuevos individuos nacidos por reproducción sexual no poseen la totalidad de sus capacidades al nacer, de hecho sin la ayuda de otros individuos morirán. Es un objetivo clave que los familiares (especialmente los progenitores) dediquen acciones y recursos a que las crías evolucionen, lo que implica colaboración y comunicación entre individuos.

1.3.2 *Framework extensible*

Una de las motivaciones del proyecto consiste en implementar las herramientas básicas de un entorno de vida artificial que sea escalable. Es por tanto un objetivo que al final del desarrollo la plataforma implementada sea escalable, permitiendo, entre otras cosas, añadir fácilmente nuevos individuos y comportamientos característicos.

1.3.3 *Validación de comportamientos*

La otra parte de la motivación hacía referencia a verificar algunas de las hipótesis planteadas en la obra de Dawkins con el fin de dar seguridad al proyecto. Por lo que un tercer objetivo es poder usar el sistema para comprobar alguna de las hipótesis utilizadas como referencia en el diseño del *framework*.

1.4 *Estructura del documento*

En este apartado se realiza una breve descripción de las secciones que componen el presente documento y del contenido descrito en ellas:

- **Capítulo 1: Introducción.** Este capítulo sirve de presentación al proyecto, anunciando brevemente el tema que va a tratar, el contexto en el que se sitúa el proyecto, las motivaciones que han llevado a su realización y los objetivos que se esperan conseguir.

- **Capítulo 2: Estado del Arte.** Este capítulo realiza una introducción detallada a la vida artificial y otros temas relacionados, exponiendo cómo han evolucionado los estudios realizados en este campo desde su creación y aportando proyectos de interés. Además, se realiza un segundo análisis sobre la influencia y la presencia de la vida artificial en la industria de los videojuegos.
- **Capítulo 3: Fundamentos biológicos y etológicos.** Este capítulo recoge y expone ordenadamente todo el conocimiento biológico y etológico utilizado en el desarrollo del proyecto. Además incluye una introducción a la biología y la etología desde los conceptos más básicos.
- **Capítulo 4: Descripción del sistema.** Este capítulo está dedicado a explicar como se ha diseñado el sistema. Se detallarán los individuos que lo componen, cómo interactúan entre ellos, qué características tienen y cómo han influido los fundamentos biológicos en todas las decisiones de diseño. También se explicará de forma más técnica como incorporar nuevos individuos en el *framework*.
- **Capítulo 5: Experimentación.** Este capítulo está dedicado a los experimentos realizados para comprobar el correcto funcionamiento del *framework* y realizar ciertos análisis de interés con distintas poblaciones en el sistema de vida artificial. Sobre los experimentos, se detallará el objetivo que pretenden cubrir, cómo se han realizado, qué resultados han producido, y qué conclusiones se pueden extraer de dichos resultados.
- **Capítulo 6: Conclusiones.** Este capítulo está dedicado a exponer todas las conclusiones obtenidas tras la realización del proyecto. También se incluyen las posibles líneas futuras del proyecto.
- **Capítulo 7: Gestión del proyecto.** Este capítulo está dedicado a aquellos aspectos de la gestión del proyecto, entre ellos se encuentran la planificación del proyecto, el presupuesto, el marco regulador aplicable, y el impacto socio-económico.
- **Anexo: Discusión crítica.** Este capítulo contiene varias reflexiones sobre lo aprendido en el campo de la etología tras la lectura del *El gen Egoísta* y su interpretación en la sociedad humana moderna.

Capítulo 2

Estado del Arte

En esta sección se pretende exponer los principios históricos de la vida artificial y mostrar algunos de los proyectos más representativos e interesantes de esta disciplina. Además, dada la fuerte influencia que tienen los videojuegos en el actual proyecto, hemos considerado conveniente añadir una segunda sección centrada en la presencia de la vida artificial en los videojuegos.

2.1 Vida artificial

La vida artificial es una disciplina relacionada con la inteligencia artificial centrada en el estudio de la vida, la evolución y los comportamientos de los seres vivos a través de modelos de simulación. El científico Christopher Langton fue el primero en utilizar el término a finales de la década de 1980 cuando se celebró la “Primera Conferencia Internacional de la Síntesis y Simulación de Sistemas Vivientes” (también conocida como Vida Artificial I) en el Laboratorio Nacional de Los Álamos en 1987. Desde entonces, han surgido distintos tipos de vida artificial caracterizados por su enfoque, a distinguir entre software, hardware y, el más novedoso, *wet*, el cual hace referencia a la biología sintética, donde se pretende sintetizar biomoléculas o sistemas biológicos con funciones no presentes en la naturaleza.

Tradicionalmente se pretendía estudiar la vida tal y como la conocemos, centrándose en los parámetros más importantes. Posteriormente surgió la filosofía de modelado de vida artificial que buscaba entender como era posible la vida, descifrar aquellos fenómenos más simples y generales que subyacen a la vida y aplicarlos en una simulación, ofreciendo así la posibilidad de analizar nuevos y diferentes sistemas realistas.

Actualmente está aceptado que ninguna simulación de vida artificial puede considerarse como viva, dado que no forman parte del proceso evolutivo de ningún ecosistema. Aún así, han surgido dos opiniones principales en cuanto al potencial de la vida artificial.

La primera, conocida como la posición fuerte de la vida artificial, defiende que “la vida es un proceso que se puede abstraer lejos de cualquier medio particular”. John

von Neumann. En relación a ello, Tom Ray, un ecologista que creó y desarrolló en 1991 el proyecto Tierra [10], afirmó que su proyecto no simulaba la vida de un ordenador, si no que la sintetizaba.

En contraste, la posición débil niega la posibilidad de generar un “proceso vivo” fuera de una solución química. Por ello sus investigadores tratan de simular procesos de vida para comprender la mecánica subyacente de los fenómenos biológicos, normalmente usando un modelo basado en agentes y buscando entender fenómenos sencillos.

Esta disciplina se caracteriza por el importante uso de programas informáticos basados en técnicas de inspiración biológica, como son los algoritmos genéticos, la programación genética, los enjambres de partículas, las colonias de hormigas o los autómatas celulares entre otros. Muchas de estas técnicas han crecido lo suficiente como para establecer comunidades muy fuertes de investigadores centradas en estos campos y poder tener sus propias conferencias.

Simular vida es realmente complejo, y por tanto la vida artificial es un punto de reunión para numerosas disciplinas que de una manera u otra tienen un punto de vista que aportar. Campos tradicionales como la física, las matemáticas, la biología, la sociología o la antropología son quizá de las más comunes y cada una de ellas aporta un enfoque diferente que permite explorar distintas áreas y estudiar diferentes aspectos importantes. Como disciplina científica, la vida artificial está cada vez más aceptada y presente en los distintos proyectos, aunque en sus comienzos no fue muy popular y hasta hace pocas décadas apenas recibía atención por parte de los biólogos, que se mostraban escépticos a que los aportes realizados por la vida artificial gozaran de fundamentos válidos, como es el caso de John Maynard Smith, reconocido biólogo que criticó ciertos trabajos de vida artificial en 1995 calificándolos de “ciencia sin hechos”.

Los orígenes de la vida artificial se remontan a la época de los 50, cuando John Von Neumann vio el potencial de la vida artificial e hizo una conferencia en el Simposio Hixon titulada “The General and Logical Theory of Automata”. En ella definía el concepto de “autómata” como cualquier máquina cuyo comportamiento provenía de la lógica paso a paso, combinando información desde el ambiente y su propia programación, añadiendo que al final se encontrarían organismos naturales que siguieran reglas simples similares. También mencionó que las máquinas se autoreplicaban, poniendo como ejemplo un brazo robótico que estuviera programado para construir un brazo robótico idéntico. Siguiendo esta idea, desarrolló junto a Stanislaw Ulam el primer autómata celular, con una complejidad muy alta fruto de su intención de conseguir que funcionara también como computadora universal tal y como definió Alan Turing.

Fue en la década de los 60 cuando el profesor de Cambridge, John Horton Conway, desarrolló el Juego de la Vida, puede que el autómata celular más famoso hasta nuestra época. Este proyecto cautivó a Christopher Langton que intentó actualizar el autómata celular de Von Neumann consiguiendo simplificarlo y obtener el primer organismo computacional autoreplicado en 1979. Al año siguiente, en la conferencia “Artificial

Life I” Langton anunció la primera descripción de el nuevo campo de estudio denominado vida artificial.

En el año 1982, el científico en computadoras Stephen Wolfram centró su atención en los autómatas celulares unidimensionales, observando cómo estos podían ser utilizados para explicar fenómenos naturales como la formación de las conchas marinas o el crecimiento de las plantas. Norman Packard, quien trabajó con Wolfram los usó para simular el crecimiento de los copos de nieve mediante reglas básicas, y en el año 87 el animador por computadora Craig Rernolds usó de manera similar simples reglas para simular el comportamiento de bandadas de pájaros consiguiendo soluciones muy similares a los presentados en la naturaleza. De hecho, la animación por ordenador es uno de los campos donde más se busca la simulación de movimientos naturales, ya sea en la forma de andar de los animales, o los movimientos que produce el viento en las plantas o el pelo.

Estos estudios de la vida artificial que buscan principios físicos y matemáticos para fenómenos naturales, han sido de gran interés y actualmente su presencia es muy conocida, especialmente en el mundo de los insectos, donde la mayoría de las construcciones de nidos o colmenas pueden describirse mediante ecuaciones diferenciales. Por otra parte, los comportamientos de insectos sociales como las hormigas también son un área donde la presencia de los estudios de vida artificial está tomando mucho protagonismo.

2.2 Trabajos relacionados

Cuando se habla de trabajos en el campo de la vida artificial, es necesario mencionar “Tierra” [10], desarrollado por el ecologista Thomas S. Ray a principios de los 90. Este proyecto consistía en una simulación por ordenador en la que los programas competían por uso de la CPU y acceso a la memoria, se caracterizaba por el uso de algoritmos genéticos y ha sido referencia de varios trabajos que han buscado objetivos similares con las mismas técnicas como Avida [3] o ALiS [8], un proyecto final de carrera realizado por alumnos de la Universidad Complutense de Madrid que buscaba conseguir una imitación de Tierra.

Por otra parte, Evolve 4.0 [12] es también un proyecto de referencia que usa algoritmos genéticos, fue creado en 1996 por Ken Stauffer y presentaba una simulación de autómatas celulares donde cada célula podía comportarse de forma independiente como un único organismo o, potencialmente, como una célula en un organismo multicelular digital, creciendo, moviéndose, comiendo, reproduciéndose y, finalmente, llegando a evolucionar con el tiempo.

Existen también numerosos proyectos basados en parámetros, es decir, los comportamientos o la eficiencia de los individuos están sujetos a una serie de parámetros que mutan. Un ejemplo sería Darwin pond [14], un sistema desarrollado en 1996 con el fin de investigar sobre la vida artificial planteando un mundo en el que los individuos

debían desarrollar una anatomía óptima para nadar (la manera en la que se desplazaban los individuos en el medio). De este proyecto surgió Gene Pool [13], con la misma temática pero con ciertas mejoras.

Un proyecto de vida artificial que, a diferencia de los anteriores, usa redes de neuronas artificiales es Polyworld [15]. Este sistema configura un entorno donde individuos poligonales deben luchar por su supervivencia, buscando comida, pareja de apareamiento o huyendo de depredadores. Los patrones de comportamiento que muestra cada individuo vienen derivados de su código genético que configura su red neuronal de toma de decisiones.

Desde un punto de vista más lúdico, en 2002 surgió AI.Planet [7], este proyecto comunitario consistía en la creación de un pequeño universo poblado de agentes inteligentes y elementos del entorno que interactuaran entre ellos para formar un complejo ecosistema.

Por último, hacer una mención especial a dos trabajos desarrollados por antiguos alumnos de la Universidad Carlos III de Madrid, “Simulador Gráfico de Vida Artificial” [11], de Daniel Vázquez Romero, y “Desarrollo de un Simulador de Vida Artificial Para el estudio de la evolución de Comportamientos Sociales” [9], de Julio Vadillo Muñoz. Estos trabajos son sustancialmente el mismo, con la diferencia de que el primero está más centrado en la recreación gráfica del sistema mientras que el segundo da más importancia a la complejidad de dicho sistema. En estos trabajos, principalmente en el segundo, el interés es variar ciertos parámetros del entorno y de los individuos de cada población con el fin de ver como evolucionan las comunidades. El estudio de estos trabajos ha sido especialmente importante porque, al igual que el presente trabajo, fueron presentados como TFC, están relacionados con el tema a tratar, y sujetos a críticas y propuestas de mejora. Sin embargo, al buscar trabajos anteriores sobre vida artificial en la universidad, estos fueron los únicos que contenían “Vida Artificial” en su título. Fueron presentados en 2008, por lo que se puede apreciar que este tema lleva casi 10 años sin recibir nuevos proyectos en la facultad.

Puede que no hayamos mencionado proyectos de Vida artificial que deberían tenerse en cuenta para la presente sección, sin embargo, su ausencia se debe a que no hemos encontrado dichos proyectos. Mientras que otras disciplinas de la Inteligencia Artificial gozan de alta popularidad, la vida artificial no parece tener una gran visibilidad en los últimos años, al menos en su perspectiva software, ya que proyectos de vida sintética si tienen buena presencia en las búsquedas.

2.2.1 *Critica al trabajo de J. Vadillo (2008)*

Este proyecto presentado como TFC en 2008 por Julio Vadillo Muñoz, ha servido como referencia para muchas de las cosas llevadas a cabo en el actual trabajo, no tanto por lo que se ha desarrollado en él, si no por lo qué no se ha desarrollado.

El diseño de Julio cuenta con varios parámetros que definen que tipo de criatura es cada individuo, no pretende asimilarla directamente con ningún animal o entidad natural, simplemente utiliza un nombre que sirve de etiqueta para que los individuos sólo se reproduzcan con miembros de su misma especie, y con una lista de metabolitos asimilables y metabolitos producidos establece las relaciones de depredador y presa, diferenciando así herbívoros, carnívoros o carroñeros. Este planteamiento es interesante en cuanto a que aporta versatilidad en la generación de individuos, sin embargo lo más criticable de ello es que al hacer esto, todos los individuos son, en esencia, iguales.

Como estudio evolutivo es interesante respecto a que a lo largo de las generaciones, podrán existir seudoespecies diferenciadas por aquellos genes que los tipos de alimentación hayan favorecido para la supervivencia. Pero sustancialmente, sólo el genotipo diferenciará unos individuos de otros, lo que no hace posible que haya características o comportamientos que diferencien a las especies, como puede ser la capacidad de escalar, hibernar o reproducirse mediante huevos.

Por otra parte, los vegetales son entidades especiales cuya única finalidad y función es servir de alimento a los individuos que puedan alimentarse de ellos, esto es criticable en cuanto a que no representa ninguna diferencia con una cesta de recursos que se rellena cada cierto tiempo si nunca se queda vacía. Los vegetales también son seres vivos que nacen, crecen, se nutren, reproducen y mueren, y como el resto de seres vivos, están sujetos a la evolución a lo largo de las generaciones, por lo que el hecho de haber ignorado ese aspecto de los vegetales es algo criticable en un proyecto de vida artificial.

Sin embargo, el proyecto de Julio estaba muy enfocado en las variaciones de población de los individuos animales, el poco interés en modelar las plantas como otro individuo es un detalle importante, pero justificable, además, por como se realiza la reproducción entre individuos, es apreciable que el interés de este trabajo no era emular comportamientos naturales de forma fiel.

En primer lugar, la reproducción a pesar de ser sexual, y por tanto necesitar de dos individuos de la misma especie, no contempla en ningún momento la sexualidad, como si todos los individuos fueran bisexuales. En segundo lugar, lo que motiva la reproducción son sólo dos cosas, que haya pasado mucho “tiempo” sin que el individuo se haya reproducido, o que la “personalidad” del individuo le lleve querer reproducirse. Con esto vemos que la intención del mecanismo de reproducción es conseguir que los individuos tengan descendencia, de hecho, esta descendencia nace inmediatamente y posee todas las facultades de sus progenitores, es decir, en este diseño no se ha tenido en cuenta ni la motivación natural de los individuos que motiva la reproducción, ni los recursos necesarios para engendrar un nuevo individuo, como son el tiempo de gestación, la energía necesaria, o los costes adicionales de criar las crías una vez nacen hasta que alcanzan la “edad adulta” y son capaces de sobrevivir por si mismas.

Aún con todo esto, es un proyecto basado en parámetros que cumple con su cometido, y hay que reconocer que la implementación de un entorno bidimensional, en

el que los individuos se valen de sus características genéticas para percibir el entorno y actuar, es una buena idea. El uso de árboles de decisión y alarmas para gestionar las acciones que el individuo realiza en cada momento es una solución bastante adecuada, y lo único que se merece destacar en este aspecto negativamente, es la implementación de la "personalidad". En el proyecto de Julio los individuos tienen unos valores numéricos que representan la personalidad, definiendo por ejemplo, si un individuo es más valiente, menos agresivo o muy lujurioso, pero la realidad es que esto no condiciona la toma de decisiones del individuo, si no que se usa para escoger una acción a realizar cuando el individuo no tiene ninguna necesidad que atender.

Por último, mencionar que a pesar de tener en su título "Para el estudio de la evolución de Comportamientos Sociales", la presencia de comportamientos puramente sociales es casi nula, ya que la mayoría de las interacciones producidas en el sistema son de depredador y presa, competitividad inconsciente basada en que el primero en llegar gana, y relaciones unilaterales con otros individuos.

2.3 *Vida artificial en la industria del entretenimiento*

A lo largo de las generaciones, los videojuegos casi siempre han tenido en mayor o menor medida elementos relacionados con la inteligencia artificial y han sido uno de los campos de aplicación más comercial fomentando su desarrollo, un ejemplo simple serían los marcianos de juegos como el clásico Space Invaders, donde si bien al principio dependían de un fuerte elemento aleatorio, han evolucionado para mostrar patrones de comportamiento más elaborados, por ejemplo, basados en árboles de decisión. Esto mismo se ha presentado en juegos 3D donde los patrones de comportamiento de los enemigos se modelaban mediante máquinas de estados donde el jugador con sus acciones modificaba las de los personajes no jugadores.

Dentro del amplio abanico de géneros en el mundo de los videojuegos, las técnicas aplicadas de la inteligencia artificial y, concretamente de la vida artificial, se han hecho más populares al ser de interés presentar comportamientos y escenarios más realistas. Un ejemplo es la cantidad de trabajos relacionados con la búsqueda de caminos que encuentran su principal aplicación en la robótica y en los videojuegos. Del mismo modo, son los videojuegos junto con la animación por ordenador las industrias que más invierten en algoritmos de movimiento de partículas para la simulación de proyectiles, fluidos, telas o cabello.

La vida artificial, al menos en su filosofía de modelado y simulación de la realidad encuentra en estas áreas su mayor aplicación comercial, debido al interés del público en observar entornos cada vez más realistas. Este realismo se presenta en el comportamiento de objetos inertes frente a distintas estimulaciones, como lo son el cabello frente al viento, una barca en la corriente de un río, o el comportamiento de un vehículo al tomar una curva en un terreno arenoso. Los procesos físicos y matemáticos que se presentan en estos casos pueden ser de utilidad para el entretenimiento, pero también son de interés para los diseños de simulaciones con fines de seguridad o mil-

itares, donde conseguir la mayor fidelidad de la simulación con la realidad es de vital importancia. Por otro lado, la representación de la realidad de forma gráfica tiene también interés para todas estas aplicaciones, sin embargo, es cierto que la vida artificial, al menos en principio, está centrada en el estudio de la vida, la evolución y los comportamientos de los seres vivos, por lo que no sería correcto decir que aquello que no se refiera a agentes vivos se puede considerar vida artificial.

Volviendo al tema de la simulación de seres vivos en videojuegos, es importante destacar que pocos proyectos abarcan en su totalidad la simulación de sistemas de vida artificial, si no que buscan dotar de comportamientos coherentes y realistas a ciertos elementos presentes en el juego con los que el usuario a de interactuar. Por ello presentaremos algunos títulos que han incluido técnicas de vida artificial en su desarrollo, y veremos que se puede aprender de ellos y como ha evolucionado el uso de estas técnicas en la industria.

Además consideramos muy importante dedicar tiempo a esta sección, ya que a diferencia de los proyectos académicos presentados y no presentados en la anterior sección, muchos de estos títulos son conocidos y permiten una toma de contacto fácil y diversa con el campo de la vida artificial, facilitando así que personas de un perfil menos académico o técnico puedan conocer y entender, en un contexto lúdico, el trabajo que conlleva la simulación de entornos naturales y el comportamiento de seres vivos.

2.3.1 *Creatures* (1996)

Creatures es una saga de juegos que, si bien fue iniciada en la década de los 90, sigue actualmente lanzando nuevos productos. Es uno de los juegos que más uso a hecho de las técnicas de vida artificial, proponiendo un universo donde el jugador debe encargarse de criar y educar a unas criaturas llamadas Norms.

Los Norms interactúan con el entorno para sobrevivir y evolucionar, así como para reproducirse entre ellos. Mientras tanto, el jugador se encarga de su educación medi-

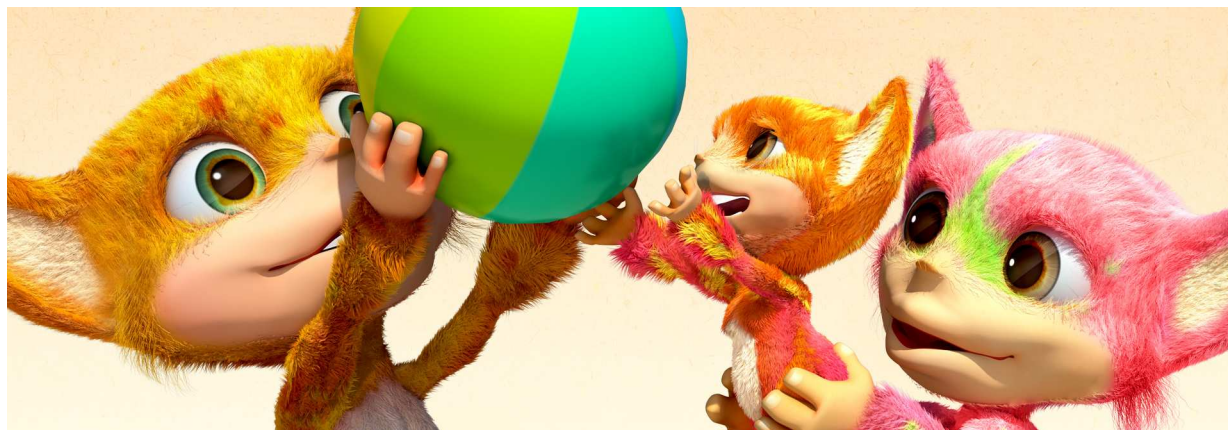


Figura 2.1: *Creatures*

ante influencias indirectas como recompensas o castigos. Cada Norm posee una red de neuronas autoentrenada con la que va modificando su comportamiento en base a las influencias del jugador y su propia interacción con el medio. Además, mediante Internet los jugadores pueden mezclar el código genético de sus norms con los de otros jugadores para aumentar la variedad genética de las criaturas.

Como proyecto de vida artificial se podría decir que *Creatures* es un juego realmente completo del que se podría aprender mucho, teniendo siempre en cuenta que el mundo y las criaturas presentadas son poco realistas. Sin embargo, desde un punto de vista de jugabilidad, el jugador es un ser omnisciente y ajeno que aunque influye en el mundo, realmente no forma parte de él.

2.3.2 *Harvest Moon* (1996)

Harvest Moon es también una saga de juegos que actualmente sigue sacando nuevas entregas. El jugador es un granjero que debe sacar su granja adelante, cortejar a alguno de los personajes solteros para casarse con él, cuidar animales y, en algunas entregas, luchar contra monstruos.

Lo interesante de esta saga que ha definido un género por si misma, es la complejidad de su mundo, tiene en cuenta las estaciones del año, la evolución de los cultivos o la hora del día, cada uno de los personajes secundarios tiene sus gustos y preferencias, así como sus rutinas. Por ejemplo, el dueño de la tienda de alimentos tiene su propia casa, de la que sale a una hora concreta para ir a trabajar a la tienda, la cual cierra al anochecer y en ese momento el personaje se dirige de nuevo a su casa. Los diálogos cambian según el momento del día o la estación del año, y también influye la relación que tenga el personaje jugador con ese personaje.

En cada edición, *Harvest Moon* ha ido aportando cambios a su jugabilidad, ampliando la cantidad de cultivos, incluyendo animales de granja, pesca, minería, entrenamiento y especialización de habilidad (cosa muy clásica de los juegos de rol), y lo



Figura 2.2: *Harvest Moon*

más interesante, patrones de comportamiento a sus personajes secundarios. Sin embargo, tras 20 años de su primera entrega, los personajes secundarios, es decir, la gente que vive en el pueblo y que es dirigida por la máquina, sólo ha pasado a tener rutinas. A diferencia de otros títulos como Pokémon donde cada personaje está constantemente en el mismo sitio, Harvest Moon incorporó a sus personajes rutinas en función de la estación y la hora del día, pudiendo encontrarles en su puesto de trabajo en horario laboral, en su casa durmiendo por la noche o en el bar las noches de sábado, además de adaptar las conversaciones a estas situaciones y la relación de amistad que tuvieran con el jugador. Sin embargo, todo esto no deja de ser una simulación completamente aparente, ya que los personajes se comportan así porque se les ha programado con el objetivo de que tenga sentido en el juego que pase eso, pero ninguno de estos comportamientos aporta más trascendencia que eso al juego.

2.3.3 *The Sims* (2000)

La saga “Los Sims” es, seguramente, el mejor ejemplo de vida artificial en el mundo de los videojuegos, ya que tiene en cuenta muchas de las cosas cuya falta está siendo criticada en esta sección. Los Sims es un juego de simulación en el que el jugador maneja a unos personajes (generalmente humanos) con características propias tanto físicas como psicológicas, estos personajes tienen deseos, necesidades y algo cercano a una personalidad. El objetivo del juego es construir objetos y casas donde los sims puedan vivir lo mejor posible y alcanzar sus metas.

En las primeras versiones el manejo era limitado a un personaje o dos completamente dependientes del jugador, pero en posteriores ediciones los personajes que en ese momento no estaba manejando el jugador eran relevados por la IA del juego que, claramente, al igual que el mundo estaba diseñada utilizando técnicas de vida artificial.

Además, el juego tiene un diseño especial al que su creador denomina “terreno inteligente” en el cual se asocian acciones y comportamientos a los objetos, permitiendo poder incorporar, a posteriori, nuevos objetos u oportunidades de juego.



Figura 2.3: *The Sims*

2.3.4 *Fable* (2004)

La propuesta de *Fable* consistía en un juego de rol occidental en el que al jugador se le presentaban constantemente decisiones morales que le hacían tender al bien o al mal según sus acciones.

Las aportaciones que podemos extraer de este proyecto en cuanto a vida artificial, es el uso de la influencia del jugador en los demás individuos. Según las decisiones que tomara el jugador, los personajes no jugadores reaccionaban de una manera u otra, influyendo en su comportamiento de manera considerable, como haciendo que se alejaran o acercaran en su presencia, que rebajaran los precios por ser el héroe del pueblo, o que la guardia le atacara al verle. Otra aportación destacable fue el comercio, cada producto del juego tenía un precio de mercado y este fluctuaba según hubiera escasez o abundancia, por lo que el jugador podía dedicarse a comprar productos que en una ciudad abundaban y venderlos en otra donde se pagaran bien debido a su escasez. Esto sería un aporte mayor al campo si esos productos realmente fluctuaran en base a una oferta y demanda real en vez de unos parámetros pseudoaleatorios del juego.

En el pueblo los personajes tienen roles, el herrero sólo vende o compra armas y el verdulero sólo hortalizas. Los productos que el jugador compra o vende aparecen o desaparecen del catálogo de productos en stock de cada tienda, y el comerciante tiene dinero limitado para hacer compras, por lo que a diferencia de otros títulos, el jugador no puede vender todo lo que encuentre al mismo personaje bajo la premisa de que como PNJ tiene dinero infinito. Sin embargo, esto a pesar de darle cierta gracia y coherencia al juego, no deja de ser, como se ha comentado anteriormente, algo dirigido al jugador y que no tiene ninguna relevancia fuera de este, por lo que realmente no se está creando un sistema de vida artificial con el que interactuar, si no una imitación añadida en bruto para mejorar la experiencia de juego.

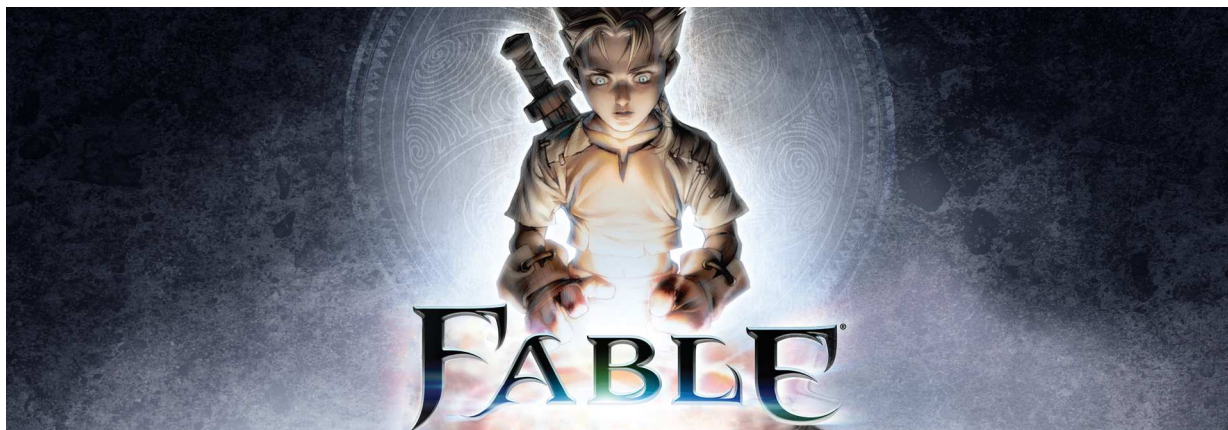
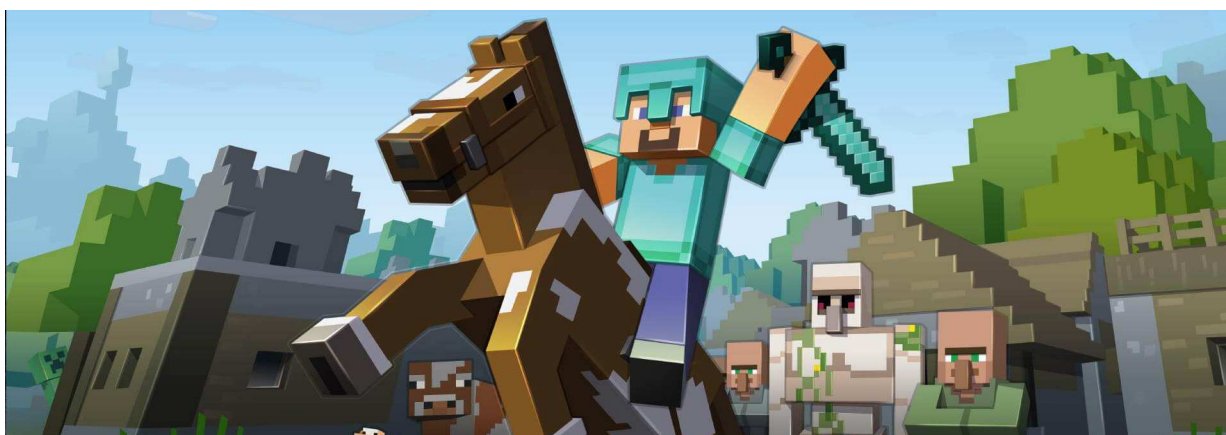


Figura 2.4: *Fable*

Figura 2.5: *Minecraft*

2.3.5 *Minecraft* (2009)

Minecraft es uno de los mejores ejemplos que se pueden encontrar actualmente en videojuegos que utilicen técnicas de vida artificial. Desde sus comienzos en 2009 ha ido sufriendo numerosos cambios que han añadido complejidad al mundo, ya sean criaturas, objetos o terrenos. Minecraft pertenece a ese género de juegos conocido como *Sandbox*, caracterizados por presentar un mundo libre en el que el jugador puede hacer lo que quiera sin limitaciones argumentales.

El juego posee numerosos seres vivos como cerdos o caballos, los cuales al morir dejan carne, también hay lobos que matan para obtener esa carne y comérsela, los conejos y las vacas comen hierba, y si están bien alimentados se reproducen, las crías son más pequeñas y débiles y después crecen, los árboles sueltan semillas que siembran nuevos árboles, y todo esto está también sujeto a comportamientos diurnos o nocturnos.

Dentro de la temática basada en cubos y centrada en la construcción y la exploración, Minecraft presenta un entorno complejo que en cada versión va incluyendo elementos que dotan de coherencia al mundo, haciendo que el jugador se plantee que aunque eso no sea necesario para la jugabilidad, es totalmente lógico, y es cuando se utilizan las técnicas de vida artificial de este modo, en el momento en el que empieza a desvanecerse la separación entre imitación de la realidad y simulación de vida.

2.3.6 *ARK: Survival Evolved* (2017)

A apenas un mes de la publicación del actual trabajo, ARK: Survival Evolved fue lanzado oficialmente para todas las plataformas. Este proyecto presenta un *sandbox* ambientado en un mundo natural, poblado por criaturas prehistóricas que el jugador puede cazar, domar, e incluso criar.

Los elementos de vida artificial son abundantes, pues existe una gran variedad de individuos con características comunes y específicas que representan a cada una de

las especies de dinosaurios. Todas ellas tienen un hábitat donde se sitúan, poseen atributos, necesidades, un inventario que depende de los atributos y la edad (al igual que en el diseño utilizado en el actual trabajo), un tipo de alimentación y la capacidad de reproducirse, entre otras cosas.

El mundo planteado en ARK: Survival Evolved cuenta con todo lo necesario para construir un sistema de juego donde los personajes no jugadores, en este caso los dinosaurios, y el entorno pudieran simular un ecosistema realista mediante técnicas de vida artificial. Sin embargo, aún siendo un proyecto de 2017, posee las mismas limitaciones de jugabilidad que muchos de los proyectos ya mencionados. El mundo y sus individuos están diseñados para que el jugador interactúe con él en calidad de única interacción relevante. Esto lo podemos apreciar en que los dinosaurios carnívoros atacan a otros dinosaurios, pero estas agresiones no están fundamentadas en una necesidad de conseguir alimento, de hecho, aunque algunos carnívoros van en manada, no muestran un comportamiento colaborativo, el cual es más carente aún en los otros individuos que jamás irán a socorrer a un individuo que esté siendo atacado a su lado ni aunque pertenezca a la misma especie.

Analizando detalladamente el comportamiento de los individuos, puede apreciarse una simple máquina de estados consistente en “si eres carnívoro, ataca a todo lo que veas”, o en “si no eres carnívoro, ataca sólo si alguien te agrede”.

Los carnívoros devoran a sus presas una vez han acabado con ellas, pero la comida que obtendrían no va a ninguna parte, por lo que sólo es una actuación que pretende imitar comportamientos lógicos. Además, los dinosaurios pueden criar, se cansan y necesitan comer, pero todas estas características parece que sólo entran en juego cuando el jugador domestica a un dinosaurio, momento desde el cual el dinosaurio empezará a sentir todas las necesidades propias de un ser vivo y será tarea del jugador cubrírse las. De la misma manera, la cría de nuevas generaciones es totalmente dependiente del jugador, hasta el punto de que este debe realizar acciones que provoquen el proceso de apareamiento entre individuos de la misma especie y distinto sexo, ocuparse de que el huevo sea incubado artificialmente en caso de que no sea una criatura mamífera, y una



Figura 2.6: ARK: Survival Evolved

vez nazca, criarla y cuidarla para que no se muera. Todos los individuos que hay en el mundo son generados por el mundo y aparecen directamente en él como criaturas adultas, por lo que el apareamiento sólo se produce por intervención del jugador.

Podemos ver gracias a este reciente proyecto, como la implementación de un autentico sistema de vida artificial en la industria del entretenimiento no ha está siendo llevada a cabo o, al menos, no está siendo de interés para la industria. Lo cual mantiene la puerta abierta a nuevos proyectos que quieran apostar por la explotación de las técnicas de vida artificial y crear sistemas más complejos y realistas que aquellos que simplemente incorporan elementos interactivos para los jugadores, y comportamientos interesados en únicamente teatralizar conductas naturales.

Capítulo 3

Fundamentos Biológicos y Etológicos

En esta sección se expondrán los conceptos de la obra *El Gen Egoísta* que han sido más relevantes para la realización del trabajo, sirviendo como introducción a la biología y a la etología, y permitiendo una mejor comprensión de las decisiones de diseño detalladas en la descripción del sistema.

3.1 Conceptos básicos

La creación de un sistema de vida artificial tiene una importante fundamentación biológica en su diseño, pues son las reglas que rigen la naturaleza las que se quieren simular. Sin embargo, este proyecto se caracteriza por centrarse más en aspectos etológicos, es decir, aquellos basados en el comportamiento de los individuos y de las comunidades.

Es necesario, por tanto, dedicar una pequeña sección a mencionar y explicar los aspectos y términos referentes a estas disciplinas, ya que serán muy frecuentes en el actual trabajo y conocerlos facilitará su lectura.

Por su importancia en ambos campos, empezaremos por lo que es un gen. Un gen es una secuencia de ADN que constituye la unidad funcional para la transmisión de los caracteres hereditarios. Esto podría traducirse como mínima unidad de información hereditaria, y teniendo en cuenta que la herencia es la transmisión de algo de padres a hijos, podemos referirnos a un gen como la mínima unidad de información que puede transmitirse entre individuos, y que además es común en todos ellos. Esta información codifica multitud de aspectos de los individuos, como pueden ser el metabolismo o el color de los ojos.

Es necesario diferenciar entre genotipo, el cual se refiere al conjunto de genes que posee un individuo, del fenotipo, que se refiere a como se manifiestan esos genes en un determinado ambiente. Por ejemplo, la altura en un equipo de baloncesto es una clara manifestación de los genes que posee cada uno de los integrantes, mientras que el grupo sanguíneo a pesar de pertenecer al genotipo, no recibe ninguna mani-

festación relevante en este entorno, por lo que aunque ambos rasgos son codificados en el genotipo, sólo la altura forma parte del fenotipo en estas circunstancias.

También es importante distinguir el genotipo del genoma, pues el primero se refiere al conjunto de genes que posee un individuo concreto y que aportan información concreta, mientras que el segundo hace referencia a los genes que componen un tipo de individuos o especie sin tener en cuenta variaciones entre ellos. Por ejemplo, todos los humanos poseen los mismos genes, si aceptáramos que existe un gen exclusivo para el color del pelo, todos los humanos lo poseeríamos, pues tenemos el mismo genoma, pero el genotipo de una persona concreta posee ese gen para el color negro mientras que otro individuo tiene el que produce el color castaño.

Lo más sencillo es pensar que los genes codifican características físicas más o menos apreciables en un determinado entorno, pero la realidad es que muchos de los procesos biológicos que suceden en los seres vivos también están codificados en el genotipo de cada individuo. Este es el caso de los comportamientos instintivos, nadie ha enseñado a un bebé, o incluso a ningún mamífero, como mamar, sin embargo todos saben hacerlo, de la misma forma que cuando la mayoría de las criaturas se queman al intentar tocar el fuego o algo muy caliente, sienten dolor e inmediatamente se apartan. Estos comportamientos están codificados de alguna manera en el genoma de la mayoría de los seres y es normal que sean comunes a casi todos los individuos porque si alguno careciera de esos instintos, posiblemente moriría antes de ser capaz de reproducirse.

En la naturaleza la principal forma de reproducción es sexual, esto significa que existen en una misma especie dos sexos diferenciados normalmente como macho y hembra. A la hora de reproducirse, ambos individuos sólo aportan la mitad del genoma necesario para formar un nuevo individuo, y en el proceso de reproducción es estrictamente necesario que participe un individuo de cada sexo. De esta forma, todo nuevo individuo poseerá el mismo genoma que sus padres pero la mitad de su genotipo pertenecerá a uno de sus progenitores y la otra mitad al otro. Es por eso que el nuevo individuo posee características comunes con ambos progenitores pero nunca es idéntico a uno de ellos. Existe también la reproducción asexual, que es otro tipo de reproducción en la que no es necesario un segundo individuo y tampoco existe la distinción entre machos y hembras. Cuando un individuo se reproduce asexualmente, lo que hace es crear un clon, ya que la totalidad del genoma la aporta el mismo individuo. Sin embargo, durante el proceso de reproducción, ya sea sexual o asexual, existe un fenómeno denominado mutación, por el cual los genes pueden sufrir cambios arbitrarios pasando a ser diferentes de los de cualquiera de sus progenitores. Estas mutaciones son muy valoradas en la naturaleza ya que es una de las causas más comunes para que se produzcan cambios, ya que si la mutación produce una característica o comportamiento beneficioso para la especie, esta podrá ser heredada por la descendencia.

Es ahora un buen momento para familiarizarnos con lo que es el acervo génico, un nuevo concepto que estará muy presente en actual trabajo. El acervo génico hace referencia a genes que están presentes en varios individuos pertenecientes a una comunidad o especie. Esto es de vital importancia ya que la mayor o menor presencia de un determinado gen o grupo de genes en varios individuos de una comunidad, conllevará una

tendencia colectiva a ciertos comportamientos o características. Por poner un ejemplo, en las Islas Galápagos existen quince especies diferentes de pinzones, un tipo de ave de la familia Fringillidae, conocidas como *Pinzón de Darwin*, estas aves son especialmente interesantes por estar estrechamente relacionadas pero con suficiente entidad para formar un nuevo grupo. El rasgo más característico de las diferentes aves era la forma del pico, que en cada una estaba adaptado para conseguir su principal fuente de alimento, el acervo genético de cada una de estas especies está caracterizado por la presencia de determinados genes que han ofrecido a sus portadores mejores capacidades de supervivencia que aquellos que carecían de esta información genética, por lo que la selección natural, también conocida como la supervivencia del más apto, ha favorecido a quienes poseían estos genes, pudiendo así estos reproducirse y aumentar la presencia de dichos genes en el acervo génico.

3.2 Comportamiento individual

Casi toda la documentación que se refleja en el actual trabajo esta basada, como ya se ha comentado varias veces, en los contenidos del libro *El Gen Egoísta* de Richard Dawkins, el cual aborda distintos comportamientos animales desde un punto de vista centrado en la preservación de la herencia genética por encima de todo, es decir, cada individuo tiene el objetivo de conseguir que sus propios genes trasciendan a la siguiente generación.

Todo individuo posee un material genético o genotipo, dichos genes, como ya hemos visto, influyen en las características y los comportamientos de los individuos, además se ha comentado como perduran o desaparecen a lo largo de las generaciones en base a la selección natural. Dawkins habla en su obra de un gen que representa el comportamiento egoísta, entendiendo egoísmo como anteposición de los intereses individuales a los del resto de individuos. Lo que es contrario al altruismo, definido como la anteposición de los intereses de otros individuos a los propios.

Dicho lo anterior, es trivial ver cómo aquellos individuos considerados altruistas, están presentando un comportamiento autodestructivo en favor del resto, mientras que los egoístas se aprovechan de este comportamiento sin jamás sacrificarse. Considerando ese rasgo egoísta como parte del genotipo, a lo largo de las generaciones será el gen egoísta el que consiga perdurar en el acervo génico mientras que el altruista está condenado a desaparecer por su propia naturaleza.

Este fenómeno es de vital importancia en el actual proyecto ya que después de la primera versión la investigación se centró en estudiar cómo surgía el trabajo en equipo, especialmente el cuidado de las crías. Tras contactar con expertos en el campo de la etología e investigar los contenidos de la obra de Dawkins, llegamos a la conclusión de que el cuidado de las crías es parte del comportamiento egoísta que busca la prevalencia de los genes.

La muerte es parte de la evolución, ya que si los individuos no perecieran llegaría un momento en el que no sería posible la presencia de otros nuevos por falta de recursos. Por otra parte, la reproducción establece el ritmo de evolución generando nuevos individuos. Dicho esto, es importante destacar tres factores que van a influir enormemente en las especies que convivan en el sistema de vida artificial. Estos factores son la longevidad, la fecundidad y la estabilidad del resultado.

Todo individuo nuevo requiere poder sobrevivir en el medio al menos el tiempo suficiente para reproducirse, si este poseyera defectos importantes desde su nacimiento o su organismo no estuviera adecuado al medio, moriría. La fecundidad hace referencia a la cantidad de descendientes producidos tras cada apareamiento, así como los tiempos entre apareamientos y los periodos de cinta. La longevidad se refiere al tiempo que va a sobrevivir un organismo desde la madurez sexual hasta la muerte o el tiempo necesario para alcanzar dicha madurez sexual. Una situación que ilustra perfectamente la importancia de estos factores consistiría en 2 razas de individuos donde los primeros son más longevos, pero los segundos tienen un mayor índice de fecundidad. Los primeros, vivirán durante 100 unidades de tiempo, de las cuales las 20 primeras serán de desarrollo y las siguientes de madurez sexual. Una vez alcanzada la madurez sexual, los individuos de esta primera raza podrán reproducirse, tras lo cual necesitan que transcurran 10 unidades de tiempo que representarían el periodo de cinta, una vez este concluya, traerán al mundo 2 nuevos individuos, y en la misma unidad, podrían comenzar de nuevo a reproducirse para generar otro par de individuos pasadas las 10 unidades de tiempo que dura la cinta. Por contra, los segundos vivirán tan sólo 50 unidades de tiempo, pero al reproducirse producirán 4 descendientes. Para ilustrar mejor estos conceptos, se ha realizado una pequeña simulación donde un individuo de estas dos razas y otro de una tercera, que destaca por alcanzar rápidamente la madurez sexual, viven durante 250 unidades de tiempo. (ver Tabla 3.1).

Individuos	Longevidad	Fecundidad	Madurez Sexual	Población final
Individuo A	50	4	20	4400
Individuo B	100	2	20	760
Individuo C	30	2	10	12352

Tabla 3.1: Fecundidad, longevidad y madurez sexual

Viendo los resultados que se muestran en la Figura 3.1, queda claro que lo que más importa en términos de reproducción es la edad de madurez sexual. Tanto la madurez como la fecundidad permiten aumentar la población de manera exponencial, sin embargo una menor madurez permite la reproducción más rápido, y eso es preferible a la cantidad de individuos, al menos en este ejemplo.

En la reproducción dos de las cosas más importantes es el “cuándo” y el “cuánto”, en un mundo ideal, sería preferible reducir el tiempo necesario para engendrar una nueva generación y aumentar la cantidad, pero la realidad es que en la naturaleza prevalecerán aquellos individuos que encuentren el mejor equilibrio en estos parámetros en función de sus recursos, y evidentemente, serán estos individuos los que consi-

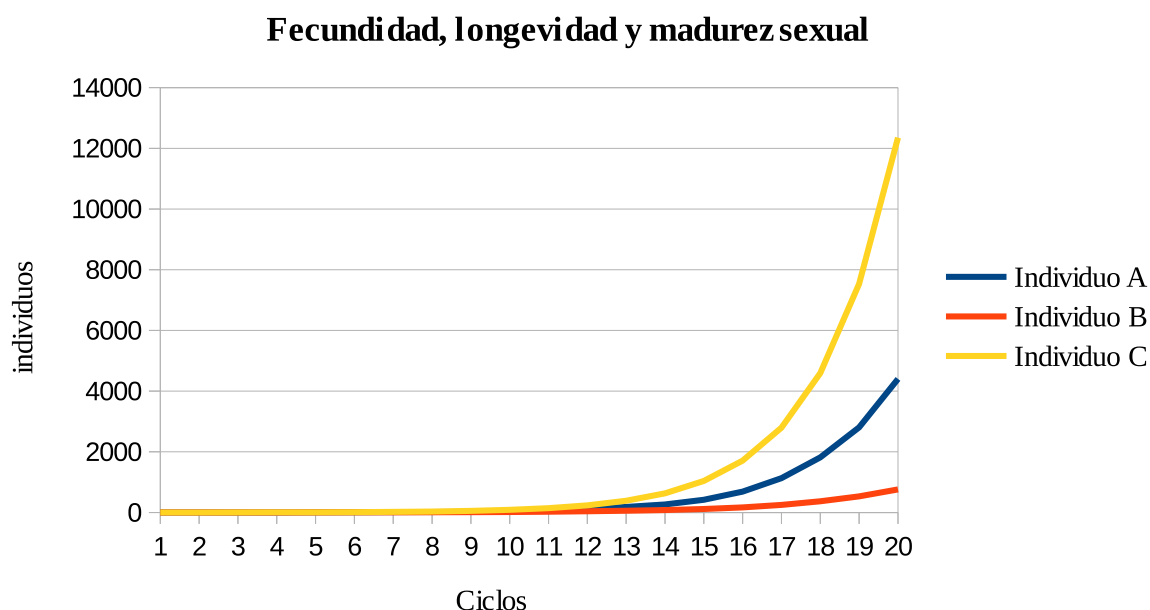


Figura 3.1: Fecundidad, longevidad y madurez sexual

gan que sus genes prevalezcan y por tanto los que predominarán en el acervo génico. En muchos animales, los nuevos individuos necesitan de sus progenitores para superar la infancia, ello implica construir nidos, alimentar a las crías, protegerlas... si las generaciones son demasiado grandes, cada individuo accederá a una fracción tan pequeña de los recursos proporcionados por los padres que posiblemente no sobrevivirá, o lo hará en peores condiciones que aquellos individuos criados por padres más prudentes que prefirieron una cantidad menor en mejores condiciones. Además, si en la frecuencia con la que los individuos se aparean, no se tiene en cuenta al resto de individuos o el medio en el que se habita, se darán también situaciones de sobrepoblación por la falta de recursos.

A lo largo de las generaciones los individuos realizan un pequeño control de natalidad basado en la idea de conseguir la mayor expansión de su propia herencia genética, la cual sólo se consigue si los nuevos individuos sobreviven lo suficiente como para reproducirse. Como también hay que tener en cuenta la existencia de depredadores, muchos animales generan camadas con cierta cantidad de individuos extra ya que saben que no todos llegarán a la edad adulta. De la misma manera, como criar un hijo no deja de ser una inversión de recursos, se dan casos de abandono en los que los progenitores deciden dejar de invertir recursos en alguna de las crías y centrarse en sacar adelante al resto de la descendencia o a una nueva generación.

3.3 Comportamiento colectivo

En este punto de la investigación ya existe una motivación para cuidar de las crías, la preservación de los genes, el siguiente punto es la forma en la que se gestiona la cooperación. Para que esta se dé es imprescindible tener algún sistema de comunicación, entendiéndose por comunicación un tipo de acción realizada por una entidad que influye directamente en el comportamiento o en el estado de otra. Un ejemplo claro sería el piar de los polluelos que indica a su madre la necesidad de estos de recibir alimento. Este comportamiento viene definido en los instintos básicos, o para una mejor similitud con el tema actual, con la presencia de ciertos genes en el genotipo del individuo. Es evidente que aquellos individuos que puedan emitir un mensaje pidiendo alimento tendrán más posibilidades de no morir de inanición, así como aquellos que sepan interpretar las peticiones de sus crías tendrán ventaja en cuanto a conseguir que estas sobrevivan y así sus genes perduren. La supervivencia del más apto es lo que prima en la naturaleza y por tanto lo que se quiere emular en los sistemas de vida artificial.

Dicho lo anterior, es conveniente pararse a hablar de los genes que “cooperan”, es decir, genes que codifican cualidades o capacidades que sólo son beneficiosas en caso de presentarse ambas. Un interesante experimento realizado por Rothenbuhler que cita Dawkins para ilustrar esto consiste en varias colonias de abejas melíferas (que producen néctar y miel), las cuales pueden sufrir una enfermedad infecciosa denominada loque [5]. La raza empleada por los apicultores tiene menos probabilidad de contraer esta enfermedad por la simple causa de que las abejas son capaces de detectarla, remover la capa de cera que cubre una celda de la colmena, y extraer la larva para arrojarla fuera de dicha colmena antes de que se produzca la epidemia. Abejas de esta colonia (llamadas “abejas higiénicas”) fueron cruzadas con otras que carecían de esas capacidades, fue necesario volver a cruzar esta nueva generación con las abejas higiénicas, y de esa nueva descendencia surgieron tres grupos, algunas realizaban el proceso completo, otras no y el tercer grupo sólo perforaba las celdillas, pero no retiraba las larvas enfermas. Rothenbuhler al ver esto conjeturó que quizá el comportamiento de perforar las celdas y el de extraer las larvas venía dado por genes distintos, por lo que perforó el mismo las celdas y entonces la mitad de las larvas no higiénicas continuaron con el proceso arrojando las larvas, siendo presumible que estas sólo poseían el gen correspondiente a arrojar las larvas pero carecían del de perforar las celdas, de forma análoga al otro grupo.

Viendo esto se puede apreciar la importancia de que estos dos genes asociados a comportamientos distintos necesarios para un proceso, solo tienen futuro si se presentan juntos ya que la posesión de ninguno o solo uno de ellos no evitará la epidemia y producirá graves daños en la colmena y, por tanto, en las probabilidades de que estas abejas consigan aumentar la presencia de sus propios genes en la comunidad.

Como se mencionaba anteriormente, es de vital importancia que los progenitores cuenten con las herramientas y motivaciones para cuidar de sus crías hasta que estas sean capaces de sobrevivir por si mismas y dar lugar a nuevos individuos que trasciendan el material genético. Sin embargo, aparecen varias incógnitas sobre hasta

qué edad y con cuánto sacrificio se va a cuidar de una cría. Por ejemplo, ¿se le dará toda la comida posible aunque eso signifique que el propio progenitor pase hambre? o ¿Merece la pena dar la vida por que la cría sobreviva? Dawkins plantea un cálculo matemático para hallar la distancia genética entre familiares, y, en base a esto, obtener un aproximación de la cantidad de material genético del individuo que puede estar presente en alguno de sus familiares. Desde el punto de vista de la supervivencia genética, lo importante no son los individuos sino los genes, y en caso de existir un gen para el altruismo entre familiares, es trivial que este gen se extenderá en el acervo génico.

Si un individuo se sacrifica para conseguir que varios familiares suyos, por ejemplo diez, no mueran, se perderá una copia del gen, pero se estarán salvando diez. Se podría decir que para un individuo es preferible la supervivencia de varios familiares cercanos que la suya propia. Pero es necesario plantear cuanta similitud génica hay realmente entre dos individuos. Dawkins plantea en su obra una forma simple de calcular la similitud del genotipo que poseen dos individuos en base a su parentesco. Lo primero para explicar este cálculo es establecer que un individuo posee una distancia 1 consigo mismo, y poseería también distancia 1 con un gemelo idéntico o un clon, ya que compartirían exactamente el mismo genotipo. Dada la naturaleza de la reproducción sexual, un hijo tiene la mitad de los genes de cada uno de sus padres, por lo que todo individuo posee, normalmente, una distancia de $\frac{1}{2}$ con cada uno de sus padres, y estos a su vez con cada uno de sus hijos. Dicho esto, podemos establecer que el término «distancia genética» hace referencia a lo cercanos o lejanos que son dos parientes. De la misma manera, podemos decir que los individuos más cercanos tendrán entre ellos más genes en común que con parientes más lejanos.

Los hijos poseen, sin tener en cuenta mutaciones, exactamente la mitad de los genes de cada uno de sus dos padres dada la naturaleza de la reproducción sexual en la que cada progenitor aporta la mitad del genoma. En mayor o menor medida, probablemente dos hermanos tendrían la mitad de sus genes en común. Si uno de ellos, llamémosle A, tuviera un hijo B con otro individuo, B y A compartirían la mitad de sus genes, y dado que A compartía con su padre la mitad de los genes, se puede inferir que B compartirá aproximadamente $\frac{1}{4}$ de sus genes con sus abuelos, es decir, los padres de A. Viendo la relación entre familiares como un árbol genealógico (Figura 3.2, la cantidad de saltos entre parientes que habría entre dos individuos sería su distancia generacional, por ejemplo, B tenía un tío, su padre es un salto, sus abuelos otro, y desde sus abuelos, es necesario otro salto más (esta vez hacia la descendencia) para localizar a su tío. Han sido necesarios 3 saltos, lo que significaría calcular $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ o $(\frac{1}{2})^3$. Sin embargo esto sería correcto para una relación de biznietos, en la que el único familiar en común es el bisabuelo, en el ejemplo anterior, A y su hermano tienen dos padres, por lo que B tienen en común genes de su abuelo y su abuela. Al tener más de un familiar en común, hay el doble de genes compartidos. Dicho esto, la fórmula que Dawkins establece para calcular la distancia generacional y, por tanto, la similitud genética, consiste en, siendo n el número de parientes comunes, y s el número de saltos entre parientes en el árbol genealógico:

$$n \times \left(\frac{1}{2}\right)^s$$

Dawkins utiliza este cálculo de la distancia genética para cuantificar como de valioso es un individuo para otro en cuanto a herencia genética, para un padre un hijo no sería más valioso que el mismo, ya que sólo posee la mitad de los genes, pero sacrificarse por dos hijos sería equivalente a salvarse el mismo, de la misma forma que lo sería si fueran 4 nietos. Para que esto tenga futuro, también se debe tener en cuenta otros factores como la edad o la esperanza de vida, ya que un padre joven podría preferir sacrificar dos hijos fácilmente sustituibles que sacrificarse el mismo, mientras que para un abuelo que ya no puede hacer nada más por aumentar su presencia genética en la comunidad, podría ser preferible sacrificarse por uno de sus nietos.

Es importante matizar que este cálculo no vale para todos los seres, o para aquellos individuos con relaciones incestuosas.

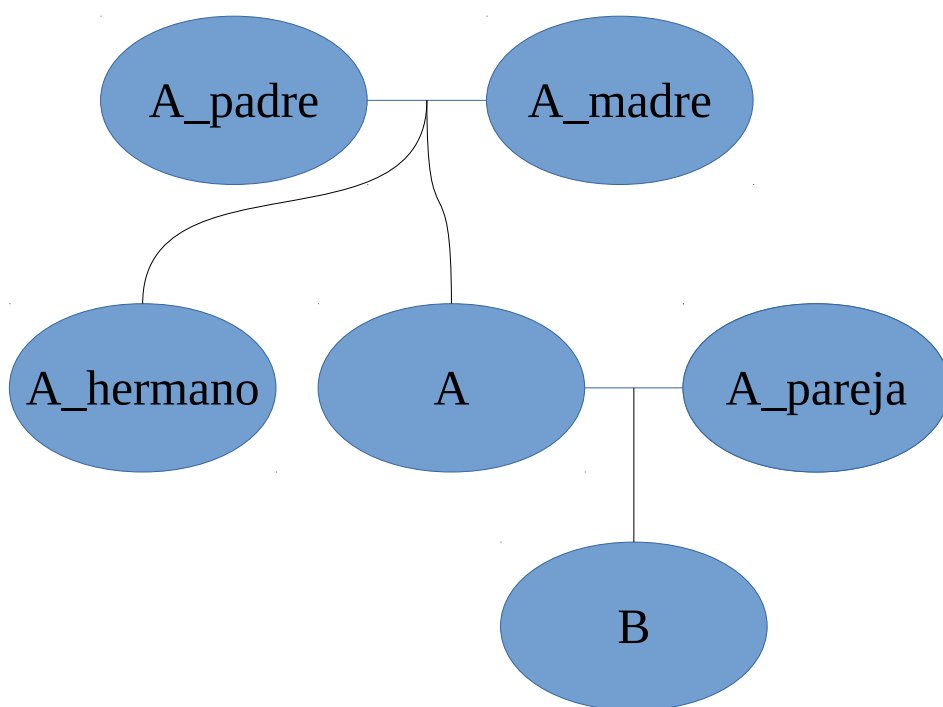


Figura 3.2: Árbol Genealógico de A

3.4 Estrategias Evolutivamente Estables

Por último, mencionar el concepto de *estrategia evolutivamente estable (EEE)*, un fenómeno fundamental en la naturaleza y de gran interés académico, que hace referencia a la mejor estrategia a seguir por un individuo en función de lo que el resto de la población esté haciendo. Este concepto fue introducido por Maynard Smith y tiene en gran consideración la teoría de juegos.

En la naturaleza los individuos están constantemente tomando decisiones, y esas decisiones a menudo tendrán en cuenta a otros individuos. Dawkins dedica un capítulo de su obra a este tema, exponiendo la agresión entre individuos como un dilema entre el coste y el beneficio que supone llevar a cabo un enfrentamiento. Como hemos comentado varias veces, en una población cada individuo busca potenciar lo máximo posible su propio éxito, por lo que es de interés para ellos encontrar una estrategia que cumpla ese cometido y así posean mayores posibilidades de supervivencia.

Una estrategia evolutivamente estable o EEE, es definida como una estrategia que, si la mayoría de la población la adopta, no puede ser mejorada por una estrategia alternativa. Con el fin de exponer este concepto, consideraremos uno de los casos hipotéticos más simples de Maynard. En él existen dos estrategias diferentes llamadas, halcones y palomas. Todo individuo será calificado como halcón o paloma según la estrategia que utilice. Los halcones lucharán siempre tan dura y desenfrenadamente como les sea posible, retirándose sólo cuando se encuentren gravemente heridos. Por otra parte, las palomas se limitarán a amenazar de forma digna y convencional, pero jamás dañaran a otro individuo. Si un halcón se enfrenta a una paloma, está huirá rápidamente sin ser dañada. Si dos halcones se enfrentan, lucharán hasta que uno de los dos muera y se retire gravemente herido. Por último, dos palomas que se enfrenten se limitarán a asumir una postura intimidante durante un largo periodo de tiempo, hasta que una de ellas se canse o decida no molestarse más y, por lo tanto, ceda. Asumiremos que los individuos no pueden saber previamente si su contrincante es halcón o paloma, y que tampoco guarda recuerdos de batallas pasadas por las que guiarse.

Cuando Dawkins enuncia este ejemplo, asigna arbitrariamente «puntos» a los contendientes según los resultados de su enfrentamiento. Por vencer se obtienen 50 puntos, acabar gravemente herido supone una penalización de -100 puntos, y perder el tiempo en una disputa conlleva una penalización de -10 puntos. Puede entenderse que estos puntos representan las posibilidades de supervivencia de un individuo, por lo que cuanto mayor sea la puntuación más genes dejará tras de sí en el acervo génico. Recordemos que la finalidad de estos valores numéricos es poder pensar acerca del problema y acercarlo más a un planteamiento matemático de la teoría de juegos.

En esta población los halcones siempre vencerán a las palomas, pero la pregunta importante es si la estrategia de los halcones es evolutivamente estable o lo es la de las palomas. Si alguna de las dos lo fuera, la mejor opción para los individuos sería aten-

erse a ella, pero como veremos a continuación, ninguna de las dos es evolutivamente estable por sí sola.

Si planteáramos una población en la que todos son palomas, los enfrentamientos se resolverían sin heridos limitándose a duelos donde el perdedor es el primero en ceder. El ganador del duelo obtendrá 50 puntos aunque sufre una sanción de -10 puntos por el tiempo empleado, sin embargo el perdedor únicamente sufrirá la penalización de -10 puntos por el tiempo empleado sin resultados. Si una paloma ganará como promedio la mitad de sus contiendas, su resultado final sería el promedio de +40 y -10, es decir, +15 puntos.

Supongamos ahora que en esta población surgiese un halcón mutante. Dado que es el único halcón de la población, obtendría +50 puntos en todas sus contiendas, mejor que la puntuación media de las palomas que era +15. Con esta considerable ventaja los genes de los halcones se esparcirán rápidamente a través de la población. Sin embargo, como resultado de esta ventaja cada halcón ya no puede contar con que siempre se enfrente a una paloma. Si supusiéramos el caso contrario, donde todos los individuos son halcones, la puntuación media de estos sería el promedio entre +50 y -100, lo que equivale a -25 puntos, si surgiera una paloma mutante en esta población, evidentemente, no podría ganar ninguna de las contiendas, pero las palomas huyen inmediatamente, y eso supone un promedio de 0, el cual es mayor que el promedio de los halcones, que era -25, por lo que serían los genes de las palomas los que conseguirían esparcirse mejor a través de la población.

Puede parecer que las poblaciones oscilarían constantemente, pero Dawkins argumenta que existiría en este caso concreto, una relación estable entre ambos individuos, la cual consistiría en $\frac{5}{12}$ palomas y $\frac{7}{12}$ halcones. Cuando se alcanza dicha relación estable, el resultado promedio de los halcones es exactamente igual al resultado promedio de las palomas. Por tanto, la selección no favorece a uno más que a otro. Sin embargo, si cualquiera de las poblaciones empezara a elevarse alejándose de esta relación, el otro bando lograría una ventaja adicional que provocaría la vuelta a la relación estable.

Es importante destacar que esta situación no es la más beneficiosa para sus individuos, pues si todos los individuos optasen por ser palomas, su beneficio promedio sería mayor que el obtenido en la relación estable. Por desgracia, la intromisión de un sólo halcón supone un éxito tan rotundo que nada puede impedir la evolución de los halcones.

En los humanos es común llegar a acuerdos de este tipo para que todos los individuos salgan beneficiados, por ejemplo, un pacto sobre el precio del pan en un municipio(suponiendo que todos los panaderos ofrecen exactamente el mismo tipo de pan), permitiría a todos los vendedores de pan obtener un beneficio considerable. Sin embargo, si alguno de los panaderos optara por romper el pacto y bajar el precio de su pan, acapararía la mayoría de la demanda, siendo para él mismo esta estrategia mucho más enriquecedora que mantener el acuerdo. Pero como en el caso anterior, esto haría que otros panaderos optarán por la misma estrategia en busca de un mayor beneficio, lo que terminaría desembocando en precios tan bajos por parte de todos los panaderos

que serían insostenibles para ninguno de ellos, por lo que sería necesario reformular el pacto.

La única estrategia que persista será aquella que, una vez evolucionada, no pueda ser mejorada por ningún individuo que difiera de ella. Aunque las condiciones cambien, una vez se evolucione hasta alcanzar de nuevo una EEE, esta permanecerá y cualquier individuo que difiera de ella será penalizado. Una EEE es estable, no porque sea especialmente buena para los individuos que la utilizan, sino simplemente porque es inmune a este tipo de traiciones recientemente mencionadas.

Capítulo 4

Descripción del sistema

En el capítulo actual se describe el framework desarrollado con todas las implicaciones biológicas tenidas en cuenta para su diseño. El sistema ha sido implementado en la versión 3.4 de Python. Las razones por la que se escogió este lenguaje fueron, en primer lugar, porque Python es muy flexible al ser un lenguaje interpretado, usar tipado dinámico y ser multiplataforma, lo que permite una implementación rápida y eficaz, y además favorece la lectura del código, lo que sumándolo a que es multiplataforma, ofrece muchas facilidades en el uso y la colaboración de terceros. En segundo lugar, Python es actualmente muy popular y se utiliza en muchísimos proyectos de inteligencia artificial, poseyendo un amplio catálogo de librerías para el tratamiento de datos o la integración de multitud de herramientas de inteligencia artificial, por lo que consideramos buena idea utilizarlo también en este proyecto tan relacionado con esa disciplina. Por último, es un lenguaje con el que, como autor, me siento cómodo y sabía que me permitiría desarrollar el proyecto sin problemas.

El primer elemento a mencionar sobre el sistema desarrollado, es el utilizado para definir el mundo. El sistema estructura el mundo en territorios, los cuales definen cada uno de los terrenos sobre los que se desarrollará la simulación. Ligados al terreno están todos los elementos que componen el ecosistema, es decir, por una parte los seres vivos como las plantas, los conejos y los zorros, y por otra parte, características propias del terreno, como accidentes geográficos o climáticos. En el actual proyecto los principales territorios se caracterizan por albergar 3 tipos de seres vivos, zorros, conejos y plantas, por disponer o no de madrigueras naturales que servirán a los conejos para esconderse de los depredadores, y por un límite respecto a la cantidad de plantas que pueden crecer en el territorio, lo que representa la cantidad de agua, recursos minerales y condiciones climáticas del territorio en cuestión.

Los tres seres vivos forman la población que habita estos territorios, entre ellos existen relaciones de presa y depredador, pues los conejos se alimentan de las plantas y los zorros de los conejos. A lo largo de su existencia, estos individuos buscarán la manera de sobrevivir en un determinado territorio, y de sus características y decisiones dependerá que su propia especie pueda sobrevivir en el mundo.

Las características vienen definidas por el genoma, es decir, los genes que poseen los individuos de una misma especie y que son responsables de que cada ser sea como es y pueda hacer lo que hace. Sin embargo, la complejidad biológica del ADN de un ser vivo escapa completamente del ámbito en el que se enmarca este proyecto, por lo que es necesario abstraer el genoma a una serie de atributos que, aun siendo una enorme simplificación de lo que es el genoma de un ser vivo, sirven para configurar las capacidades de los individuos y los resultados de aquellos fenómenos biológicos que se dan en el sistema.

Las plantas que poblan los territorios no representan ningún vegetal concreto, sino una abstracción de los seres del mundo vegetal. Su vida consiste en nutrirse del medio ambiente hasta crecer lo suficiente como para poder reproducirse. Su capacidad de asimilar dichos nutrientes viene definida en su cromosoma, y como se ha comentado anteriormente, la obtención de los nutrientes viene dada por las características del territorio, siendo en la actual versión del proyecto, una simplificación que consiste en la limitación de plantas que pueden convivir en el mismo territorio. Cuando asimilan nutrientes, las plantas crecen, y es también un gen el que define cuanto deben crecer hasta ser capaces de reproducirse, a partir de ese momento, en vez de seguir creciendo, esparcirán semillas que harán crecer nuevas plantas. En la naturaleza la mayoría de las plantas se reproducen sexualmente, sin embargo, las plantas que poblan los territorios del actual proyecto utilizan una reproducción asexual, por lo que al esparcir las semillas, nacerán nuevas plantas, en principio, idénticas a la original.

Por otra parte, los conejos y los zorros tienen un genoma idéntico y algunos atributos que no poseen las plantas, como energía, la cual tendrán que emplear para hacer acciones, o la edad, que condicionará sus capacidades y será una causa de muerte natural. Al igual que las plantas, los zorros y los conejos deben nutrirse del medio ambiente hasta crecer lo suficiente como para poder reproducirse, con la diferencia de que el alimento de los zorros serán los conejos, y el de los conejos las plantas. Además, la reproducción de ambos es sexual, por lo que requieren de otro miembro de la misma especie y distinto sexo para poder reproducirse. Cuando se realiza el apareamiento entre dos animales, la hembra pasa a estar en cinta, y durante el tiempo que esté así no podrá volver a aparearse y además gastará más energía según avance el embarazo.

El genoma que utilizan los conejos y los zorros consta de los siguientes genes:

- **Fuerza:** Representa la fuerza física del individuo, la cual se usa en la versión actual para determinar el tamaño del inventario de un animal, o dicho de otra manera, la cantidad máxima de alimento que puede poseer.
- **Destreza:** Representa lo hábil que es un individuo para recolectar alimento, cuanto mayor sea este atributo, más cantidad de alimento consigue el individuo cuando utiliza la acción de obtener comida.
- **Constitución:** Representa la complexión de un individuo, siendo relevante para el tamaño del inventario y la energía máxima. Además, en el caso de los conejos, influye en la cantidad de alimento que obtiene un zorro cuando lo caza.

- **Velocidad:** Representa lo rápido que es un individuo a la hora de realizar sus acciones, siendo los individuos más veloces los que actúan antes.
- **Inteligencia:** Representa lo eficaz que es un individuo aprovechando los recursos, obteniendo recursos adicionales cuando se obtienen alimentos, también influye en la mejora de algunas habilidades.
- **Percepción:** Representa la capacidad de un individuo para obtener información de su entorno. Los individuos más perceptivos, cuando deben escoger que acción realizar, conocen las acciones que van a realizar los individuos menos perceptivos que ellos, por lo que pueden usar ese conocimiento para reaccionar a esas intenciones.
- **Esperanza de Vida:** Representa la cantidad de turnos a partir de la cual el individuo tiene probabilidades de morir, es decir, cuando la edad del individuo alcanza el valor de la esperanza de vida, cada turno que viva irá incrementando las posibilidades del individuo de morir de viejo.
- **Fecundidad:** Representa el tamaño de la camada que puede nacer cuando un individuo se reproduce. Se tienen en cuenta los valores de los dos progenitores.
- **Madurez Sexual:** Representa la edad a partir de la cual los individuos dejan de ser crías y pueden realizar las acciones de un individuo adulto.

Por otro lado, el genoma que utilizan las plantas se compone de los siguientes genes:

- **Esporas:** Representa la cantidad de individuos que puede producir una planta cuando se reproduce. Para que la planta pueda reproducirse, debe poseer su salud máxima.
- **Madurez:** Representa la salud máxima de la planta. Por lo que se puede decir que una planta que posea toda su salud ha alcanzado la madurez y, por tanto, puede reproducirse.
- **Crecimiento:** Representa la cantidad de salud que regenera la planta cada turno, además si una planta regenera salud suficiente como para alcanzar su valor de madurez, la cantidad de crecimiento no utilizada será empleada para generar esporas proporcionalmente.

Es notable que los animales requieren distintos comportamientos para poder sobrevivir, además hay comportamientos que son exclusivos de zorros, como cazar conejos, o exclusivos de conejos, como esconderse de los zorros, de la misma forma que si se incluyera en el mundo algún ave, esta poseería comportamientos exclusivos como volar o incubar huevos. Los comportamientos dependen no sólo del individuo si no también del territorio, y todos existen con la finalidad de cubrir una necesidad o deseo.

Las necesidades claramente son encontrar comida y alimentarse, reproducirse es un deseo, ya que esto sólo es posible cuando las necesidades están en su mayoría cubiertas, haciendo referencia así, a la inversión de recursos que conlleva criar a una cría comentada en los fundamentos biológicos. Después, los conejos tienen dos comportamientos exclusivos que están supeditados a la presencia de los zorros y de las crías, estos son, esconderse de los zorros, o poner a las crías a salvo de los zorros.

Como comentábamos en los fundamentos biológicos, las acciones que decide hacer un individuo, en cierta medida están condicionadas por su genotipo, siendo este el responsable de que en una determinada situación elija o no responder de una manera concreta. Los animales del mundo que se está simulando tienen en cuenta su propio estado, priorizando ciertos comportamientos en base a la necesidad, pero la necesidad, como ya se ha comentado, es algo subjetivo, y mientras que un individuo puede considerar reproducirse con cierta cantidad de energía, podría haber individuos que optarán por no hacerlo hasta alcanzar una cantidad cercana al máximo de su energía, o incluso a la inversa. Esto conllevaría una evolución del acervo genético que favorecería a aquellos individuos cuyas decisiones, o mejor dicho, cuyos genes para la toma de decisiones, aumenten en mayor medida las posibilidades de sobrevivir y reproducirse. Pero por ahora, el genoma de los individuos no incluye genes que influyan en la toma de decisiones, por lo que todos los individuos utilizan el mismo patrón de toma de decisiones para escoger que acción posible es la más beneficiosa en un momento dado. Incluir genes que influyeran en esta toma de decisión es una de las principales líneas de desarrollo futuras, ya que como vimos en los fundamentos biológicos, existen genes con esa funcionalidad y, además, son bastante relevantes. En la versión actual no se incluyeron ya que para el cumplimiento de los objetivos resulta más adecuado.

Concretamente, el principal objetivo que se buscaba conseguir en la simulación era el cuidado de los progenitores hacia sus crías. En el sistema, cuando las crías nacen, tienen sus acciones limitadas a comer y pedir comida, ya que no están preparadas físicamente para nada más, lo que es bastante natural, ya que en la naturaleza la mayoría de los animales, al nacer apenas tienen facultades, de hecho algunos como los felinos nacen con los ojos cerrados y no son capaces de abrirlos y valerse de la visión hasta cierto tiempo después, por lo que es natural que sean los progenitores, en su afán de que sus genes trasciendan como comentábamos en los fundamentos biológicos, los que se ocupen de alimentar a sus crías y, si es necesario, protegerlas de los depredadores hasta que estas tengan edad suficiente como para valerse por sí mismas. Otro caso curioso es el de los perros, que dan a luz a sus camadas antes de que estas hayan completado el periodo de gestación, ya que de esta forma, a la madre le resulta más fácil recuperarse y estar preparada para defender a sus cachorros.

En el mundo de la simulación las crías sólo son capaces de pedir comida y comer como reflejo de estas limitaciones, las cuales tendrán hasta que alcancen la edad de madurez sexual, edad que como se ha comentado, viene definida en el genotipo de cada individuo y una vez alcanzada, permite al individuo realizar todas las acciones propias de su especie. Por sí mismas, las crías no pueden buscar alimento, es por ello

que una de las acciones más importantes del sistema es la de dar comida, mediante la cual otros individuos pueden darle comida a la cría.

Llegados a este punto es importante matizar que para los individuos del sistema, recolectar comida y comer son acciones distintas. Dadas las características definidas en el genoma de los individuos, estos pueden llevar consigo ciertas unidades de alimento como si tuvieran una mochila (lo que anteriormente se ha llamado inventario), una vez lo obtienen, pueden comérselo para alimentarse ellos mismo, o dárselo a las crías, las cuales, como individuos que son, también pueden cargar comida, aunque menos unidades. El proceso de alimentar a la cría consiste entonces en que un individuo adulto obtenga comida y en vez de comérsela él mismo, se la entrega a la cría para que se alimente ella.

Las razones que favorecen que el individuo prefiera entregar su comida a una cría en vez de usarla él, tienen su origen en el árbol de distancia genética que mencionamos en los fundamentos biológicos. Todos los individuos de una misma especie están recogidos en una estructura de datos cuyo objetivo es realizar los cálculos de distancia genética entre individuos tal y como explicó Dawkins y como describimos anteriormente. Cada vez que una cría pide comida, los adultos que la escuchan calculan la distancia genética que los separa de ella, y en base a ello priorizan en mayor o menor medida el entregarle alimento.

De la misma manera, cuando una cría va a ser devorada por un depredador, los adultos de la misma especie realizan este cálculo de la distancia genética para decidir si es preferible salvar a la cría que hacer cualquier otra acción. La forma en la que los conejos se salvan es escondiéndose en una madriguera que puede o no haber en el territorio, y al proteger a una cría lo que hacen es llevarla a la madriguera, quedando ambos conejos a salvo de los depredadores.

Si el conejo, cuando un zorro quiere cazarlo, no se escondiera o lo hiciera tarde, terminaría convirtiéndose en alimento, esto conllevaría su muerte y al zorro le reportaría una cantidad de alimento en función de ciertos atributos del genotipo del conejo cazado, como es la constitución. En el caso de los conejos, estos buscan plantas, pero las plantas no siempre mueren cuando un conejo se las come, ya que si no son devoradas completamente, volverán a crecer. Mientras que los zorros cazan conejos, los matan y obtienen todo el alimento que estos pudieran dar, los conejos “dañan” las plantas, consiguiendo alimento en función de algunos atributos del cromosoma que influyen en la cantidad de alimento que son capaces de obtener cuando van a buscar comida, o como decían en *La colina de Watership*, silflar. Como añadido, en el sistema los individuos cuentan con la capacidad de mejorar sus habilidades, como por ejemplo la recolección de alimento, ya que una de las principales líneas de desarrollo consiste en que los individuos puedan especializarse en ciertas tareas, de esta manera, un individuo que realice la misma acción reiteradamente con éxito obtendrá un bonus en sus resultados, por ejemplo obteniendo mayor cantidad de comida por su capacidad para, en este caso, recoger la parte más nutritiva de las plantas o desperdiciar menos carne.

Por otra parte, los individuos animales no están limitados al territorio en el que nacieron, una vez tengan la edad adulta, pueden migrar a otros territorios en busca de aquellos recursos de los que carecían en su actual hogar. Lo que motiva estas migraciones es la felicidad de los individuos. La felicidad es un valor propio de cada individuo que según las acciones realizadas y los resultados obtenidos, aumenta o disminuye. El sistema está diseñado de forma que las acciones relacionadas con la expansión de los genes, como aparearse o cuidar de comer a las crías reporten bastante felicidad, mientras que el resto de acciones dedicadas únicamente a la supervivencia proporcionen una recompensa en felicidad pequeña si se realizan con éxito, y nula o negativa si no se realizan correctamente. El objetivo de este diseño es que los individuos que cuando los individuos no puedan realizar acciones que contribuyan a la presencia de sus genes en el acervo génico, normalmente por imposibilidad o por inadecuación, sean infelices. Este grado de infelicidad se usa para la evaluación de ciertos comportamientos, especialmente el de migrar.

4.1 *Transcurso de la vida*

Para que la vida avance sólo se necesita una cosa, tiempo, una unidad que transcurra representando el paso del tiempo, no necesariamente como si fueran horas, días o semanas, simplemente una unidad que permita discretizar cada uno de los momentos de la vida y cuyo incremento suponga cambios.

En la simulación el mejor nombre que se le podría otorgar a esta unidad es “turno”. El transcurso de la vida de los individuos desde que nacen hasta que mueren de viejos, el cambio de la etapa de cría a adulto o el tiempo que las hembras pasan en cinta se contabiliza en estas unidades. Llamarlo turno es lo más acertado ya que el mayor interés de la simulación es responder a la pregunta ¿Que hace un individuo en una situación dada?, cada turno conlleva unas circunstancias que condicionarán las decisiones que tomará, y dado que es poco probable que se encuentre solo en el territorio, lo que hagan los demás individuos será parte de la situación a la que se enfrentará a la hora de tomar la decisión de que hacer en el actual momento de su vida.

No todos pueden actuar a la vez, y quién sea capaz de actuar primero puede ser vital, especialmente para un conejo que quiere esconderse de un zorro. Por lo que el mundo que simula el actual proyecto utiliza ciertos atributos del cromosoma de los individuos para organizar qué individuos tendrán preferencia a la hora de actuar, estos atributos son la percepción y la velocidad, y se utilizan siguiendo un protocolo de decisión y actuación inspirado en los utilizados en algunos juegos de rol de mesa (Figura 4.1).

Los individuos que habitan cada territorio deben declarar en orden de percepción ascendente qué pretenden hacer en el actual turno. Para ello tienen en cuenta las características del territorio y sus propios intereses, pero sólo aquellos individuos con mayor percepción pueden tener en cuenta las intenciones de los demás individuos a la hora de tomar sus propias decisiones. Por ejemplo, un conejo poco atento debido a su poca per-

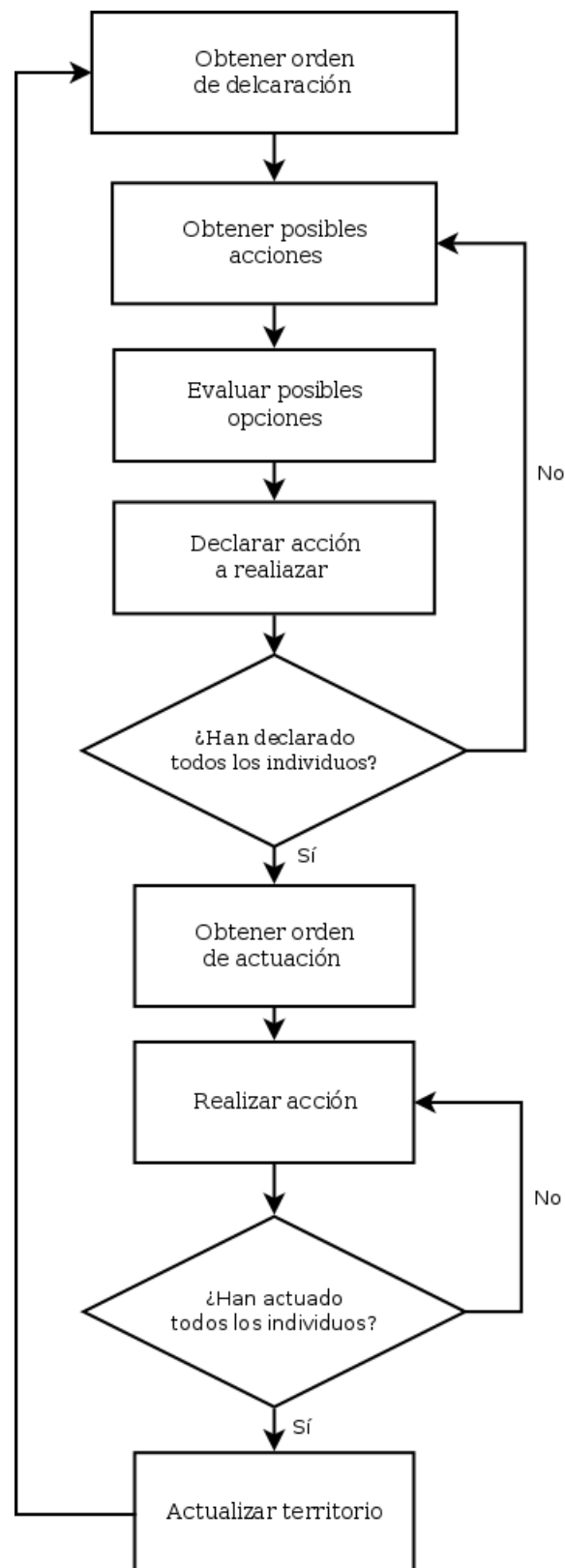


Figura 4.1: Diagrama de flujo

cepción ha sido el primero en declarar la acción que deseaba realizar, a continuación, un zorro más observador que él ha declarado que iba a cazarlo, mencionemos que la forma en la que los individuos escogen a sus presas es aleatoria. Podríamos decir que el conejo a tenido mala suerte, pero no mala suerte porque haya sido escogido como presa por el zorro, sino por que su genotipo proporciona una peor percepción que la del zorro. Si el conejo fuera más atento y, por tanto, tuviera más percepción que el zorro, a la hora de escoger su acción podría haber tenido en cuenta que había un zorro que iba a intentar cazarlo, esconderse habría sido una opción posible, y es probable que la habría evaluado positivamente, prefiriendo esconderse para sobrevivir. Sin embargo, puede que aún así no lo hubiera conseguido por lo que veremos a continuación.

La primera fase es la declaración de acciones, esto no significa que actúen, sino que manifiestan sus intenciones de manera que individuos con mayor percepción pueden tenerlas en cuenta a la hora de escoger que harán ellos. Es en la segunda fase del turno cuando los individuos actúan y realizan la acción que en la primera fase habían declarado, y serán los individuos más veloces los que actúen primero. Esto significa que si nuestro conejo ya no tan despistado no cuenta con unos genes para la velocidad mejores que los del zorro, dará igual que se haya percatado de que querían comérselo.

Para los zorros la percepción es necesaria dado que cuanto más alta sea, mejores genes deberán poseer los conejos para poder ser conscientes del peligro, pero lo importante para ellos es ser veloces, ya que si el conejo no es suficientemente rápido como para esconderse, será cazado lo supiera o no. Por contra los conejos necesitan de ambos genes para sobrevivir, y aquellos individuos que no destaquen en ninguno de los dos serán rápidamente penalizados.

Una vez todos los individuos actúan, aquellos en el territorio que sigan vivos habrán sobrevivido un turno más, lo que para ellos implica crecer, estando más cerca de la edad adulta en unos casos y pudiendo morir de viejos en otros, las hembras en cinta estarán más cerca de dar a luz, o puede que fuera al final del actual turno al momento de traer nuevos individuos al mundo y, por tanto, nazca una nueva camada. Al resolverse la segunda fase del turno, son los supervivientes los pueden vivir hasta el siguiente turno con todo lo que ello implica, y no es distinto en el caso de las plantas, que si no fueron completamente devoradas, podrán volver a crecer o incluso esparcir semillas que germinarán en nuevas plantas si quedan recursos naturales en el territorio para que puedan crecer nuevos vegetales.

Las acciones que puede escoger para realizar un individuo en cada turno, como ya hemos dicho, dependen del territorio y las intenciones de los individuos con menor percepción que declararon intenciones antes que él. Además, cada acción supone cambios en el medio o los individuos, y puede condicionar el resultado de otras acciones del mismo turno. También es importante señalar que las acciones conllevan un gasto de energía y un reporte de felicidad que también son parte del estado actual del individuo. Entre las acciones posibles que actualmente pueden realizar los animales están:

- **Aparearse:** Lo que se puede hacer tanto pasiva como activamente. A diferencia de otros sistemas, en el actual proyecto la reproducción sexual sólo podrá re-

alizarse con el consentimiento y la disposición de ambos participantes, por lo que en la declaración de intenciones, hay individuos que buscan parejas que estén esperando a alguien con quien aparearse, y los que no tienen la oportunidad de buscar, normalmente porque no hay ningún individuo válido esperando, declaran que están esperando a alguien que quiera aparearse con ellos.

- **Buscar comida:** La búsqueda de comida se basa en escoger una presa aleatoria que pueda servir como alimento, sin embargo, el resto de individuos pueden provocar que la presa escogida para alimentarse ya no exista cuando sea el momento de actuar, o que eso momento nunca llegue porque un depredador más veloz escogió al individuo como su presa.
- **Comer:** Como ya se comentó, recoger alimento y alimentarse son acciones distintas, y sólo comiendo el alimento, previamente almacenado en el inventario, se recupera la energía.
- **Pedir comida:** Las crías suelen alternar entre pedir comida y comer para poder sobrevivir hasta la edad adulta.
- **Dar comida:** Si los individuos pretenden que sus genes trasciendan en el acervo génico, deben contemplar la acción de entregar el alimento que poseen a sus crías cuando estas lo piden.
- **Esconder:** Las plantas no pueden esconderse de sus depredadores, pero mientras exista una madriguera, los conejos podrán ocultarse de los zorros cuando sean conscientes de que intentan cazarlos.
- **Proteger:** Dar alimento a las crías no es suficiente, ya que a menudo los zorros intentarán también alimentarse de ellas, y si sus progenitores no las esconden, los zorros se las comerán.
- **Descansar:** Porque puede que en la constante lucha por la supervivencia exista un momento de paz en el que lo más deseable por hacer sea nada.
- **Migrar:** Cuando un territorio no tiene nada bueno que ofrecer, como comida o parejas válidas, lo mejor para un individuo es buscar un nuevo hogar.

Como es de esperar, la posibilidad de realizar una acción en un momento dado depende de las circunstancias, no vamos a dedicarnos a detallar cada una de las situaciones que hacen posible que se pueda realizar una determinada acción, pero si recordaremos que la edad y la especie de los individuos es un fuerte condicionante de que puede o no hacer un individuo, y también de como lo hace. Por ejemplo, las crías apenas poseen percepción hasta que son adultas, ya que si no fuera así, ninguna cría más perceptiva que sus progenitores podría ser tomada en cuenta por estos a la hora de escoger sus acciones, por lo que nunca le darían comida. También se da que los zorros y los conejos consiguen su alimento de manera distinta por no pertenecer a la misma especie.

En futuros desarrollos del actual proyecto, cualquier nueva acción que se pudiera dar en el mundo sería tenida en cuenta por todos sus habitantes, sin embargo, no todos podrían realizarla o realizarla de la misma manera, por lo que si bien la estructura es adecuada para incluir nuevos individuos o acciones en el sistema, se requeriría modificar levemente las posibilidades del mundo y codificar los comportamientos específicos de los individuos.

4.2 Extendiendo el framework

Como se ha comentado varias veces en el actual proyecto, uno de los objetivos es poder obtener los primeros pasos de un *framework* básico y extensible que pueda, en el futuro, servir como herramienta para simulaciones avanzadas de vida artificial con carácter tanto lúdico como académico o empresarial. Además, uno de los objetivos mencionados era utilizar la aplicación desarrollada para simular alguno de los experimentos de Dawkins, por lo que en la actual sección se detallarán los pasos que han sido necesarios para extender la primera versión del *framework* (*watership_v0.1*), a una segunda versión (*watership_v0.2*) que incorpora al individuo «DawkinsEEE», que será utilizado para simular el caso hipotético planteado por Maynard Smith en los fundamentos biológicos, con los valores numéricos utilizados por Dawkins para ilustrar el funcionamiento de las EEE en una población con las estrategias de agresión halcón y paloma.

En primer lugar es necesario crear el nuevo individuo, para ello accederemos al módulo individuo y crearemos una nueva clase que extienda de individuo llamada DawkinsEEE.

```
class DawkinsEEE(Individuo):
    def __init__(self, nodo, especie, edad, sexo, cromosoma):
        super(DawkinsEEE, self).__init__(nodo, especie,
            edad, sexo, cromosoma)
```

Este nuevo individuo debe también reimplementar las funciones destinadas a vivir y generar nuevos individuos, incluir la función de combatir, y una más que evalúe si se quiere combatir.

```
def vivir(self):
    self.felicidad = 0
    return self.parir()

def parir(self):
    nodo = ae.Nodo(None, None, self.especie)
    genes = self.cromosoma
    return [DawkinsEEE(nodo, self.especie,
        self.cromosoma["madurezSexual"], random.randrange(0,2),
        genes)]
```

```

def combatir(self, victimas):
    for victima in victimas:
        if self.cromosoma["estrategia"] == 0:
            if victima.cromosoma["estrategia"] == 0: # paloma VS paloma
                if random.randrange(0,2):
                    self.felicidad += 40
                    victima.felicidad -= 10
                else:
                    victima.felicidad += 40
                    self.felicidad -= 10
            else: # paloma VS halcon
                victima.felicidad += 50
        else:
            if victima.cromosoma["estrategia"] == 0: # halcon VS paloma
                self.felicidad += 50
            else: # halcon VS halcon
                if random.randrange(0,2):
                    self.felicidad += 50
                    victima.felicidad -= 100
                else:
                    victima.felicidad += 50
                    self.felicidad -= 100

    def wannaCombatir(self, opcion):
        return (opcion, 100)

```

Además, será necesario incluir el condicional que tenga en cuenta la nueva habilidad que pueden tener los individuos, en las funciones de la clase padre utilizadas para escoger decisiones y ejecutarlas.

```

def actuar(self, decision, viajes):
    # ...
    # codigo ya presente
    # ...
    elif decision[0] == "Combatir":
        self.combatir(decision[1])

def getDecision(self, opciones, orgia, llorones, victimas):
    # ...
    # codigo ya presente
    # ...
    elif opcion[0] == "Combatir":
        decisiones.append(self.wannaCombatir(opcion))

```

Hecho esto, ya podrán crearse individuos de la especie DawkinsEEE, los cuales se caracterizarán por poseer una acción llamada *combatir* que será preferible a todas las demás, esta acción provocará una batalla con todos los individuos de la especie DawkinsEEE que hay en el territorio. Los resultados de esta batalla se resolverán según el ejemplo planteado por Dawkins en los fundamentos biológicos. Además, la vida de estos individuos consiste en reiniciar su felicidad y dar a luz inmediatamente individuos idénticos al padre.

Por otra parte, en el modulo mapa utilizado para modelar el territorio, será necesario incluir una lista para la población de DawkinsEEE en la clase Territorio.

```
class Territorio():
    def __init__(self, limit, agua, madriguera, vecinos):
        # ...
        # codigo ya presente
        # ...
        self.dawkinsEEEs = []
```

Y su respectivos métodos de añadir y retirar.

```
def morirDawkinsEEE(self, individuo):
    self.dawkinsEEEs.remove(individuo)

def newDawkinsEEE(self, individuos):
    self.dawkinsEEEs += individuos
```

Además de la función que evalúa si en el territorio un determinado individuo DawkinsEEE puede combatir contra los demás DawkinsEEEs, la cual devuelve una tupla de acción. Esta tipo de tupla es la que devuelven todas las evaluaciones, contiene solo None si no se puede realizar la acción, y el nombre de la acción y los parámetros necesarios si se puede efectuar.

```
def canCombatir(self, individuo):
    if individuo in self.dawkinsEEEs:
        aux = self.dawkinsEEEs[:]
        aux.remove(individuo)
        return ("Combatir", aux)
    return (None,)
```

Y por ultimo, modificar la función destinada a que el mundo avance para que gestione la evolución de los DawkinsEEEs. Esta gestión consiste en ordenar los individuos por felicidad, ignorar la mitad de individuos menos felices, y hacer que los más felices ejecuten su función de vivir, la cual conlleva la reproducción. Hecho esto, la mitad de los individuos que han obtenido más felicidad durante la ejecución, y su descendencia clónica, pasan a formar la nueva población de DawkinsEEEs. Durante el proceso se aleatoriza el orden de los individuos en la lista de población con la intención de evitar ruido debido al orden de incorporación.

```
def elMundoSeMueve(self):
    # ...
    # codigo ya presente
    # ...
    random.shuffle(self.dawkinsEEEs)
    self.dawkinsEEEs.sort(key=lambda dawkinsEEE: dawkinsEEE.felicidad )
    aux = int(len(self.dawkinsEEEs)/2)
    nuevosDawkinsEEEs = []
    self.dawkinsEEEs = self.dawkinsEEEs[aux:]
    for dawkinsEEE in self.dawkinsEEEs:
        nuevosDawkinsEEEs.append(dawkinsEEE)
        nuevosDawkinsEEEs += dawkinsEEE.vivir()
    self.dawkinsEEEs = nuevosDawkinsEEEs
    random.shuffle(self.dawkinsEEEs)
```

En esta gestión de la evolución, la decisión de ordenarlos por felicidad tiene su origen en que, en la actual versión del sistema, los individuos felices son aquellos que más están contribuyendo a la expansión de sus genes, por lo que consideramos buena idea traducir los puntos utilizados por Dawkins como unidades de felicidad.

Realizados estos únicos pasos, hemos utilizado el framework para añadir una nueva especie con comportamientos y atributos propios, por lo que si en la fase de experimentación construimos un fichero `main.py` que incorpore los nuevos individuos, y conseguimos la proporción enunciada por Dawkins como relación estable, podremos afirmar que el framework cumple su cometido como plataforma extensible para simulaciones de vida artificial fundamentadas biológica y etológicamente.

Capítulo 5

Experimentación

En esta sección se expondrán las experimentaciones realizadas una vez concluyó el desarrollo del *framework*. Dichas experimentaciones tienen la finalidad de comprobar que se han alcanzado los objetivos específicos del proyecto, y observar como evolucionan ciertas características de los individuos y del mundo del sistema de vida artificial.

Dedicaremos una sección a cada experimento, describiendo como se ha realizado, los resultados que se han obtenido y que conclusiones se pueden deducir de ellos. Además, los ficheros del código fuente y los scripts de ejecución de las pruebas de cada experimento pueden encontrarse en el repositorio del proyecto [2] con la misma nomenclatura de experimento utilizada en este documento. Todo experimento se ha realizado al menos 10 veces.

5.1 EX_1 Conejos y zorros cuidan a sus descendientes

Una de las principales críticas que se han hecho a lo largo de este proyecto hacia otros trabajos, ha sido la inexistencia de individuos inmaduros. En la mayoría de proyectos encontrados, los nuevos individuos aparecían directamente con las mismas facultades que sus progenitores, sin pasar por una etapa de inmadurez en la que fueran completamente dependientes de otros individuos para sobrevivir. El primer objetivo de este trabajo era que existieran esas crías inmaduras y que, como se mencionaba en los fundamentos biológicos, fuera necesario que los progenitores, en su afán de que sus genes perduraran en el acervo génico, invirtieran recursos en conseguir que dichas crías crecieran hasta la edad adulta. Con este experimento se pretende observar que ese comportamiento se da en el sistema y que es gracias a él que la población evoluciona y surgen nuevas generaciones.

Para probar que esto sucede y que los progenitores dan cierta prioridad a cuidar de sus crías, se realizará una ejecución en un único territorio con varios recursos naturales donde un grupo mixto de conejos vivirá durante ciertos turnos sin depredadores. Posteriormente, se incluirá un grupo mixto de zorros. Además, todos los individuos del territorio tendrán en su genotipo un alto valor para el gen que codifica la edad de

madurez sexual, por lo que el cuidado de las crías se deberá realizar durante bastantes turnos antes de que alcancen la madurez.

Tras la realización de los experimentos podemos apreciar que tanto conejos como zorros cuidan de su descendencia. Las acciones de dar de comer y proteger suelen presentarse como las mejor recompensadas y por tanto las que suelen escoger los individuos. Se aprecia también como individuos que no son directamente los progenitores también realizan acciones de cuidado, especialmente si no tienen que preocuparse por ellos mismos. Otro detalle importante es que los progenitores directos son especialmente altruistas, dado que cuidar de su cría, a menudo, se presenta como mejor opción que esconderse de un zorro que va a intentar comérselo, lo que a veces termina en que el conejo muere tras entregar el alimento a su cría, o incluso antes de hacerlo.

En vista de los resultados, se puede decir que el experimento ha sido exitoso, y que por tanto, el primer objetivo de este proyecto queda cubierto y satisfecho. Como conclusión adicional, el sistema aún presenta un comportamiento burdo en cuanto al cuidado de las crías. Es cierto que aborda mejor el asunto que muchos otros trabajos que no distinguen entre crías y adultos, sin embargo, sería necesario añadir más información a la hora de escoger las acciones, por ejemplo, la edad de la cría y del progenitor, ya que como mencionaba Dawkins, los seres vivos suelen considerar si merece la pena seguir sacrificándose teniendo en cuenta los recursos ya invertidos para que la cría haya llegado a donde está, además de la posibilidad de dejarla morir y criar otra nueva. Un individuo joven debería tener menos reparo en dejar morir a una cría, dado que si él sobrevive, podrá engendrar muchas más.

5.2 *EX_2 conejos y zorros se mueven si no son felices*

Cada acción que realizan los individuos en el mundo les proporciona felicidad y les consume energía, que la energía llegue a 0 significa la muerte del individuo, y la máxima energía que puede poseer en un momento viene determinada por la edad y ciertos atributos del genoma como la constitución. La felicidad no está acotada a ningún rango de valores, sin embargo, cuando está baja por debajo de las 20 unidades sirve como indicador de que el individuo es infeliz.

En el sistema los individuos obtienen la mayor cantidad de felicidad realizando acciones que favorezcan la supervivencia de las crías o, directamente, procreando. Gracias a este diseño, ningún individuo que esté consiguiendo que sus genes trasciendan en el acervo génico será infeliz. Las acciones que buscan la supervivencia del propio individuo proporcionan felicidad, pero menos de la que se pierde con el paso de los turnos, por lo que un individuo que no realice acciones para extender sus genes terminará siendo infeliz.

Cuando un individuo es infeliz, la acción de migrar tendrá mayor preferencia. Con este experimento se quiere comprobar como los individuos infelices deciden migrar a otros territorios cuando el que actualmente habitan no les permita ser felices. Para

ello crearemos un mundo con cuatro territorios interconectados, en uno de ellos habrá un zorro macho, en otro un zorro hembra, en el tercero un grupo de cuatro conejos machos y en el cuarto un grupo de cuatro conejas.

Todas las ejecuciones comenzaban con los conejos buscando comida en su territorio, los zorros al no tener fuente de alimento siempre migraban, en algunas ejecuciones los zorros llegaban al mismo territorio, pero como su principal interés era alimentarse, no intentaban reproducirse.

Otra situación interesante se ha dado con la insistencia de los zorros hacia sus presas, dado que quieren conseguir comida y hay un conejo en el territorio, los zorros insisten en cazar, pero si el conejo es más rápido y perceptivo, los intentos sucesivos siempre fracasan, lo cual suele terminar con la muerte de uno de los dos individuos por inanición. Los conejos nunca pondrán por delante comer antes que protegerse, por lo que si son constantemente acosados, siempre escogen esconderse y pueden llegar a morir de hambre. En algunas ejecuciones se ha dado ese caso y normalmente moría primero el conejo y a continuación el zorro migraba porque en el territorio no había alimento y tanto fracaso le había producido mucha infelicidad.

Los conejos iniciales, como sí pueden obtener comida, pasan los primeros turnos alternando entre conseguir comida y comer, cuando están saciados empiezan a buscar pareja migrando a otros territorios, lo que a veces se interrumpe para volver a obtener comida y comer. Los conejos repiten este proceso varias veces hasta querer migrar, ya que lo que les hace migrar es la infelicidad, independientemente de si en el territorio tienen los recursos necesarios vivir. Por otra parte, los zorros iniciales migraban porque no podían obtener comida en el territorio y, al no tener recursos, no querían reproducirse. Los conejos migran buscando alguien con quien reproducirse y esto es bastante curioso ya que a menudo salen de zonas hostiles donde habitan zorros, pero como en el siguiente territorio siguen sin poder aparearse, eventualmente vuelven a donde están los zorros.

Otro fenómeno que sucede es que los individuos son impacientes. Aunque el territorio al que hayan llegado, posea individuos de la misma especie y del sexo contrario, e incluso no haya depredadores, si los otros individuos están comiendo y no responden cuando el forastero intenta buscar pareja, termina migrando de nuevo. Por otro lado, cuando nace una cría es muy improbable que los progenitores se vayan, ya que el cuidarla tiene prioridad y cuando no están cuidándola están recogiendo la comida que ya no tienen porque se la han dado, además cuidar a una cría proporciona felicidad.

Como conclusiones sacamos que la migración funciona y que es un comportamiento muy interesante. La simplificación utilizada con la cantidad de felicidad ha funcionado aceptablemente para estos experimentos sencillos, pero los comportamientos naturales son más elaborados y aunque las migraciones en el sistema tengan sentido, hay ciertas situaciones que si los individuos pudieran razonar a mayor nivel, no tomarían la decisión de abandonar el territorio.

5.3 EX_3 Evolución de la población respecto al límite de plantas

Tras los anteriores experimentos podemos dar por logrado el primer objetivo específico del proyecto, y funcionando correctamente el sistema de vida artificial, es de especial interés ver en este tipo de simuladores como evolucionan las poblaciones de individuos.

En este experimento crearemos 4 territorios no conectados entre si, cada uno de ellos con un límite distinto de plantas, y una población inicial de 32 conejos y 2 zorros. El interés de este experimento será ver como crecen o decrecen las poblaciones de las tres especies a lo largo de 200 turnos, aunque en la gráfica se expondrán los datos recogidos cada 10 turnos.

Aunque las poblaciones iniciales son similares, el azar influye mucho en el sistema y por ello se han obtenido varios resultados interesante. Las gráficas expuestas han sido escogidas para ilustrar ciertos fenómenos sobre los que es importante reflexionar, pero también se hablará de otros resultados que no han sido incluidos en el actual documento.

El primer territorio (Figura 5.1) soportaba un máximo de 25 plantas. En él los conejos han conseguido persistir los 200 turnos gracias al poco éxito de los zorros. Es interesante ver como el incremento de presencia de los conejos viene seguido del aumento de población de los zorros, y que justo después de este incremento de los depredadores, empieza a decrecer drásticamente la población de conejos.

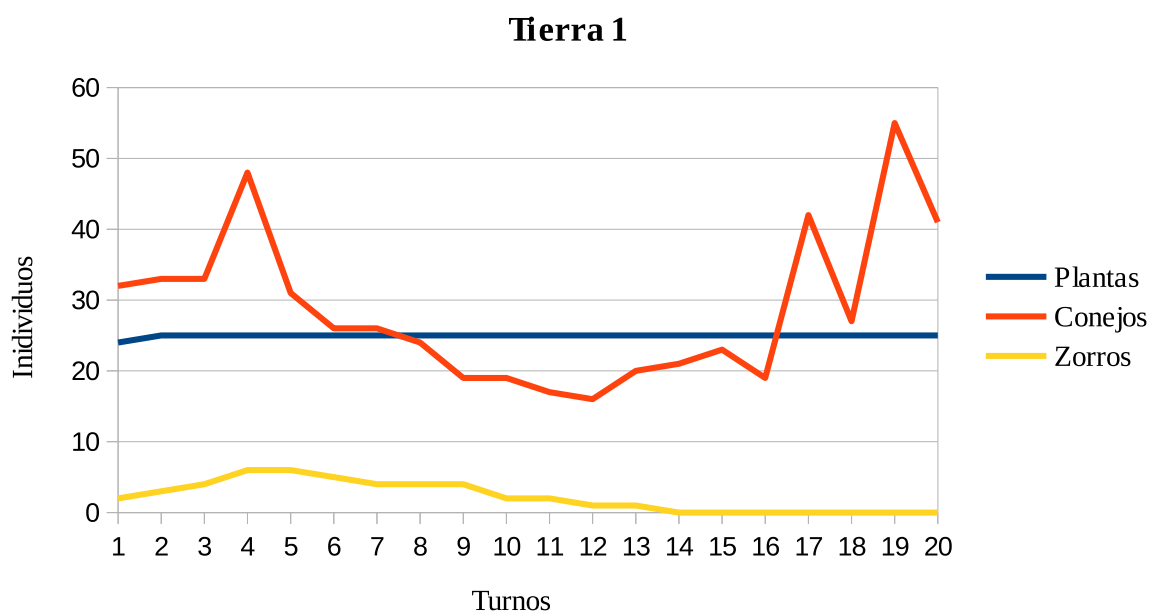


Figura 5.1: Tierra 1

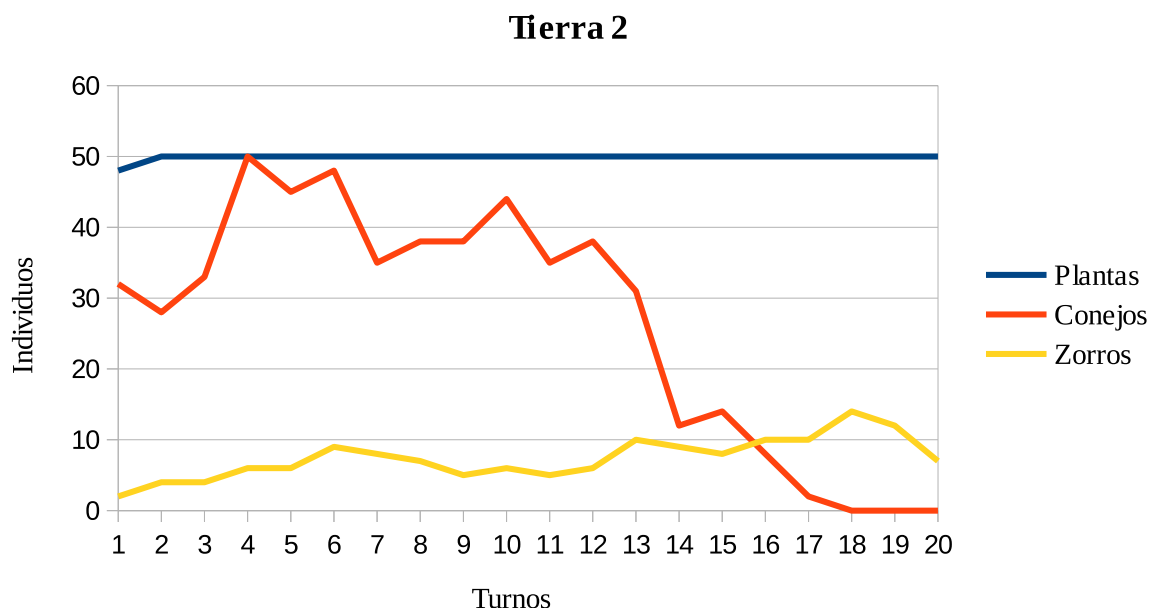


Figura 5.2: Tierra 2

Al ser los zorros los que se extinguen al final, es razonable pensar que esto se debe a que los conejos que desaparecen del territorio son aquellos menos actos, y que, la desaparición de estas presas fáciles dificulta a los zorros buscar comida. En cuanto los pocos zorros tienen una alta posibilidad de encontrarse con que su presa es más rápida que ellos, es cuestión de tiempo que terminen desapareciendo.

Vemos entonces como al desaparecer los zorros las poblaciones de conejos se disparan, de hecho a partir del turno 170 (17 en el gráfico) pasa que la población fluctúa abruptamente sin que decrezca el número de plantas. Esto puede deberse a la incapacidad de los conejos de ocuparse de todas sus crías, o a que la suerte ha llevado a que los conejos más lentos lleguen tarde a las plantas, no pudiendo obtener comida pero aún existiendo suficientes como para que al final del turno puedan crecer nuevos vegetales.

En el segundo territorio (Figura 5.2) podían coexistir hasta 50 plantas. En este caso los zorros han tenido más suerte y han podido prosperar, pero el aumento de su población ha condenado a los conejos a su extinción, y sin comida los zorros se habrían extinguido en el próximo ciclo.

En el tercer territorio (Figura 5.3), donde pueden crecer 75 plantas simultáneamente, la evolución de poblaciones ha sido más adecuada, los conejos han prosperado y los zorros han conseguido sobrevivir. En este territorio las tres poblaciones son capaces de coexistir, o al menos eso parece.

En el último territorio (Figura 5.4), donde la limitación de plantas estaba en 100 individuos, los zorros no han conseguido sobrevivir ni siquiera una generación, y al

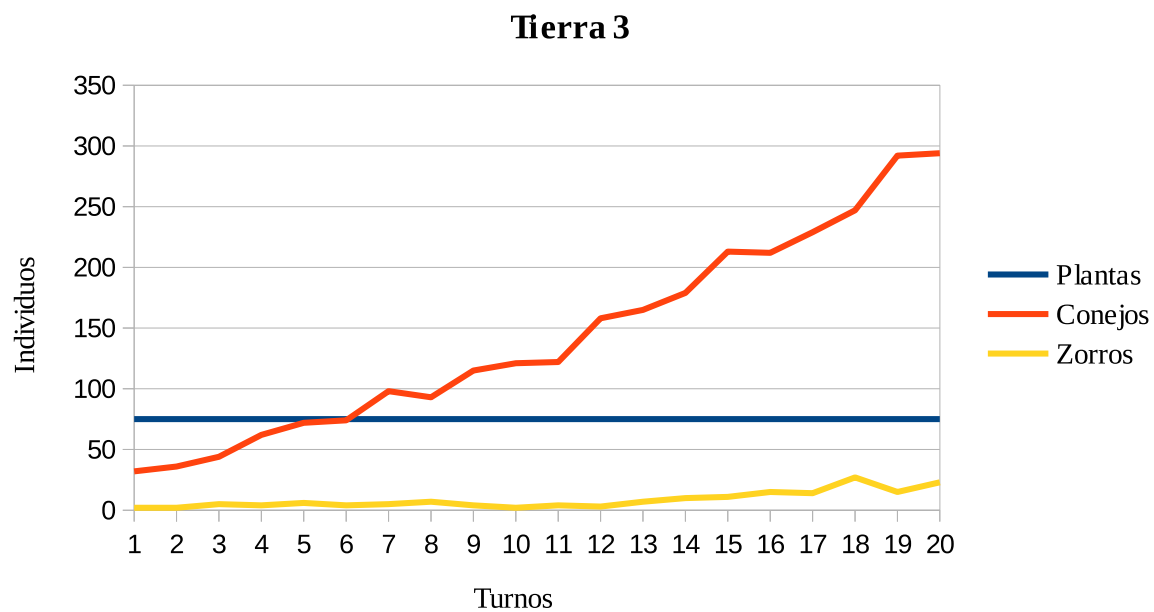


Figura 5.3: Tierra 3

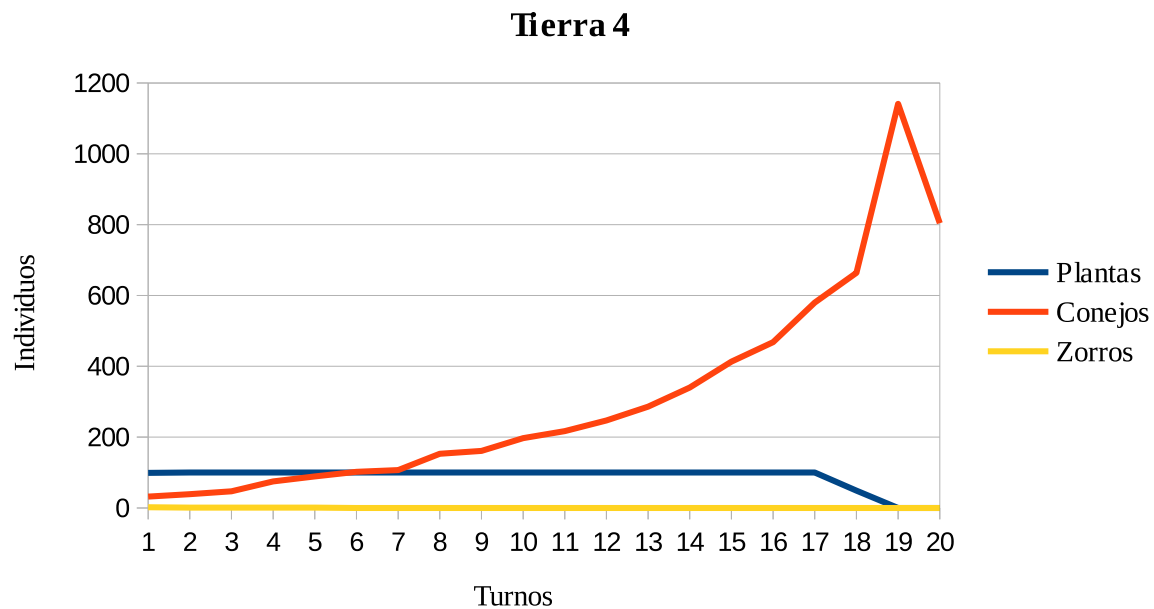


Figura 5.4: Tierra 4

desaparecer estos, los conejos han prosperado en el entorno más abundante de los cuatro, llegando a unas cantidades desmesuradas de individuos que han provocado la extinción de las plantas, y una vez desaparecen estas, al igual que en el segundo territorio, sus depredadores están condenados a desaparecer.

Viendo estos resultados, podemos concluir que la extinción de una especie conlleva la desaparición de las demás. Ya sea porque desaparece la fuente de alimento de otra, o porque en el caso de los conejos, si desaparecen los zorros dejan de tener una regulación natural de la población, lo que lleva a una reproducción descontrolada que acaba con la fuente de alimento.

Otras situaciones interesantes han sido la supervivencia de uno o varios conejos durante suficiente tiempo como para que se extinguieran los zorros. Este caso es igual al reflejado en los territorios uno y cuatro, pero al no sobrevivir conejos del sexo opuesto, la especie ha terminado extinguiéndose.

5.4 EX_4 Evolución del acervo génico en todas las poblaciones

La evolución de las poblaciones es interesante, pero lo más interesante de los sistemas de vida artificial es ver como evolucionan los propios individuos, por lo que se ha realizado otra tanda de experimentos con la intención de observar como evoluciona el acervo génico en un único territorio.

Para ello se usará el mismo entorno que en el primer experimento, la ejecución se compondrá de 200 turnos y obtendremos trazas cada 10 turnos de los valores del genotipo medio de los individuos de cada especie.

Hemos excluido de las gráficas el gen para la esperanza de vida con el fin de visualizar mejor los datos, aún así, este gen apenas progresaba en el acervo génico de manera relevante.

En las gráficas de conejos (Figura 5.6) y zorros (Figura 5.7) podemos apreciar como los atributos que más han progresado en el acervo han sido la velocidad, la constitución y la destreza. Esto tiene sentido ya que la primera es de vital importancia para asegurar el éxito en todas las acciones posibles, la destreza pondera la cantidad de alimento obtenido y, por último, la constitución influye en las capacidades máximas de carga y energía. Por tanto, que los individuos que poseen mejores atributos en estas habilidades, sean los que más han conseguido aumentar su presencia en el ecosistema es algo natural y razonable.

Por otra parte, la inteligencia y la fuerza no han progresado tanto, seguramente porque, aunque son buenas para ciertas acciones, no suponen una diferencia tan notable como las anteriores. Y en el caso de la madurez sexual, se han mantenido más o menos constante.

El atributo cuya progresión es más llamativa en este experimento, es la percepción, a pesar de ser una característica clave para la supervivencia, ha sido muy penalizada en

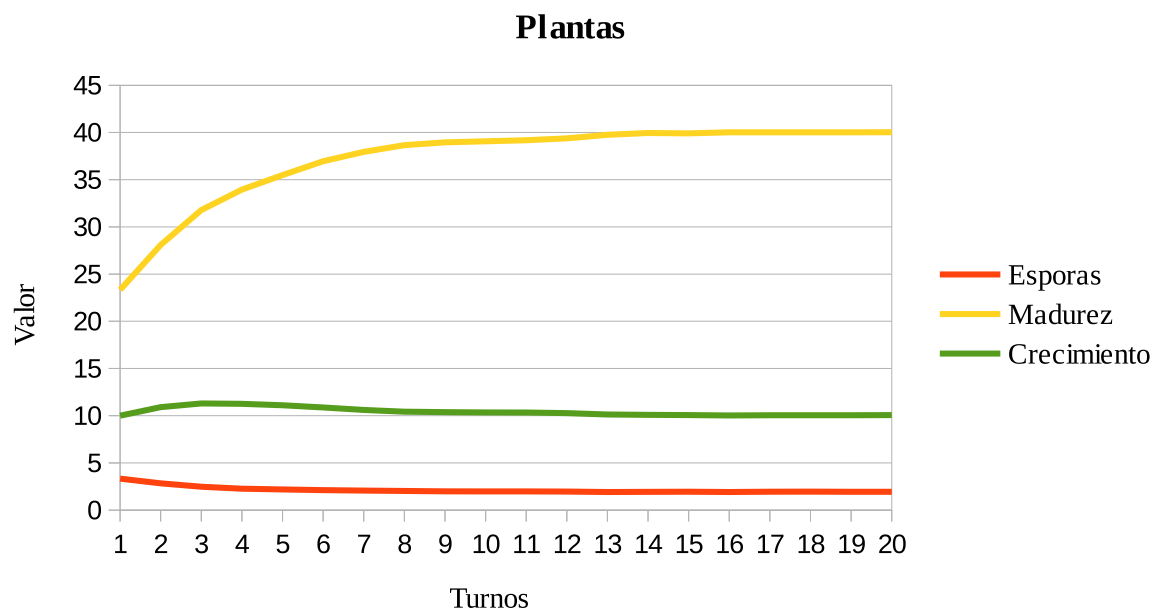


Figura 5.5: Plantas

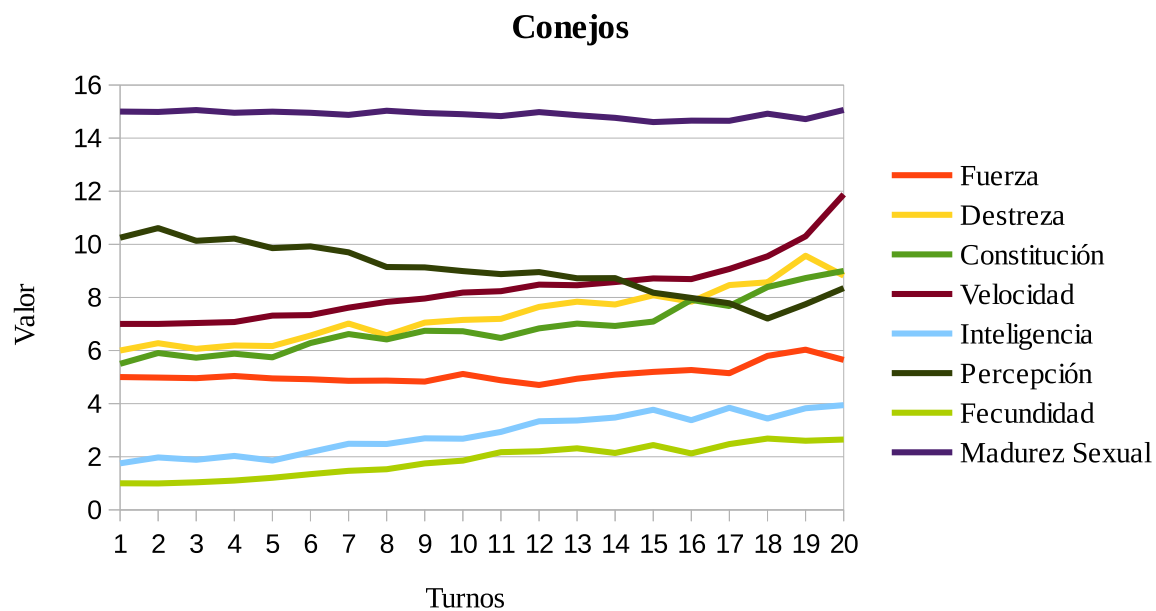


Figura 5.6: Conejos

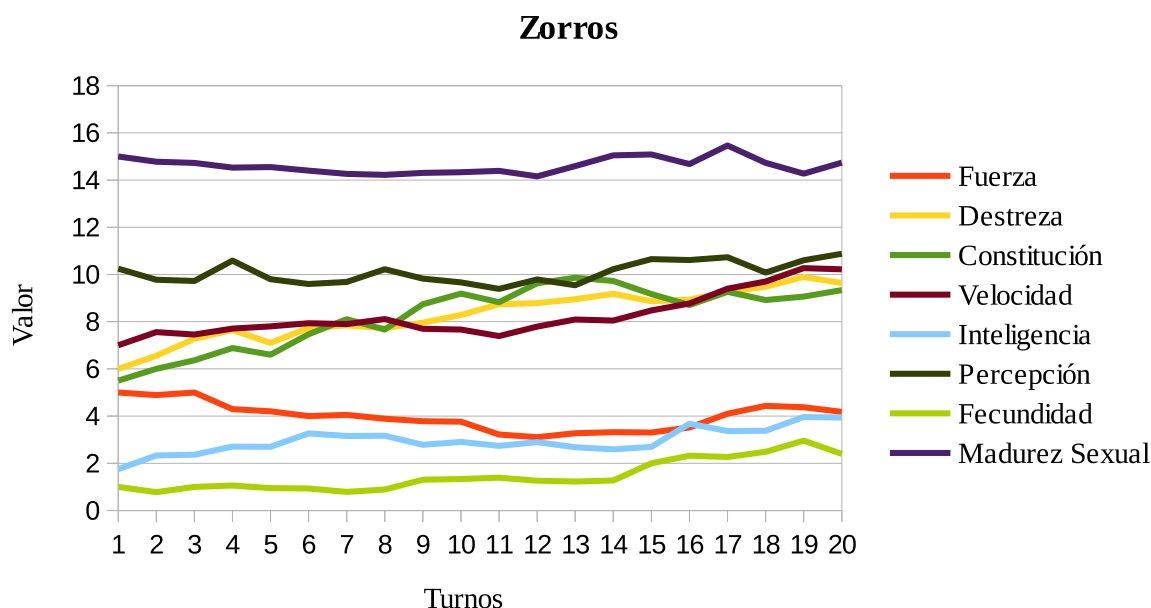


Figura 5.7: Zorros

el acervo génico. Observando otras ejecuciones, vemos que esto es frecuente, por lo que suponemos que se debe a que quizá, los conejos más perceptivos están tan atentos de toda su descendencia que vuelven a aparearse menos veces que los conejos menos cautos. Otra teoría es que los cromosomas utilizados no poseían simultáneamente buenos genes de percepción y velocidad, por lo que la evolución a favorecido la velocidad en decremento de la percepción.

En el caso de las plantas (Figura 5.5), se aprecia como el atributo clave en la evolución ha sido la madurez. Esto tiene sentido, ya que tener la madurez es también la vitalidad máxima de una planta, por lo que si una planta alcanza pronto la madurez y no crece más, serán necesarios pocos conejos para devorarla por completo. Las plantas con poca madurez son por tanto las que menos capacidad tiene de sobrevivir en el entorno, y dado que el cromosoma que poseía el mejor atributo de madurez no poseía los mejores genes de esporas y crecimiento, tiene sentido que esos atributos tengan menor valor medio en el acervo génico.

Se puede considerar que el experimento cumple su función debidamente, ya que muestra datos razonables y, al mismo tiempo, datos más cuestionables que permiten realizar estudios más exhaustivos sobre porque se producen esos resultados, lo cual es de gran interés en las simulaciones biológicas en las que se suelen utilizar los sistemas de vida artificial.

5.5 EX_5 Evolución del acervo con individuos mal preparados

La principal característica de los sistemas evolutivos es la supervivencia del más apto, por lo que se ha querido incluir un experimento que refleje claramente esto. En esta ocasión se han usado cuatro cromosomas con genes de velocidad con los valores 3, 6, 20 y 25. El peor y el segundo mejor se han utilizado para crear una población de conejos mixta formada por 2 grupos de 80 individuos. La población de zorros se compone de 16 individuos de ambos sexos, de los cuales catorce tienen el cromosoma de valor 6 y dos el de 25. La ejecución dura 20 turnos.

El experimento ha sido realmente exitoso (Figura 5.8), dado que el primer ciclo ya supone la eliminación de aquellos individuos con un genotipo poco efectivo, y aunque en el segundo ciclo se mantenga el valor medio estable, durante el resto de la ejecución los zorros con mejor velocidad son los que están predominando y esto provoca también la supervivencia de los conejos más aptos. Este experimento demuestra la fuerte presencia de la selección natural en el sistema de vida artificial desarrollado.

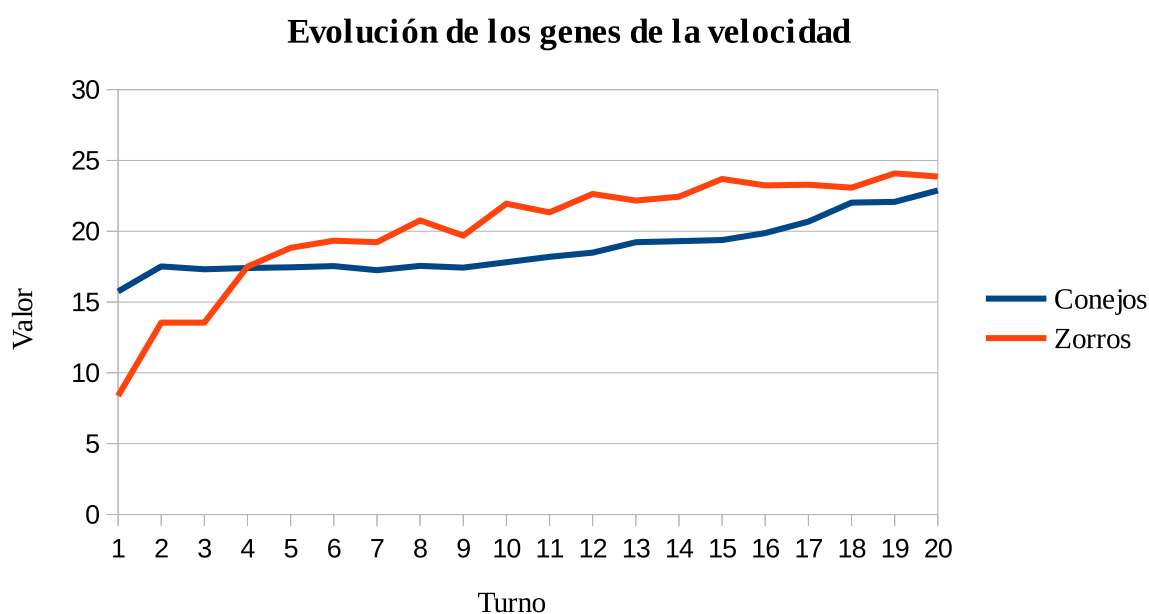


Figura 5.8: Comparativa de la evolución de los genes

5.6 EX_6 Estrategias Evolutivamente Estables

El último experimento se realiza sobre la segunda versión del programa comentada en la descripción del sistema. Recordemos que esta versión incorporaba un nuevo tipo de individuos que se enfrentarán entre ellos por ver si las dos estrategias posibles, palomas o halcones, son estables en las proporciones enunciadas por Dawkins. Además, el éxito de esta prueba servirá como verificación de que el *framework* puede usarse para simular problemas de este tipo y es fácilmente extensible.

Se utilizará una población de 240 individuos, de los cuales la mitad tomará la estrategia de paloma, y la otra la de halcón. Según Dawkins, las proporciones deberían estabilizarse en $\frac{5}{12}$ palomas y $\frac{7}{12}$ halcones, lo que supone 100 palomas frente a 140 halcones.

Viendo la gráfica (Figura 5.9) se puede apreciar como los individuos parecen oscilar ligeramente en las proporciones enunciadas por Dawkins, al hacer la media de los valores, las medias de las poblaciones mostradas en la gráfica son 103,35 palomas frente a 136,65 halcones. Al hacer esta operación con las diez ejecuciones realizadas y calcular posteriormente la media de estas, obtenemos que la proporción de individuos es 103,57 palomas y 136,43 halcones.

No es exactamente la proporción de Dawkins, pero teniendo en cuenta el carácter estocástico de la experimentación, el resultado es bastante cercano. Para la realización de este experimento hubo una versión anterior en la que los individuos escogían aleatoriamente su adversario, a diferencia de la versión con la que se están ejecutando los actuales experimentos, en la cual cada individuo en su turno se enfrenta a todos los individuos de la población. En estos experimentos los números no eran tan cercanos a las proporciones calculadas por Dawkins, y a menudo influía la cantidad de turnos que transcurrían antes de volver a actualizar la población con las nuevas proporciones. Sin embargo, siempre se apreciaba una cierta estabilidad, lo que nos hace concluir que aunque se utilicen las matemáticas para calcular la relación estable, la forma que tiene el ecosistema de evolucionar influye en ese cálculo, alejándose de los resultados exactos pero siempre alcanzando una relación estable con ligeras oscilaciones.

De forma adicional, se ha querido incluir dos experimentos complementarios en los que las poblaciones están compuestas por una única paloma (Figura 5.10) o un único halcón (Figura 5.11).

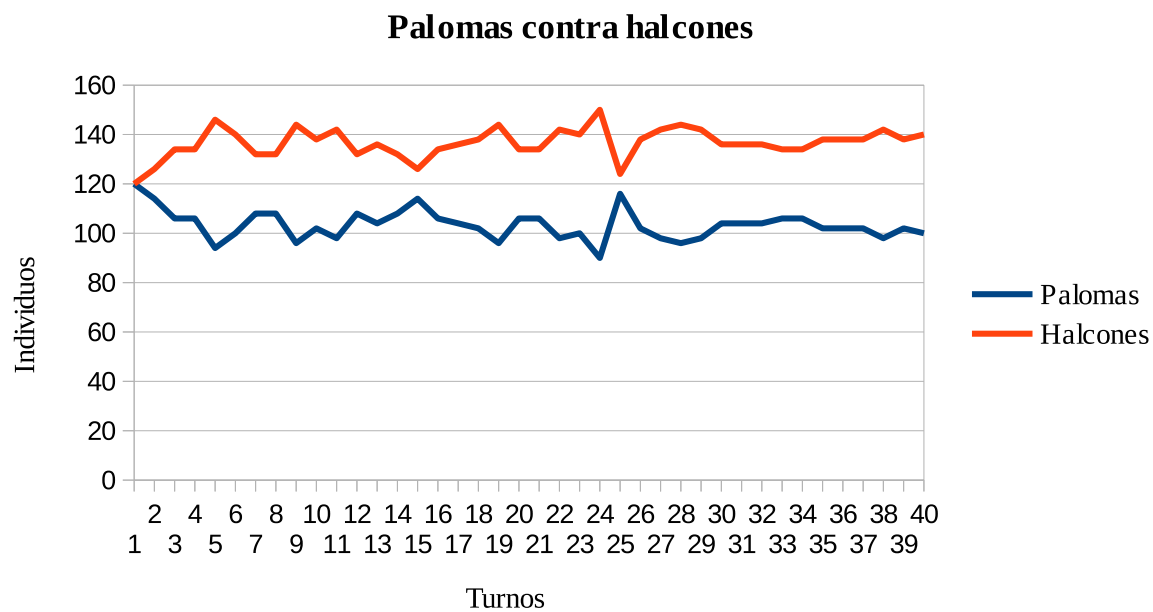


Figura 5.9: *Palomas contra halcones*

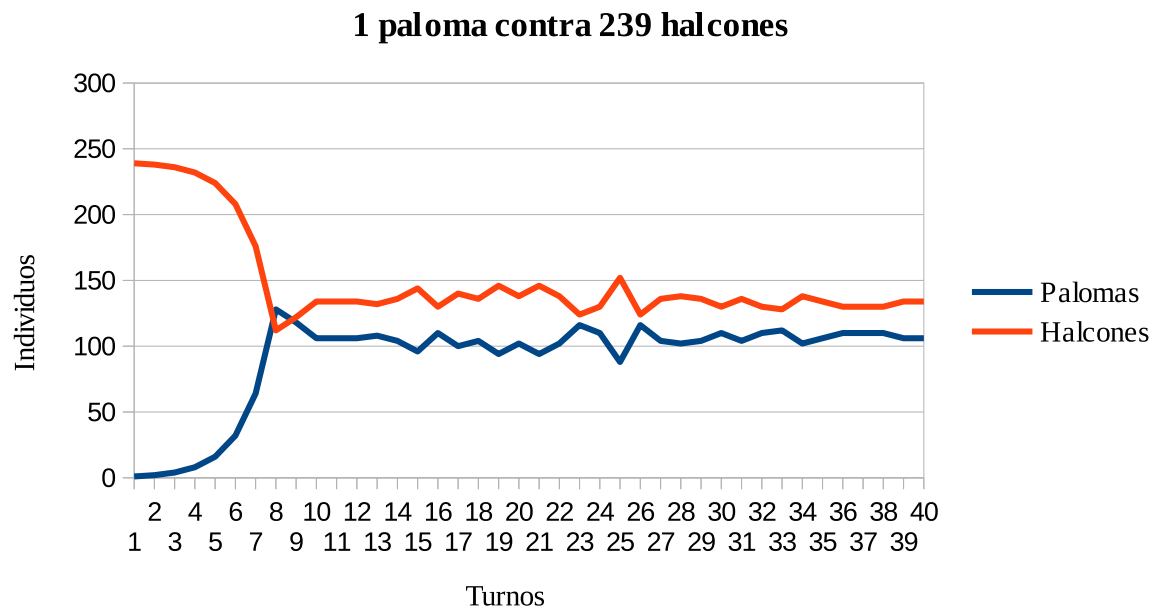


Figura 5.10: *1 paloma contra 239 halcones*

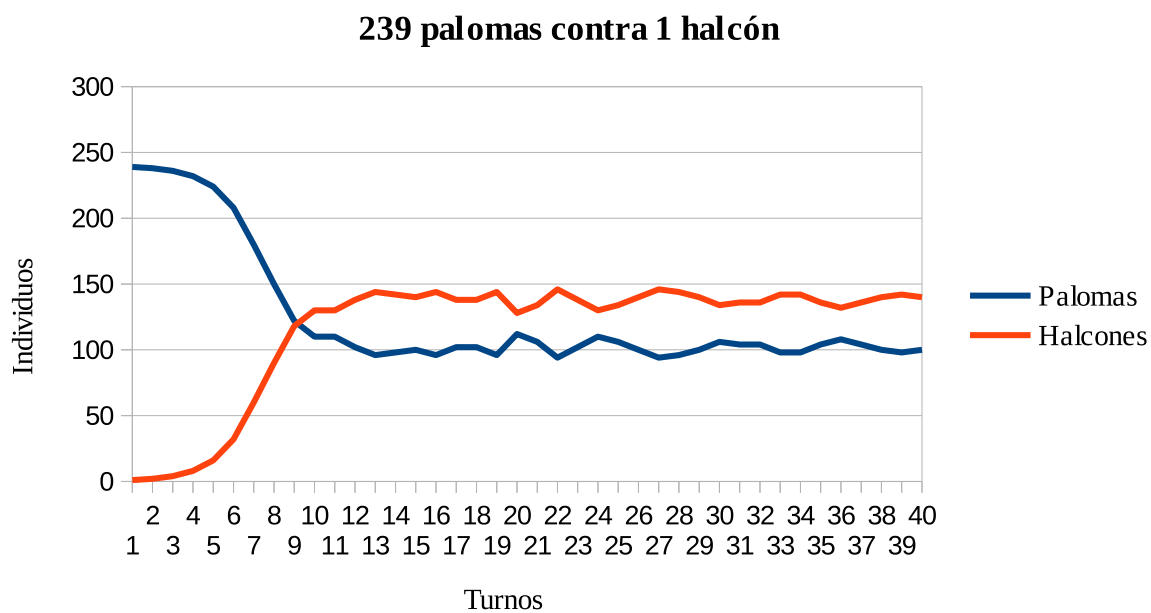


Figura 5.11: 239 palomas contra 1 halcón

Capítulo 6

Conclusiones

En esta sección vamos a exponer las conclusiones obtenidas tras el desarrollo del proyecto y a resumir los resultados de las pruebas llevadas a cabo. Posteriormente, se detallarán las posibles líneas de trabajo futuro que podrían tomarse desde el actual sistema.

6.1 Validación de objetivos

El primer objetivo del sistema era conseguir comportamientos colaborativos entre los individuos de una especie para asegurar la supervivencia de las crías. Estos comportamientos estaban fundamentados en las teorías de Dawkins sobre el interés de los individuos por preservar sus propios genes en la población, surgiendo así un comportamiento altruista de los familiares cercanos a un individuo para conseguir la supervivencia de este. Tras los experimentos se vio como esto era un comportamiento presente en el sistema, no sólo de padres a hijos, también por parte de abuelos, primos, hermanos o tíos, ya que, aunque muchos de ellos no se veían tan recompensados debido a la distancia genética calculada según enuncia Dawkins, existían ocasiones en las que la motivación era mayor que la de otras acciones como comer o conseguir comida, pudiendo darse este cuidado por parte de los familiares menos directos.

Además, el uso de la felicidad y diversos territorios, provocaba que los individuos que no podían hacer nada por difundir sus genes optaran por migrar. Migrar también era una acción preferible cuando un territorio dejaba de ofrecer recursos. Por lo que se puede concluir que los individuos migran buscando mejores condiciones de vida como sucede en la naturaleza.

Por otra parte, el *framework* ha logrado ser una plataforma funcional y extensible, permitiendo fácilmente la incorporación de nuevos individuos con genes específicos y comportamientos diferentes a los ya existentes. Esto quedó demostrado en los experimentos realizados, que probaron la correcta funcionalidad del entorno e ilustraron cómo se efectuaban evoluciones en la población, elemento totalmente característico de los sistemas de vida artificial. Estas evoluciones se efectuaban tanto a nivel de

población como de individuos. En el primer caso variando la cantidad de individuos de una misma especie a lo largo de la simulación y siendo posible en cualquier momento la extinción de alguna de ellas. En caso de efectuarse esta extinción de alguna de las especies, se apreciaba una rotura en la cadena alimenticia representada en el sistema, y conllevaba la extinción de otra de las especies o de las dos, lo cual es bastante fiel a la realidad.

En el segundo caso la evolución se efectuaba en los genes de los individuos, siendo aquellos con mejor genotipo los que conseguían reproducirse y, por tanto, influir en los valores medios presentes en el acervo génico. Esto permitía ver que atributos eran más relevantes en la supervivencia de los individuos y era coherente con el principio de la supervivencia del más apto.

Por último, uno de los experimentos que probaron el correcto funcionamiento del sistema como entorno para estudio de la evolución de poblaciones, fue el caso hipotético de las palomas y los halcones usado por Dawkins para ilustrar el funcionamiento de las estrategias evolutivamente estables. Dicho problema obtuvo en los experimentos resultados prácticamente similares a los enunciados por Dawkins, cumpliendo así el tercer objetivo del proyecto, y demostrando la eficacia del sistema en su uso como herramienta de verificación de hipótesis etológicas.

En general, se puede concluir que el *framework* ha cumplido todos los objetivos satisfactoriamente, dando como resultado una plataforma con gran base biológica y etológica que puede evolucionar fácilmente y ser usada para diversos fines, tanto académicos, como lúdicos o económicos.

Por otra parte, tras el desarrollo de este proyecto, hemos llegado a la conclusión de que los principios biológicos que rigen el comportamiento son un campo de estudio realmente interesante, y que su investigación desde la perspectiva del desarrollo de sistemas de vida artificial supone un aprendizaje muy valioso.

6.2 Trabajo futuro

La implementación llevada a cabo en este trabajo pretendía ser un punto de partida que cumpliera ciertas características mínimas. Alcanzado ese objetivo, existen una gran cantidad de líneas de trabajos futuros dedicadas a mejorar el *framework* entre otras cosas.

En primer lugar, el *framework* está preparado para incluir fácilmente nuevas especies de individuos con características y comportamientos propios. Añadir más individuos sería una interesante línea de trabajo que dotaría de riqueza y diversidad al sistema. De la misma manera, incorporar nuevos comportamientos a los individuos, o añadir complejidad a los ya existentes permitiría una aproximación más precisa a los comportamientos presentes en la naturaleza y repercutiría en simulaciones más realistas. En este caso, utilizar el *framework* para realizar otros experimentos etológicos o biológicos es otra línea posible que puede tomar el proyecto.

En la misma línea iría la sofisticación de los cromosomas utilizados, añadiendo más genes y codificando la influencia de estos en los comportamientos. Por ejemplo, una de las ideas surgidas durante el diseño consistía en incluir genes que influyeran directamente en el aspecto de los individuos. Estos guardarían cierta relación con los genes que codifican los atributos físicos, pero permitirían generar una “apariencia” que podría ser utilizado por otros animales para estimar ciertas cualidades de un individuo, como la cantidad de alimento que se puede obtener al cazarlo, o si posee mayor velocidad. Además, incorporar estos cambios permitiría la explotación de más teorías enunciadas en la obra de Dawkins, como son el altruismo hacia individuos similares, basadas en que si se parecen a uno mismo, es porque poseen genes comunes. Otra opción sería trabajar en todo lo referente al engaño y los seres que pretenden hacerse pasar por lo que no son para beneficiarse a sí mismos, lo cual tendría bastante repercusión, pues en cierto modo, se estarían modelando sistemas de razonamiento y engaño.

La incorporación de mejoras en el *framework* puede también aplicarse al territorio, añadiendo ciertas características que permitieran simular hábitats más complejos con ecosistemas específicos. Estos cambios también incluirían la implementación de estaciones del año, clima, viento, tipo de tierra o la simple incorporación del día y la noche.

Como plataforma de simulación de vida artificial hay muchas líneas posibles que llevarían a la mejora del *framework*. Pero en su estado actual, una línea posible es utilizarlo como complemento en un videojuego que contenga individuos animales modelados mediante un sistema de vida artificial, presentando una alternativa más innovadora a la tradicional aparición aleatoria de animales. Del mismo modo, puede utilizarse en simulaciones basadas en el comportamiento para obtener predicciones o estimaciones con fines enfocados a la elaboración de estrategias de negocio.

En resumen, las principales líneas futuras que podría tomar el actual trabajo serían:

- Implementar nuevas especies y comportamientos.
- Añadir complejidad a los cromosomas de los individuos y la influencia que ejercen los genes en el sistema.
- Incorporar nuevos elementos a los territorios que permitan situaciones más realistas y doten de sentido a ciertos comportamientos que únicamente son coherentes bajo ciertas circunstancias del ecosistema.
- Utilizar el *framework* con fines académicos como plataforma de simulación de ecosistemas biológicos.
- Utilizar el *framework* como herramienta de simulación de comportamientos para elaborar estrategias de negocio.
- Utilizar el *framework* como complemento en proyectos de videojuegos, pudiendo así desarrollar proyectos que incorporen sistemas de vida artificial más sofisticados en algunos de los personajes no jugadores.

Capítulo 7

Gestión de proyecto

Esta sección esta dedicada a aquellos aspectos de la gestión del proyecto una vez realizado, es decir, la planificación realizada en el proyecto, el presupuesto utilizado para su desarrollo, el marco regulador aplicable, y el impacto en el entorno socio-económico provocado.

7.1 Planificación

El desarrollo del proyecto se ha realizado durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre y ha estado compuesto por cuatro fases diferenciadas por su carácter y objetivos. En este apartado se detalla en que ha consistido cada una de las fases y como se ha trabajado en ellas a lo largo del proyecto.

Las fases en las que se ha estructurado el proyecto son:

- **Documentación:** Dado el carácter investigador que adquirió el proyecto y la fuerte presencia de documentación biológica y etológica, una de las fases más relevantes para el trabajo estuvo dedicada exclusivamente a estudiar la obra de Dawkins y otras obras relevantes, analizar los principios y teorías en ellas expuestas, y extraer el conocimiento que se quería utilizar en el diseño del sistema de vida artificial.
- **Diseño:** En esta fase se realizaron varias reuniones con el fin de seleccionar aquellos elementos de mayor interés para el proyecto, evaluando para ello los conocimientos adquiridos durante la fase de documentación, y debatiendo sobre como reflejar ese conocimiento en un sistema de vida artificial. Durante esta fase se fijaron los objetivos y el alcance que iba a tener el proyecto. También está incluido el desarrollo del diseño a alto y bajo nivel del *framework* implementado.
- **Implementación:** La fase de implementación concierne a todo el desarrollo del *framework* en base al diseño realizado en la fase anterior. También implica los sucesivos cambios realizados para corregir el funcionamiento esperado.

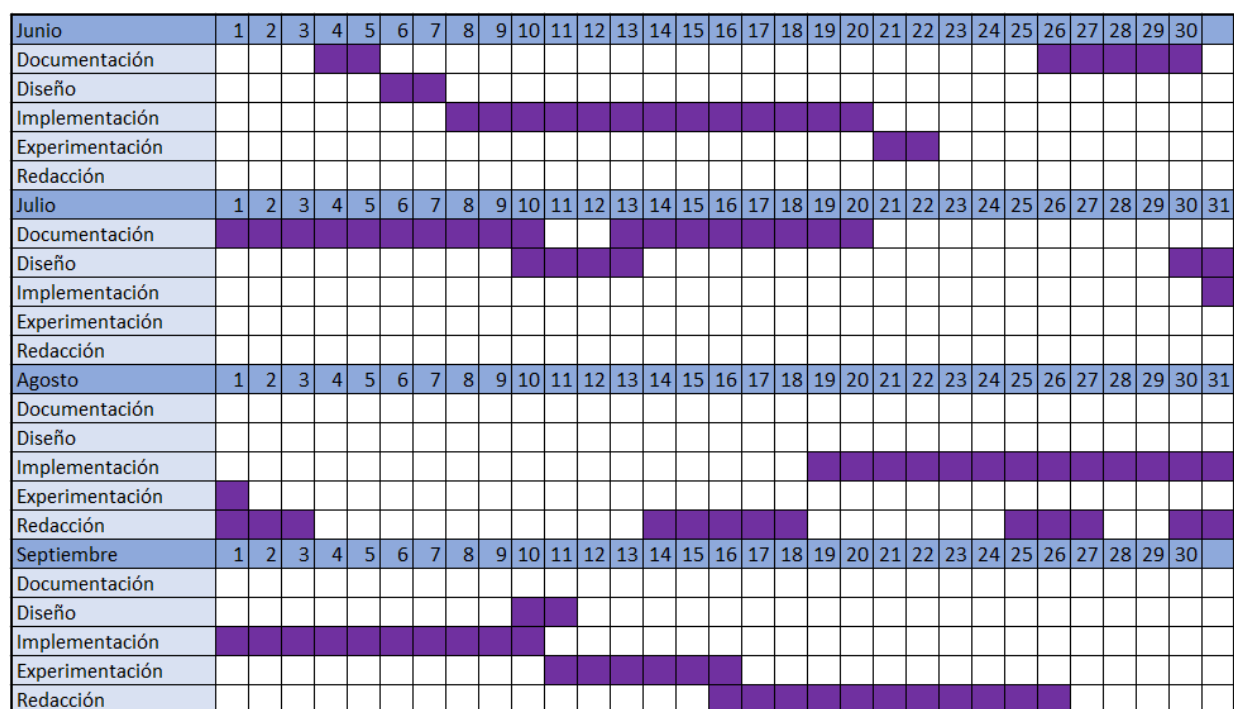


Figura 7.1: Diagrama de Gantt

- **Experimentación:** Esta fase se compone de el diseño de las pruebas, la ejecución de las mismas, y la síntesis de los resultados obtenidos. También concierne a esta base la verificación de las funcionalidades implementadas en la fase anterior.
- **Redacción:** Por último, la fase de redacción está dedicada exclusivamente a la redacción del actual documento y todo lo que en él se expone. Además, esta fase junto con la del diseño es en la que el tutor más ha intervenido para asegurar la correcta exposición del trabajo realizado.

El tiempo dedicado a lo largo de los cuatro meses que ha durado el proyecto viene expuesto en el siguiente diagrama de Gantt (ver Figura 7.1).

7.2 Marco regulador

El actual trabajo no aplica a estándares técnicos ni a cuestiones relacionadas con la propiedad intelectual de la idea. Además, la versión desarrollada no requiere la aplicación de ninguna legislación. Sin embargo, es conveniente mencionar que dada la intención de que el actual proyecto pueda ser utilizado por terceros en nuevos proyectos e incluso modificado, el proyecto será publicado bajo Licencia MIT [1].

Por otra parte, en caso de alcanzarse en un futuro el objetivo general, creándose así un videojuego cuyos personajes no jugadores fueran completamente autónomos, sería parte de las responsabilidades éticas ocuparse de limitar comportamientos o conductas

que puedan influir negativamente en los valores morales de las personas o atentar contra los derechos humanos. Además, si estos *bots* alcanzaran la suficiente complejidad en su sistema de vida como para superar el Test de Turing, o conseguir que algunas personas no reconocieran si con quien interactúan es un humano o una máquina, sería importante la presencia de aspectos éticos y legales que regulen las posibilidades de estas interacciones.

7.3 Entorno socio-económico

Este proyecto ha proporcionado una primera versión de un *framework* para el desarrollo de un sistema de vida artificial, y la memoria redactada sirve como buena introducción a la etología. Teniendo en cuenta estos dos elementos, el trabajo podría tener un importante impacto socio-académico sirviendo como base o referencia para futuros trabajos de vida artificial, especialmente en la Universidad Carlos III de Madrid, donde no se publicaban trabajos fin de grado con esta temática desde hacía años.

Además, por su enfoque orientado a la industria del entretenimiento, puede ser de interés para aquellos aficionados (sin perfiles técnicos) que sientan curiosidad por cómo se podrían utilizar las técnicas y herramientas de los sistemas de vida artificial en la industria.

En el ámbito académico también podría aplicarse como herramienta de estudio en experimentos biológicos o etológicos, incluso, dado el carácter de software libre del proyecto, esos estudios o intereses de los expertos pueden contribuir al refinamiento del sistema mediante actualizaciones de la plataforma que promoverían el trabajo colectivo. Igualmente, por el amplio rango de áreas que pueden aplicarse en la vida artificial, estas aportaciones pueden provenir de expertos en distintos campos, como la informática, la geología, la sociología o la física, entre otras.

Por otra parte, en el sector económico el sistema podría ser integrado en simuladores de comportamientos colectivos con fines de predicción o estudio de mercado, o también servir como punto de partida para diseñar alguno de ellos. Esto influiría en los estrategias de mercado como actualmente pasa con muchísimas de las técnicas de computación de datos.

Entre las aplicaciones en el sector económico, la más destacada a lo largo del proyecto ha sido su utilización para videojuegos, creando proyectos que integren auténticos sistemas de vida artificial. Esto puede ser una estrategia de jugabilidad con buenos resultados, pero lo más destacable es que en el momento en el que se redacta este proyecto, en caso de tener éxito, sería un producto innovador que serviría como referencia para futuros trabajos de diversas compañías. Además, probablemente provocaría el interés por invertir en la explotación de las técnicas y herramientas de los sistemas de vida artificial, aportando si lo consideraran necesario, recursos en la investigación y el uso de nuevas técnicas y herramientas que favorecerían no solo a la industria, sino también a la comunidad académica.

Por último, una aplicación fundamental que tiene el actual trabajo es servir de punto de partida para mi trabajo fin de máster, en el cual podré desarrollar muchas de las líneas futuras planteadas en este documento.

7.4 Presupuesto

En la actual sección se incluirá el presupuesto utilizado para el desarrollo del proyecto, tanto el coste del equipo y el entorno de desarrollo, como los costes del personal implicado en el trabajo.

En primer lugar, el coste hardware se compone de la utilización de un único equipo cuyo periodo de amortización está planteado en una vida útil de 5 años.

En cuanto al coste software, este trabajo no ha requerido inversión ya que todas las herramientas usadas son software libre o código abierto. El software utilizado ha sido:

- Debian GNU/Linux 8 (jessie) 64-bit
- Python 3.4.2
- Open Office calc
- Latex

Los costes del personal implicado en el proyecto, los cuales son el autor y el tutor, se pueden encontrar en la tabla 7.2. Los salarios indicados son brutos, y deben ser sometidos a las pertinentes retenciones del impuesto sobre la renta de las personas físicas y las retenciones de la seguridad social.

Finalmente, como se aprecia en la tabla 7.3, el coste total del proyecto supone 6.290,00 €.

Concepto	Equipo de desarrollo
Precio Unitario	600,00 €
Unidades	1
Periodo de amortización (meses)	60
Amortización mensual	10,00 €
Duración del proyecto (meses)	4
Amortizado en el proyecto	40,00 €
Total	40,00 €

Tabla 7.1: Presupuesto en equipo técnico

Concepto. ABP (Autor)	Horas	Coste (€/h)	Total
Fase documentación	30	15,00 €	450,00 €
Fase diseño	15	20,00 €	300,00 €
Fase implementación	120	20,00 €	2400,00 €
Fase Experimentación	50	25,00 €	1250,00 €
Fase Redacción	70	15,00 €	1050,00 €
Coste total	285		5.450,00 €
Concepto. ABG (Tutor)	Horas	Coste (€/h)	Total
Fase documentación	10	15,00 €	150,00 €
Fase diseño	5	25,00 €	125,00 €
Fase implementación	0	20,00 €	0,00 €
Fase Experimentación	5	25,00 €	125,00 €
Fase Redacción	20	20,00 €	400,00 €
Coste total	50		800,00 €

Tabla 7.2: Presupuesto en personal

Concepto	Coste
Equipo de desarrollo	40,00 €
Entorno de desarrollo	0,00 €
Personal (autor)	5.450,00 €
Personal (tutor)	800,00 €
Total	6.290,00 €

Tabla 7.3: Presupuesto total

Anexo A

Discusión Crítica

Como informáticos, nuestro conocimiento en la biología es limitado, y tras leer la obra de Dawkins, hay muchos aspectos de la vida que ahora vemos desde otro punto de vista. El interés por realizar esta discusión no es otro que exponer como la complejidad del comportamiento humano, a menudo sólo es comprensible por el ser humano.

Los humanos somos animales, lo único que nos separa de otras especies menos desarrolladas son los siglos de evolución. Esto es claro porque todas las personas presentamos comportamientos instintivos que arrastramos desde hace centenas de generaciones. Comportamientos que de una manera u otra, en el mundo animal también se dan, pero, ¿es esta evolución buena para la supervivencia?

Los animales, al igual que los humanos, deben invertir una gran cantidad de recursos en que su herencia trascienda. Pero curiosamente, los animales son mucho más conscientes de este esfuerzo que los humanos, y por ello evitan emplear más recursos de los necesarios. Como vimos en los fundamentos biológicos, los animales evalúan el estado del ecosistema antes de reproducirse, y la descendencia que producen ha sido calculada de forma que haya individuos que consigan crecer lo suficiente como para reproducirse y extender la herencia, pero a veces no se cuenta con los suficientes recursos para conseguirlo.

En la naturaleza los animales que no son capaces de ocuparse de sus crías son penalizados, solo aquellos que con prudencia, crían aquellos individuos válidos son los que consiguen perdurar. En muchos casos, los animales engendran camadas especialmente grandes porque cuentan con que muchos de ellos servirán de alimento para otras especies y morirán antes de llegar a la edad adulta, o incluso no estarán preparados físicamente para sobrevivir. En algunas especies, los individuos no aptos suelen ser devorados por la madre al poco de nacer, ya que de esta forma recupera parte de los recursos invertidos.

Este comportamiento puede parecer cruel, pero es perfectamente lógico. Si un individuo no tiene probabilidades de sobrevivir no tiene sentido criarlo. Por ejemplo, si un conejo naciera con una deformación en las patas que le impidiera correr, sus padres deberían invertir muchísimos más recursos si quieren que sobreviva, ya que su cría no

puede valerse por si misma. Y todos esos recursos empleados tendrían como resultado que el conejo deforme se reprodujera, extendiendo los genes de la deformidad. Los padres tendrán ahora que cuidar también de sus nietos, y cuando ellos falten, todos estarán condenados a morir. Claramente, criar a un conejo con estas características es una pérdida absoluta de recursos que podrían emplearse en criar otros individuos mejor preparados y que tendrían más fácil contribuir a la presencia de los genes en el acervo génico.

Puede que el ejemplo de un conejo tullido sea muy extremista, pero aun así, en la naturaleza muchas especies de, por ejemplo, aves rapaces, no invierten recursos en criar a sus polluelos si no nacen con cierto tamaño o características clave, y la única razón de esto, es que saben que con esas carencias va a tener dificultades para sobrevivir. Es mejor opción por tanto, sacrificarlas al principio y no invertir ningún recurso más.

Esto en la sociedad humana es completamente contrario. Actualmente, hay una cantidad inmensa de recursos destinados a que individuos con menos capacidades que el resto sobrevivan. Quizá ese concepto de «menos capacidades que el resto», no sea el más indicado, pero simplemente porque la sociedad humana ha evolucionado hasta un punto en el que las carencias de las personas pueden ser solventadas. No necesitando cazar, la velocidad y la fuerza no son necesarias, con la existencia de las calefacciones no necesariamente los individuos con mejor capacidad para adaptarse a las temperaturas adversas serán los que consigan reproducirse.

Llegados a este punto, es interesante pensar si el camino que está tomando la evolución de los humanos favorecerá la supervivencia de los más aptos, o por contra, permitirá que las nuevas generaciones tengan peores capacidades que sus progenitores.

La sociedad humana es muy distinta a la de los animales pues la moral, la ética y los sentimientos son un condicionante del comportamiento muy importante, a pesar que desde un punto de vista puramente instintivo, lleven a comportamientos irracionales como el sacrificio por el honor, los cuales no favorecen la presencia de los propios genes en el acervo génico.

Otro punto importante del que hablar, es como ha cambiado la elección de pareja entre animales y humanos. Dawkins dedica un capítulo de su libro a este tema, en él se concluye que las hembras son las mayores contribuyentes a la gestación de un nuevo individuo. Mientras que el macho se ha desarrollado para poder esparcir con mayor facilidad su herencia entre las distintas receptoras, las hembras aportan una mayor cantidad de recursos iniciales sólo con la creación de un óvulo. Además, deben llevar en su seno a los nuevos individuos, limitando sus capacidades y mermando la cantidad de recursos que tienen para ellas mismas. Es por ello, que a lo largo del tiempo, la evolución ha favorecido a aquellas hembras que han sabido escoger mejor a sus parejas.

Esta capacidad para escoger pareja es realmente importante, ya que no solo se basa en escoger un macho con las mejores capacidades, sino en escoger un macho válido. Para una burra, es un grave error escoger como pareja a un caballo, ya que todos los recursos empleados en la gestación de esa criatura darán lugar a un mulo, y después de

otra gran cantidad de recursos empleados en criar dicho mulo, la sorpresa de la hembra cuando se entere de que su descendiente es estéril será realmente desagradable. Para un caballo no, los espermatozoides son un recurso relativamente fácil de producir, y toda la gestación la realiza la hembra.

Es por esta razón, que en la naturaleza las hembras suelen ser monógamas mientras que los machos son promiscuos. Por el ritmo de producción de óvulos y todo lo que conlleva engendrar una criatura, a las hembras les interesa escoger una buena pareja y reproducirse con ella, mientras que a los machos la estrategia de aparearse con todas las hembras que puedan no supone apenas inversión de recursos y favorece enormemente la expansión de los genes en el acervo génico.

Viendo esto, está claro que el recurso escaso e importante es el óvulo, los machos deben competir por las hembras. Para ello suelen utilizar vistosos colores, pero esto es contraproducente porque los vistosos colores también atraen a los depredadores. Se produce así un conflicto de intereses donde los machos deben escoger arriesgar mucho para ganar mucho.

La parte interesante de todo esto, es que en la sociedad humana sucede exactamente al revés. Son las mujeres las que buscan atraer a los hombres, las que más se preocupan por su apariencia y de las que más se habla en los medios. Por contra, parece que el atractivo sexual de los hombres no tiene tanta importancia en la sociedad. ¿Qué ha sucedido en la población humana para que parezca que la demanda es de machos?

Una teoría podría ser que durante años, por cómo se ha desarrollado la sociedad, la mujer ha tenido menos posibilidades que los hombres, siendo para ella importante ser escogida por un macho que decidiera emplear recursos en ella con la finalidad de que esta le sirviera para reproducirse. Sin embargo, en la actualidad las mujeres no están tan limitadas, y muchos afirmarían que son ellas quienes tienen la última palabra en la selección de pareja. ¿Por qué entonces siguen siendo mayoritariamente ellas quienes se exhiben con la intención de atraer a los machos? Quizá en la sociedad humana existan formas más complejas de atraer a potenciales parejas válidas, y pensar únicamente en el reclamo por exhibición física sea incorrecto, pero incluso siendo así, es difícil negar que todos los humanos que buscan pareja exhiben alguna cualidad propia con el fin de atraer posibles pretendientes.

Estas son sólo algunas de las cuestiones que uno puede pararse a pensar cuando estudia la complejidad de la sociedad humana, y creemos que meditar sobre estos fenómenos con una visión crítica, es imprescindible si se quiere llegar a construir entornos de vida artificial donde se pretendan simular sociedades humanas.

Bibliografía

- [1] The mit license. <https://opensource.org/licenses/MIT>, Septiembre 2017. consultado el 26/09/2017.
- [2] Repositorio “watership” en github. <https://github.com/SeindElBardo/Watership>, Septiembre 2017.
- [3] Chris Adami and C. Titus Brown. Evolutionary learning in the 2d artificial life system “avida”, 1994.
- [4] Richard Adams. *La colina de Watership (Watership Down)*. Seix Barral, 1972.
- [5] Walter C. Rothenbuhler. Behaviour genetics of nest cleaning in honey bees. i. responses of four inbred lines to disease-killed brood* 1. 12:578–583, 10 1964.
- [6] Richard Dawkins. *El gen egoísta (The Selfish Gene)*. Oxford University Press, 1976.
- [7] Naturally Intelligent. CAI.Planet, 2002. <http://aiplanet.sourceforge.net>; consultado el 21/09/2017.
- [8] Peter Joslin. *Estudio de la evolución de vida artificial: ALiS (Artificial Life Simulator)*. PhD thesis, Facultad de Informática , Universidad Complutense de Madrid, Av. Séneca, 2, 28040 Madrid, 7 2004. http://eprints.ucm.es/9286/1/Memoria_ALiS.pdf.
- [9] Julio Vadillo Muñoz. *Desarrollo de un simulador de vida artificial para el estudio de la evolución de comportamientos sociales*. PhD thesis, Universidad Carlos III de Madrid, Av. de la Universidad, 30, 28911 Leganés, Madrid, 5 2008. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/5392/PFC_Julio_Vadillo_Munoz.pdf.
- [10] Thomas S. Ray. Evolution and optimization of digital organisms. page 489–531, 12 1991.
- [11] Daniel Vázquez Romero. *Simulador gráfico de vida artificial*. PhD thesis, Universidad Carlos III de Madrid, Av. de la Universidad, 30, 28911 Leganés, Madrid, 5 2008.
- [12] Ken Stauffer. Evolve 4.0, 1996. <https://github.com/rubberduck203/Evolve>; consultado el 21/09/2017.

- [13] Jeffrey Ventrella. Gene Pool, 2012. <http://www.swimbots.com>; consultado el 21/09/2017.
- [14] Jeffrey Ventrella and Brian Dodd. Darwin pond, 1996. <http://www.darwinpond.com>; consultado el 21/09/2017.
- [15] Larry Yaeger. Computational Genetics, Physiology, Metabolism, Neural Systems, Learning, Vision, and Behavior or PolyWorld: Life in a New Context, 1994. <http://shinyverse.org/larryy/Yaeger.ALife3.pdf>; consultado el 21/09/2017.

