

SEP

TNM

INSTITUTO TECNÓLOGICO DE TIJUANA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



GENERACIÓN PROCEDURAL DE NIVELES PARA EL
VIDEOJUEGO DE ANGRY BIRDS UTILIZANDO
COMPUTO EVOLUTIVO

TRABAJO DE TESIS

PRESENTADO POR

JAIME SALINAS HERNÁNDEZ

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS
EN COMPUTACIÓN

DIRECTOR DE TESIS
DR. JOSÉ MARIO GARCÍA VALDEZ

Tijuana, B.C., México. Agosto 2019

Resumen

El entender el comportamiento de los mercados financieros es importante para determinar el estado de la economía de un país. Las herramientas actuales para entender estos comportamientos son variadas y usualmente pueden ser asignadas a una de dos categorías: análisis fundamentalista o técnico. El análisis fundamentalista se basa en analizar cualquier factor que pueda afectar el valor de un activo, tales como condiciones financieras o la administración de una compañía, mientras que el análisis técnico se enfoca exclusivamente en analizar los movimientos de los precios de un mercado. Esta tesis presenta un método de predicción para mercados financieros basado en análisis técnico. El método puede ser usado como una estrategia de intercambio y como una herramienta para entender el comportamiento de un mercado financiero y sigue una arquitectura basada en agentes donde las reglas de los agentes están basadas en lógica difusa. Específicamente se usan sistemas difusos intuicionistas que le permiten a los agentes modelar tanto la incertidumbre como la indecisión en un mercado. Para poder modelar la percepción de los agentes, los precios de un mercado son preprocesados usando un algoritmo basado en un indicador técnico basado en retrasos. Una implementación del método propuesto demuestra la versatilidad del sistema, ya que los modelos generados pueden llevar a estrategias de intercambio rentables, así como modelos que pueden ser interpretados por un ser humano para obtener posibles explicaciones sobre el comportamiento de un mercado.

Abstract

In this paper, we propose an evolutionary algorithm that follows an open-ended evolution approach to generate levels for the Angry Birds video game. The levels themselves are composed of a set of birds that the player can throw with a slingshot, a certain amount of pigs that they must destroy, and a given number of pieces that conform structures that may or may not protect the pigs from birds thrown at them. The current goal is the generation of diverse structures that are playable in the game, having the additional characteristics of being fun and enjoyable. We propose a multi-layered search, first constructing composite structures from basic blocks, to then build more complex structures building from these composites. We follow an open-ended evolution approach in which the evolution of structures is not guided towards a single objective but is rather free to evolve and generate novelty or diversity. The fitness function we use to evaluate the proposed levels considers how complex levels have become and how different they are from the rest of the population. The experiments conducted show that an evolutionary approach allows the generation of levels that are novel and interesting to play.

Agradecimientos

Agradezco principalmente a mi familia, quien sin duda alguna me brindo todo el apoyo y comprensión necesaria para poder continuar con mi desarrollo académico, su motivación brindada para ayudarme a salir adelante es sin duda lo que me ayudo a llegar tan lejos.

Agradezco a mis amigos y compañeros de maestría Sergio y Eduardo con quienes me embarque en esta aventura de conocimiento, agradezco su compañía, su tiempo y su apoyo.

Agradezco a los profesores con quienes curse mis materias, M.C.C. Alejandra Mancilla, Dr. Fevrier Valdez, Dra Denisse Paulette, M.C.C. Gabriela Martínez, M.C.C. Claudia Gonzalez, Dr. Jose Soria, Dr Oscar Castillo, Dra. Patricia Melin, gracias al conocimiento adquirido por ustedes es que logre llegar hasta aqui.

Un grand agradecimiento a mi director de tesis el Dr. Mario Garcia Valdez por el apoyo que me brindo, su paciencia con mis errores, el tiempo que dedico a ayudarme con mis dudas y la comprensión brindada.

Finalmente le agradezco al Instituto Tecnológico de Tijuana por la educación de alta calidad recibida, de igual manera agradezco a CONACYT por el apoyo otorgado a travez del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (numero de CVU 797248).

Índice general

Índice general	i
Índice de Figuras	iv
List of Tables	vi
1 Introduction	1
1.1 Justificacion	5
2 Preliminaries	7
2.1 Algoritmos Genéticos	7
2.2 Generación procedural de contenido	10
2.2.1 PCG en el ámbito de videojuegos	11
2.2.2 Áreas de interés de generación procedural	11
2.2.3 Diseño de niveles	12
2.2.4 Gráficos	14
2.2.5 Audio	15
2.2.6 Narrativa	17
2.2.7 Reglas y Mecánicas	18
2.2.8 Juegos	20
2.3 Jugabilidad	22
2.4 Open-Ended Evolution	24
3 Estado del arte	26

ÍNDICE GENERAL

3.1	Competencia IEEE CoG	26
3.2	Algoritmos de busqueda	27
3.3	Agentes para jugar	29
4	Propuesta del proyecto	31
4.1	Propuesta utilizada	31
4.1.1	Generar compuestos de piezas base	32
4.1.2	Generacion de compuestos mediante objetos de clase	33
4.1.3	Generar niveles utilizando algoritmos genéticos	37
4.2	Propuestas anteriores	38
4.2.1	Propuesta orientada a métodos	39
4.2.2	Regla de tercios	40
5	Implementación	45
5.1	Codificando los diccionarios de piezas	45
5.2	Creación de compuestos	47
5.3	Definición de clase auxiliar de individuo	48
5.4	Generación de individuos	49
5.4.1	Integración de miembros elite	51
5.4.2	Operador de selección	53
5.4.3	Operador de cruce	54
5.4.4	Operador de mutación	55
5.4.5	Representación de individuos	60
5.4.6	Calculo de fitness	62
5.4.7	Selección de miembros elite	68
6	Experimentos y Resultados	69
6.1	Forecasting the Prices of a Financial Market	71
6.1.1	AUD/USD 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals	73
6.1.2	AUD/USD 10 Agents, 10 Rules, 10 Individuals	74

ÍNDICE GENERAL

6.1.3	AUD/USD 20 Agents, 20 Rules, 20 Individuals	75
6.1.4	EUR/GBP 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals	76
6.1.5	EUR/GBP 10 Agents, 10 Rules, 10 Individuals	77
6.1.6	EUR/GBP 20 Agents, 20 Rules, 20 Individuals	78
6.1.7	EUR/USD 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals	79
6.1.8	EUR/USD 10 Agents, 10 Rules, 10 Individuals	80
6.1.9	EUR/USD 20 Agents, 20 Rules, 20 Individuals	81
6.1.10	GBP/USD 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals	82
6.1.11	GBP/USD 10 Agents, 10 Rules, 10 Individuals	83
6.1.12	GBP/USD 20 Agents, 20 Rules, 20 Individuals	84
6.1.13	USD/CAD 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals	85
6.1.14	USD/CAD 10 Agents, 10 Rules, 10 Individuals	86
6.1.15	USD/CAD 20 Agents, 20 Rules, 20 Individuals	87
6.2	Extracting Insights about a Financial Market	88
6.2.1	AUD/USD 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals	89
6.2.2	EUR/GBP 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals	90
6.3	Comparison with other Works	92
	Bibliography	94
	A	97
A.1	Código del sistema	97
	Código principal	97

Índice de Figuras

2.1 Ciclo de vida de un algoritmo genetico	9
2.2 Areas de PCG en videojuegos	12
2.3 Nivel generado en el juego Disgaea	14
2.4 Ejemplo de un juego en progreso en el juego de Yavalath	20
2.5 Puntos de evaluación de jugabilidad	23
4.1 Piezas basicas del juego angry birds	32
4.2 Calculo de bordes de un conjunto	33
4.3 Diagrama de clase de piezas	34
4.4 Diagrama de clase de Composite	35
4.5 Diagrama de clase de Individuo	36
4.6 Diagrama de flujo del algoritmo	38
4.7 Ejemplo de una estructura antes(izquierda) y despues(derecha) de una simulacion	39
4.8 Ejemplo del uso de la regla de tercios en una imagen, el punto de interes se encuentra en la parte central	42
4.9 Ejemplo del uso de la regla de tercios en un conjunto de piezas, el cromosoma de un individuo(izquierda) se combina con la mascara(centro) para generar una estructura mas compleja(derecha)	44
4.10 Resultado obtenido utilizando la regla de tercios, la mascara(izquierda) utilizada y el resultado generado(derecha)	44

ÍNDICE DE FIGURAS

5.1	Cruce de un punto (arriba) y cruce a dos puntos (abajo) aplicada a la mascara de individuos	56
5.2	Ejemplo del operador de mutacion enfocado a remover y agregar compuestos	57
5.3	Ejemplo del operador de mutacion enfocado a cambiar el material de los compuestos, pre-mutacion (izquierda) y post-mutacion (derecha)	58
5.4	Ejemplo del operador de mutacion enfocado a cambiar los compuestos asig- nados, pre-mutacion (izquierda) y post-mutacion (derecha)	59
5.5	Ejemplo de la combinacion de capas de un individuo	60
5.6	Ejemplo de la combinacion de un genotipo armado de la figura 5.5 con la colocacion de enemigos	63

List of Tables

6.1	Parametros utilizados en el algoritmo genetico	70
6.2	Performance of different approaches to financial market forecasting	92

Capítulo 1

Introduction

El tema de generación de contenido procedural es un tema que ha sido tomado con gran interés en el ámbito de desarrollo de videojuegos debido a las facilidades que brinda a las compañías para poder generar contenido que puede ser utilizado en juegos, no es posible ligar la generación procedural de contenido con algún aspecto específico de la creación de videojuegos o inclusive únicamente en el enfoque de videojuegos debido a que el tema puede ser utilizado para varios aspectos diferentes, desde la generación de áreas como en el videojuego Spelunky [1] [2] [2], la generación de historias que sean inmersivas como en Façade [3], la generación de piezas sonoras como las que son posibles de escuchar en Audioverdrive [4], generación de efectos gráficos como el diseño de pétalos en Petalz [5], así como otros en los enfoques de gameplay y videojuegos completos.

Estas ideas han sido de gran interés mutuo entre la industria y la comunidad científica que en 2005 se originó un simposio de la IEEE en el ámbito de Computación Inteligente y Videojuegos (Computational Intelligence and Games) el cual posteriormente pasaría a ser una conferencia en el año 2009.

Esta conferencia tiene el fin de unir a ambos grupos de interés en un mismo lugar con el fin de conocer sobre los avances de la computación inteligente enfocada en juegos, dentro del marco de la misma conferencia se celebran competencias de diferentes juegos tales como Inteligencia artificial en el juego de Hearthstone, jugar niveles de Ms Pac-Man,

CAPITULO 1. INTRODUCTION

competencias de agentes para ganar en juegos de pelea y varios otros.

Dentro de estas mismas competencias se celebra la de generación de niveles para el videojuego de Angry Birds la cual consiste primordialmente en generar niveles que sean interesantes visualmente y sean complejos en el sentido de que sean difíciles de completar por una persona pero que al mismo tiempo no sean imposibles de completar, este juego fue desarrollado por la compañía Rovio Entertainment Corporation[1] en el año 2009, el objetivo dentro del juego consta de utilizar un numero dado de aves con diferentes efectos para eliminar puercos color verde que se encuentran protegidos eh inclusive sobre estructuras de diferentes materiales y formas, en algunos casos al golpear partes de las estructuras se crea un efecto domino que termina por destruir la mayoría de las misma, el juego en cuestión cuenta con un sistema de gravedad que permite que las trayectorias de tiro generen diferentes efectos en las estructuras, en este caso el interés principal es que mediante el uso del sistema de gravedad del mismo juego se puedan crear estructuras interesantes visualmente y que sean lo suficientemente robustas para soportar golpes de las mismas aves y logre mantenerse de pie lo más posible.

El objetivo principal de este proyecto es el de generar un sistema basado en computo evolutivo que logre generar las estructuras que conformaran los niveles del juego de Angry Birds y evaluar estas mismas estructuras mediante los aspectos propuestos en la competencia para que sean entretenidos y complejos con un cierto grado de dificultad. De una manera más estructurada los puntos objetivo que se enmarcaran en el proyecto son los siguientes:

- Adaptar un algoritmo genético para que sea capaz de generar secuencias de estructuras para un nivel mediante objetivos propuestos.
- Modificar y adaptar el software de simulación para poder obtener datos específicos de un nivel para poder evaluarlo.
- Adaptar el método de evolución para permitir que se puedan generar estructuras complejas.

CAPITULO 1. INTRODUCTION

- Explorar las posibilidades de integrar alguna otra técnica de computo evolution para optimizar la generación de niveles.

El trabajo propuesto en este trabajo de tesis tiene como objetivo la generacion de el contenido con el cual un jugador podra interactuar en el videojuego de angry birds, cabe remarcar que el uso de metodos de generacion procedural han sido utilizados con el proposito de realizar competencias en el marco de la conferencia del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) que lleva por nombre Conferencia de Juegos (CoG) en dicha competencia se utilizan algoritmos capaces de generar los niveles que una persona o agente puede jugar. En nuestro caso la metodologia propuesta en este proyecto pretende servir de base para mostrar que es posible la utilizacion de algoritmos evolutivos libres de tal manera que el contenido generado sera unico y entretenido para los usuarios. En este mismo capitulo se presentan las motivaciones para la realizacion del proyecto asi como la manera en que la computacion evolutiva sirve de apoyo en la industria del entretenimiento (ver la Seccion 1.1).

El metodo propuesto en este documento consta de tres campos diferentes, estos campos son Generacion de contenido procedural y dos areas de la computacion evolutiva las cuales son algoritmos geneticos y open-ended evolution. El Capitulo 2 esta dedicado para explicar los conceptos de estas areas, mismos que son necesarios para comprender mejor el contenido de los capitulos subsecuentes a ese asi como de todo el proyecto de tesis.

Una vez que los conceptos mostrados en el capitulo anterior han sido comprendidos el Capitulo 3 procede a presentar un conjuntos de trabajos relacionados con lo que se quiere lograr. Estos trabajos permiten tener un mejor entendimiento de que es lo que se puede llegar a lograr con las areas presentadas asi como el comprender las diferentes maneras que existen para trabajar en el proyecto.

Posteriormente en el Capitulo 4 se presenta la propuesta del proyecto de tesis, en este capitulo se muestra el como nuestra propuesta sirve para resolver el problema de generacion de contenido para el juego. De igual manera se toca el tema de las propuestas que previamente se habian contemplado para resolver el mismo problema y como fue que

CAPITULO 1. INTRODUCTION

mediante la modificacion y adaptacion de conceptos de estas ideas se logro llegar a la propuesta definitiva.

La implementacion particular del metodo propuesto se presenta en el Capitulo 5, este capitulo cubre todo el aspecto tecnico del proyecto tal como los lenguajes de programacion utilizados, las adaptaciones que realizaron a los archivos de ejecucion del software que se utiliza para la simulacion asi como la manera en el como las ideas propuestas en el Capitulo 4 fueron implementadas en el codigo, debido a que los conceptos que se presentaron en el Capitulo 4 son adaptadas en este, varios nombres de secciones tenderan a ser similares.

Despues de realizar las implementaciones pertinentes de las ideas presentadas en el Capitulo 4 se procede a realizar un conjunto de experimentos del sistema funcional. Los experimentos permiten comprender la manera en como se puede realizar la generacion de contenido con los metodos propuestos ademas de que los resultados obtenidos sirven de apoyo para analizar las partes en donde se pueden realizar mejoras para un mejor desempeno. Estos experimentos se presentan en el Capitulo 6, en este mismo capitulo se analizan los resultados y se dan comparaciones con diferentes variaciones del metodo y con otras ideas de los trabajos presentados en el Capitulo 3.

Finalmente en el Capitulo ?? se presentan las conclusiones a las que se logro llegar despues de concluir el trabajo asi como varias propuestas que se pueden agregar o secciones que se pueden optimizar para mejorar el proyecto en un futuro.

Este proyecto de tesis describe un metodo innovador para la generacion de estructuras del juego mediante el uso de tecnicas evolutivas como la combinacion de un algoritmo genetico con un algoritmo de evolucion libre. Este metodo es robusto y permite modificaciones rapidas a las caracteristicas evolutivas y de evaluacion, ademas de que es flexible para poder establecer restricciones en el contenido generado. Por ejemplo que no se utilicen ciertas piezas o que se generen niveles con cierta cantidad de objetivos.

1.1 Justificacion

La justificación de este proyecto se enfoca en dos puntos diferentes, el primero tomando en cuenta el punto de vista científico por el cual se tiene interés particular en el proyecto en el cual la utilización de generación procedural de contenido en este caso de generación de niveles es un caso de estudio muy particular debido a las restricciones que se deben de tomar en cuenta al momento del diseño debido a que varios aspectos tales como los diferentes terrenos, el posicionamiento y balance de los elementos colocados deben de ser tomados en cuenta de una manera que se asemeje a una manera que podrían ser posicionados en el mundo real con restricciones de gravedad para poder generar estructuras que logren cumplir los aspectos denotados por la jugabilidad que hacen a un nivel viable e interesante, mientras que el segundo aspecto de la justificación se enfoca al ámbito tecnológico que toma el proyecto para las empresas que utilizan este tipo de recursos en el diseño de videojuegos, esto es debido a que las mismas empresas muchas veces se ven presionados en cumplir fechas de salida para dichos productos de esta manera el uso de este tipo de recursos permite generar el contenido de manera automatizada y que logre cumplir con los estándares establecidos por las compañías.

El problema presentado al inicio de este Capítulo se puede dividir dos partes: un algoritmo de generacion de compuestos que requiere considerar 1) que los conjuntos generados logren mantenerse estables, 2) que los conjuntos generados no sean igual a otros previamente generados y 3) que estos conjuntos puedan hacer uso de los ya existentes y puedan alimentar en paralelo una lista con los conjuntos que pueden ser utilizados por el algoritmo principal, mientras que la segunda parte la cual es el sistema evolutivo debe de poder utilizar los compuestos obtenidos por la part anterior para poder generar estructuras que puedan mantenerse de pie y aumentar su complejidad mediante las estructuras.

Se propone, mediante el uso de un algoritmo genetico agregarle complejidad a un nivel mediante la evolucion de las estructuras que lo componen, esto debido a que es posible realizar operaciones de cruce y mutaciones que lograran producir nuevas estructuras como posibles soluciones ademas de que permite encaminar el sistema a encontrar las mejores

CAPITULO 1. INTRODUCTION

mediante funciones objetivo. Esto es interesante debido a las posibilidades de generacion del sistema debido a que es posible obtener tanto estructuras como combinaciones de elementos que normalmente una persona no utilizaria de manera manual.

Finalmente, el metodo propuesto provee un sistema que es capaz de crear niveles que seran entretenidos, unicos eh interesantes para los jugadores.

Capítulo 2

Preliminaries

En este capítulo se explican los conceptos básicos de los temas que toman un papel importante en el desarrollo del proyecto separados cada uno en secciones, principalmente algoritmos genéticos siendo que este tema es la parte primordial del proyecto, además de esto se explica de manera detallada los conceptos que se tomaran en cuenta en el desarrollo de los métodos que componen el sistema, siendo estos open-ended evolution, generación procedural de contenido, los conceptos básicos de jugabilidad.

2.1 Algoritmos Genéticos

Los algoritmos genéticos (Genetic Algorithm, GA por sus siglas en inglés) son algoritmos inspirados en la evolución Darwiniana y utilizados para la optimización de procesos, fue introducido por John Holland en 1975 [6], los GA son métodos de optimización y búsqueda basados en los principios de la selección natural y genética, la manera de representarlos es mediante un grupo de individuos que representan posibles soluciones a un problema y mediante el uso de operadores genéticos estos individuos se cruzan y evolucionan para acercarse más al objetivo, el cual puede ser minimizar o maximizar un valor resultado de un sistema.

De acuerdo a una explicación proporcionada por Whitley en uno de sus artículos [7], un algoritmo genético (GA) son algoritmos de optimización inspirados en el proceso natural

CAPITULO 2. PRELIMINARIES

de evolucion. Por esta razon los GAs son considerados como parte de una sub-area de algoritmos de optimizacion llamada algoritmos evolutivos. La manera en como funciona un GA es que se propone tener un conjunto inicial de posibles soluciones a problema, estas soluciones son llamadas poblacion dentro del algoritmo. Cada una de estas soluciones propuestas lleva el nombre de individuos y en ocasiones se definen como cromosomas. Esta poblacion es evaluada mediante el uso de una funcion de aptitud encargada de determinar el rendimiento de cada uno de los individuos como una de las posibles soluciones para el problema que se esta tratando. Este tipo de problemas comunmente involucran encontrar un conjunto de parametros que permitan minimizar o maximizar los resultados obtenidos en un sistema.

El proceso que se realiza en un GA se describe de la siguiente manera, primero la poblacion es sometida a un proceso de evolucion que involucra la realizacion de cruces entre los individuos de la poblacion que tienen el mejor rendimiento en la generacion, de igual manera aquellas soluciones que tengan un mal desempeño de acuerdo a la funcion de aptitud son removidos de la lista de la poblacion para las generaciones subsecuentes. El proceso de cruce de individuos se realiza mediante la recombinacion de genes en los cromosomas de los individuos seleccionados los cuales son seleccionados en base a sus resultados en la funcion de aptitud siendo aquellos que llevaran a cabo los cruces los mejores. Este proceso mencionado se repite durante un numero determinado de iteraciones las cuales llevan el nombre de generaciones.

El objetivo de los GAs asi como en otros algoritmos evolutivos es que, mientras las generaciones van pasando la poblacion comenzara a volverse mas apta y se encaminara a cierto punto o valor que se espera sea el indicado para resolver un problema, sin embargo, es comun que ninguno de los individuos logre llegar a una solucion optima para el problema presentado. Sin embargo, al ejecutar el algoritmo multiples veces el algoritmo evolutivo lograra proveer varios resultados diferentes, esto es debido a que la poblacion inicial en cada ciclo o ejecucion se genera de manera aleatoria. Por esta razon, los algoritmos evolutivos y por ende los algoritmos geneticos son considerados como algoritmos de busquedas meta-heuristicas, debido a que son capaces de encontrar soluciones casi optimas para problemas

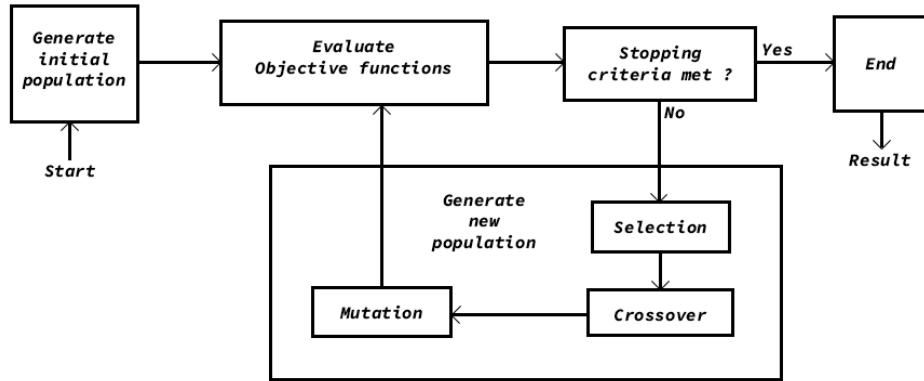


Fig 2.1: Ciclo de vida de un algoritmo genetico

en donde los algoritmos evolutivos no sean involucrados de manera directa, ademas de esto los algoritmos evolutivos tambien son considerados algoritmos estocasticos debido a la aleatoriedad que conlleva utilizar este tipo de algoritmos [8].

De esta manea el ciclo de vida de un algoritmo genetico se resume de la siguiente manera:

1. Inicializar una poblacion aleatoria de n individuos.
2. Evaluar la aptitud de cada individuo(solucion) en la poblacion.
3. Revisar si se ah llegado a una condicion de terminacion(el valor buscado)
4. En caso de que no
 - (a) Introducir nuevos individuos a la poblacion mediante los operadores de seleccion y cruce.
 - (b) Mutar de manera alatoria a uno de los individuos nuevos.
5. Repetir desde el punto 2 hasta llegar a la solucion o se cumpla el limite de generaciones.
6. Seleccionar el mejor individuo de la poblacion como la solucion del problema.

Esta lista de pasos se muestra graficamente en la imagen 2.1 en donde se puede apreciar mas claramente como los operadores de seleccion, cruce y mutacion se engloban en una sola area que es la de la generacion e integracion de nuevos individuos, estos mismos nuevos individuos tambien se evaluan para definir si el algoritmo ah logrado alcanzar el punto de terminacion buscado, como se explico anteriormente estos nuevos individuos no se eliminan en caso de no haber sido los ideales sino que se comparan con los individuos originales y en caso de ser mejores iran recorriendo a los peores con el fin de encaminar al algoritmo a un punto especifico que se espera sea la solucion idonea.

2.2 Generación procedural de contenido

El término "Generacion procedural de contenido" (Procedural Content Generation o PCG por sus siglas en ingles) denota la manera de crear contenido de manera automatica mediante algoritmos en lugar de generar los mismos contenidos de manera manual.

La PCG es un sistema de generacion de contenido utilizado desde finales de los 70s, inicialmente se utilizaba para generar los laberintos de algunos juegos utilizando arte ASCII donde se denotaba la distribucion de los cuartos y objetos que se podian encontrar en juegos estilo "*rogue*" o juegos que simulan un juego RPG de mesa, actualmente es ambito del la generacion de contenido ah tomado varias variantes y cada vez mas empresas toman un interes por el uso de este tipo de herramientas de diseño, cabe remarcar que los diferentes ambitos no estan del todo refinados sin embargo dada la informacion necesaria y aplicados a aspectos especificos en el ciclo de desarrollo son capaces de crear los contenidos que se requieran.

Mientras que la generacion de contenido es un aspecto que se ah utilizado en muchos ambitos diferentes como el fotografia, video, anuncios y arte digital, en el area de video-juegos se maneja el uso de generacion "procedural" de contenido en donde procedural se define como el proceso computacional de una funcion particular, en este caso lo que se busca con la generacion procedural de contenido es reducir el tiempo que toma generar contenidos de manera manual, la siguiente seccion explica mas detalladamente como se

utiliza esta mecanica en el area de videojuegos.

2.2.1 PCG en el ámbito de videojuegos

Dentro del ámbito de videojuegos la generación de contenido procedural es un aspecto que ha tenido un gran impulso en tiempos recientes debido a que muchas empresas de preocupan por sacar al mercado juegos de manera continua, estos mismos muchas veces en ciclos de desarrollos muy cortos, por tal se ha buscado diferentes maneras de reducir dichos problemas, una herramienta útil que ha surgido debido a esto es la generación procedural la cual permite reducir no solo los tiempos de desarrollo sino que también permite recudir el espacio de memoria total de un juego en particular debido a que ya no es necesario tener todos los archivos englobados en un solo lugar sino que lo requerido se obtiene de manera automática, de esta misma manera se le permite a las empresas reducir el número de personal necesario y por tal reducir los costos de desarrollo.

De una manera simple la generacion procedural de contenido tiene tres objetivos principales:

- Brindar apoyo a los creadores para poder crear contenido mas rápidamente.
- Utilizar la generacion de contenido para crear juegos que logran reaccionar en tiempo real a las acciones de los usuarios, cosa que en caso contrario tendría que encaminarse a escenarios específicos.
- Reducir el espacio en memoria tomado por el contenido generado.

Una cosa extra que brinda la genracion procedural de contenido es permitir una mayor creatividad al momento de generar.

2.2.2 Áreas de interés de generación procedural

La generación procedural de contenido es un sistema que se enfoca en diferentes aspectos en el área del entretenimiento especialmente en el área de videojuegos, estos aspectos



Fig 2.2: Areas de PCG en videojuegos

pueden o no estar ligados unos con otros y ademas cabe mencionar que no se enfocan primordialmente en la generación de "objetos" sino mas bien en la generación de recursos que pueden ser utilizados en el desarrollo de videojuegos, la generacion procedural se enfoca en seis puntos mostrados en la imagen 2.2, cada uno se explica en un apartado iniciando con el 'Diseño de niveles' en el capitulo 2.2.3, la generacion de graficos en el capitulo 2.2.4, la creacion de audio en el capitulo 2.2.5, creacion de narrativa o historias en el capitulo 2.2.6, diseño de reglas y mecanicas en el capitulo 2.2.7 y la generacion de juegos completos explicada en el capitulo 2.2.8.

2.2.3 Diseño de niveles

La area del desarrollo de niveles es una de las populares en PCG debido a que los niveles son la parte escencial de un juego debido a que es el area sobre el cual un jugador puede interactuar, la representacion de estas areas se puede dar desde imagenes en 2D simple-

CAPITULO 2. PRELIMINARIES

mente con el alto y ancho de los objetos hasta elementos en 3D que abarquen tambien el grosor de los objetos.

Debido a que los niveles son escencialmente el area principal de interaccion en un videojuego estos deben de considerar los aspectos funcionalidad y estetica para que exista una buena interaccion y sea llamativo a los usuarios, de esta manera se pueden crear areas con tonos oscuros y ambiente tetrico para entregar un nivel con tematica de terror, la generacion de niveles de juego es un tema reciente en el ambito de investigacion debido a los elementos que se deben de tener en cuenta sin embargo dentro del ambito de videojuegos, es un elemento comunmente utilizado, algunos ejemplos recientes siendo Spelunky, Minecraft, Disgaea.

Primero tenemos el juego de plataforma Spelunky desarrollado por Derek Yu, el juego consta de multiples niveles alrededor de cinco diferentes areas, cada area con un estilo diferente (niveles con hielo, lava, etc.) en este juego los niveles que recorre el jugador son desarrollados de manera procedural por diferentes algoritmos dependiendo el area en la que se encuentre el jugador.

El segundo ejemplo es un videojuego desarrollado por Markus Persson llamado Minecraft, este juego consta de un area estilo caja de arena en donde el jugador puede realizar las acciones que quiera, las estructuras estan definidas en manera de bloques con diferentes texturas y propiedades que el jugador puede utilizar para construir diferentes cosas, la manera en como se utiliza la generacion de contenido es mediante la generacion de todo un nivel al iniciar el juego de tal manera que se utiliza una semilla de generacion y se utiliza el metodo *Perlin Noise* 3D con interpolacion lineal para genrar los biomas, elementos y entidades que conformaran el nivel, ademas de esto el area inicial del juego no es la unica area que puede ser recorrida durante la sesion de juego, sino que el sistema utiliza una "semilla"(seed) que define la manera en como esta conformado el mapa, mientras mas se va recorriendo del mapa las areas se van generando acorde a la semilla de manera infinita.

Finalmente tenemos el juego Disgaea desarrollado por Nippon Ichi Software, este es un juego de estrategia por turnos en donde el objetivo es eliminar a todos los enemigos en un mapa para continuar al siguiente, la manera en como se utiliza la generacion de contenido

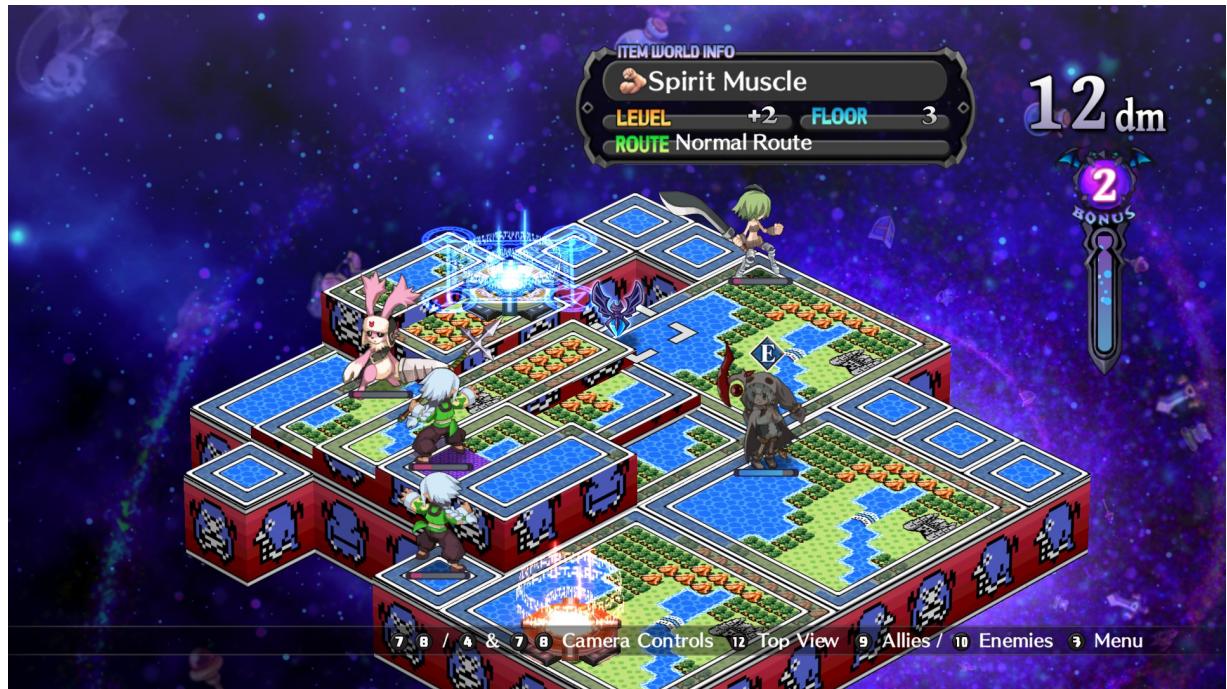


Fig 2.3: Nivel generado en el juego Disgaea

procedural es en una sección extra del juego en donde se puede entrar a un arma para completar niveles gradualmente más difíciles para darle más poder a dicha arma, en esta parte los niveles que se encuentra el jugador son generados proceduralmente tomando en cuenta las alturas de las partes donde se puede caminar y la colocación de los enemigos en el mapa 2.3, para la generación se toma en cuenta el nivel del arma y su rareza, mientras más altos sean estos valores de igual manera los niveles generados serán más difíciles.

2.2.4 Gráficos

La área de desarrollo de gráficos se encarga principalmente de generar las representaciones visuales de los juegos debido a que la mayor parte de los juegos llevan una parte visual a menos que no se requiera, es necesario generar una imagen que denote lo que se quiere dar a entender en un juego, de esta manera se le brinda al jugador un nivel más de inmersión en la situación mediante el uso de paletas de colores o imágenes en pantalla que puedan representar mejor las situaciones que se presentan.

El ambito de generacion de graficos ah sido uno de los mas explotados debido a que es posible generar graficos desde simples representaciones de 8 bits como representaciones photorealisticas de los eventos u objetos presentes en un juego, tal es el caso explicado en el paper de Risi S. et al.[5] en donde utilizan una red de produccion de patrones compositionales (CPPN por sus siglas en ingles) la cual es una variante de las redes neuronales artificiales (ANN) regulares, utilizando esta red se busco modificar un circulo de tal manera que la resultante de tal modificacion creara un patron en forma de una flor, de igual manera la forma de crear diversidad en los tipos de flores generadas fue mediante el uso de la neuroevolucion de topologias aumentativas (NEAT) mediante el cual las redes generadas se alteraban mediante la modificacion de conecciones entre neuronas y la adicion de nuevos nodos de tal manera que se buscaba un nivel adecuado de complejidad para las redes que generaron diferentes tipos de patrones de flores.

Mientras que un segundo paper escrito por Erin J. et al.[9] en el cual presentan un nuevo algoritmo de generacion de contenido llamado neuroevolucion de topologias aumentativas para generacion de contenido (cgNEAT) el cual se encarga de generar contendio grafico y contenido del juego de acuerdo a las preferencias de un jugador mientras el juego esta en ejecucion, para la evaluacion del contenido generado se desarrollo un juego multi-jugador en linea llamado *Galactic Arms Race* en el cual la cgNEAT se encarga de generar contenido para todos los jugadores y ellos eran quienes proveian la retroalimentacion del funcionamiento del algoritmo.

2.2.5 Audio

El ambito de generacion de audio en videojuegos se puede considerar como un punto opcional dependiendo del juego que se este desarrollando sin embargo el audio juega un papel importante en la experiencia que se le brinda a un jugador dentro del juego debido a que mediante el uso de componentes sonoros se pueden influir las emociones que se quieren mostrar en lugares especificos, desde cosas simples como el uso de sonidos de objetos como escuchar un teclado siendo utilizado hasta la utilizacion de pistas de audio en areas o

momentos clave del juego para demostrar momentos dramaticos, tristes o de accion.

Cabe mencionar que es posible utilizar instrumentos musicales o la implementacion de orquestas para de igual manera generar estos ambientes sin embargo algunos utilizan este tipo de generacion para crear pistas que sean capaces de adaptarse a los sucesos que transcurren en el momento para el concepto de generacion procedural de audio puede ser inclusive el uso de elementos en un entorno virtual que generen algun sonido cuando son interactuados [10], algunos ejemplos de adaptabilida de audio de acuerdo a los eventos en el momento es el caso de el juego *Fire emblem Fates*, este es un juego de estrategia por turnos en donde la apatabilidad de audio se da en transiciones de vista del mapa y combate de unidades, en este caso el audio de la vista del mapa tiene un cierto nivel de *tempo* mientras que en momento que se entra a un combate entre dos unidades el *tempo* del audio cambia mientras se esta en esta escena de combate.

Existen tambien investigaciones academicas de como combinar la generacion de niveles con la generacion de audio, tal es el caso de *Sonancia* desarrollado por Phil Lopez et al. [11], en este paper los autores proponen una metodologia que permitira a un sistema generador de niveles seleccionar pistas de audio o sonidos que vallan deacuerdo a un tema especifico, en este caso los autores colocaron una lista de pistas y mediante un generador crearon un entorno 2-D que simulaba una mansion, el proposito fue el de crear un juego de terror/suspensio y que las habitaciones tuvieran un audio diferente y que al acercarse a la division entre una y otra el audio de la habitacion adyacente fuese subiendo el volumen conforme mas se adentraba y el audio de la habitacion anterior se dejara de escuchar lentamente, el sistema es capaz de generar los niveles y asignar los sonidos necesarios sin embargo tiene la limitante de que se debe de porporcionar el listado de pistas de audio debido a que aun no tiene la capacidad de generar audio por cuenta propia sin embargo es otro buen ejemplo de como combinar areas de generacion de contenido.

Otro caso de estudio es el del juego *Audio Surf* desarrolla en 2008 por Fitterer, la manera en como funciona es que mediante el uso de archivos de audio de alguna cancion para generar niveles estilo pista de carreras que el usuario recorre al momento de jugar, como este existen varios otros juegos que utilizan mecanicas de PCG para generar los

niveles a jugar por los participantes.

Finalmente tenemos *Mezzo* desarrollado por Daniel B. este paper muestra un programa de computadora del mismo nombre diseñado con el fin de generar musica de la era romantica que puede ser utilizada en juegos de computadora, el software fue desarrollado con el proposito de poder darle mas expresividad a eventos que ocurren en juegos de computadora, esto es mediante el uso de los elementos presentes en la escena como las partes que conforman la pieza musical, para esto sus acciones son traducidas como diferentes cantidades de tension armonica lo cual permite que la pieza musical corresponda al estado del juego asi como a las acciones que realizan los personajes.

2.2.6 Narrativa

El ambito de generacion de narrativa en videojuegos se encarga de manera basica de generar historias que tengan sentido y sean entretenidas, el uso de PCG para el ambito de narrativa se ha tomado de diferentes angulos, el primero es sencillamente crear la historia del lugar en donde se desarrollan las cosas, esto es generar toda la historia desde un punto especifico y asi crear una "linea" de accion que un jugador debera seguir, mientras que otro de los aspectos es la generacion de historia que se adapte a las acciones del jugador, esto es, que a medida que el jugador progrese en un juego realizando acciones especificas el juego adapte la historia a generar de acuerdo a dichas acciones.

Algunos ejemplos de este ambito de generacion se muestran en el juego *Facade* y el sistema *Versu*, el primero que se explicara es el juego de *Facade*, *Facade* es un juego desarrollado por Michael Mateas y Andrew Stern [12] que intenta crear un juego estilo novela visual en donde las acciones de el jugadro tengan influencia en los eventos que ocurren en el juego, el juego introduce al personaje del jugador como un amigo de una pareja de casados, no se cuenta con un objetivo especifico mas que el de completar la historia, sin embargo el juego provee de acciones y respuestas que el personaje puede expresar a la pareja, estas mismas tienen influenciaran directamente el como se desarrollara la historia, el juego se diseño con el proposito de que el jugador lo repita multiples veces

con el fin de descubrir como las diferentes decisiones cambiarian el desenlace de la historia.

Finalmente *Versu* es una aplicacion desarrollado por Richard Evans y Emily Short [13] es juego se encarga de generar simulaciones en base a lineas de texto que denotan acciones que un conjunto de personajes no jugables (NPC) realizan en determinados escenarios, el juego permite que a una persona se le asigne un personaje del juego y controle las acciones que realizara, mientras que los NPC restantes responderan de manera autonoma mientras el juego continua, este sistema de generacion de narrativa inicio como un proyecto academico y despues paso a ser utilizado de manera comercial ademas de ser la base para el desarrollo de otros juegos de estilo similar.

2.2.7 Reglas y Mecanicas

Las reglas y mecanicas de un juego proveeen de un marco de trabajo en el cual el jugador puede realizar acciones y el como debe de influenciarlas hacia un objetivo final, las reglas y mecanicas de un juego pueden variar dependiendo del tipo de juego que se trate, por ejemplo en juegos de estilo plataforma la regla de terminacion puede ser simplemente llegar hasta cierto punto del nivel mientras que las mecanicas pueden incluir saltar, correr o agacharse, este conjunto de reglas permite que el jugador no realize acciones no preevistas por los programadores y de tal forma limita a un jugador a cierca cantidad de acciones y consecuentes posibles las cuales debera de aprovechar de diferentes maneras para continuar.

Mientras que el uso de reglas permite tener un juego mas balanceado algunas ocasiones el cambiar el conjunto de reglas permite crear diferentes tipos de juegos, tomando el ejemplo anterior es posible que un juego de plataformas se le permita a un jugador volar en un nivel lo cual provocaria que las mecanicas se requieran acomodar a esta nueva habilidad y de igual manera los niveles de un juego se tengan que reimaginar de tal modo que ahora se pueda utilizar en ciertas o se coloquen lugares que solo se pueden acceder con esa habilidad por ejemplo la transicion de reglas y mecanicas entre los juegos Super Mario Bros. (Nintendo, 1985) y Super Mario World (Nintendo, 1990).

Para la evaluacion de la generacion de mecanicas y reglas de un juego existen diferentes

CAPITULO 2. PRELIMINARIES

metodos a utilizar, el primero se basa en el balance de las reglas es decir en caso de ser un juego para dos o mas jugadores el objetivo de evaluar seria que todos los jugadores tengan las mismas probabilidades de ganar utilizando las mecanicas del mismo juego, mientras que otra manera de evaluar seria mediante la facilidad que tienen las mecanicas de ser aprendidas por los jugadores.

En cuanto a ejemplos de este tipo de generacion se encuentran algunas investigaciones academicas tales como la de Ludi [14], Ludi es un sistema desarrollado por Cameron Browne y Frederic Maire, este sistema se utiliza para evolucionar comandos que definen las reglas de un juego en particular a crear, el algoritmo evolutivo se encarga de evolucionar las reglas manteniendolas dentro de un cierto rango de metricas que establecen un buen patron para juegos de tablero tales como tales como la complejidad del juego o la simplicidad de las reglas, un juego de mesa diseñado mediante el uso de este sistema se llama Yavalath, una vista rapida del juego se puede apreciar en la figura 2.4, este juego puede tener un minimo de 2 y un maximo de 3 jugadores, las reglas son que en base a turnos cada jugador coloca una ficha de su color en cualquier punto no ocupado del tablero, el objetivo es lograr formar una linea de 4 fichas del mismo color pero la regla es que al formar una linea de 3 fichas se pierde el juego de manera automatica, de esta manera el juego se basa en forzar jugadas del oponente que permitan que alguno tenga mas "control" de los eventos que ocurriran.

Un segundo caso fue escrito por Togelius et al. [15], este uno de los primeros ejemplos del uso de computacion evolutiva para la generacion de reglas para juegos, en este paper se evoluciona un conjunto de reglas de tal manera que un conjunto de agentes que participaran en el juego logren tener un mejor entendimiento de como funciona el juego, la manera de evaluar que tan entendibles son las reglas fue a travez de varias sesiones simuladas de los agentes, en este caso se procloro utilizar reglas sencillas que simularan un juego estilo pac-man en donde los agentes deberian de colectar circulos para poder obtener una mejor puntuacion.

Finalmente un ultimo caso es el de Nielsen et al. [16] esos autores programaron un sistema capaz de representar las reglas de un videojuego utilizando video game description

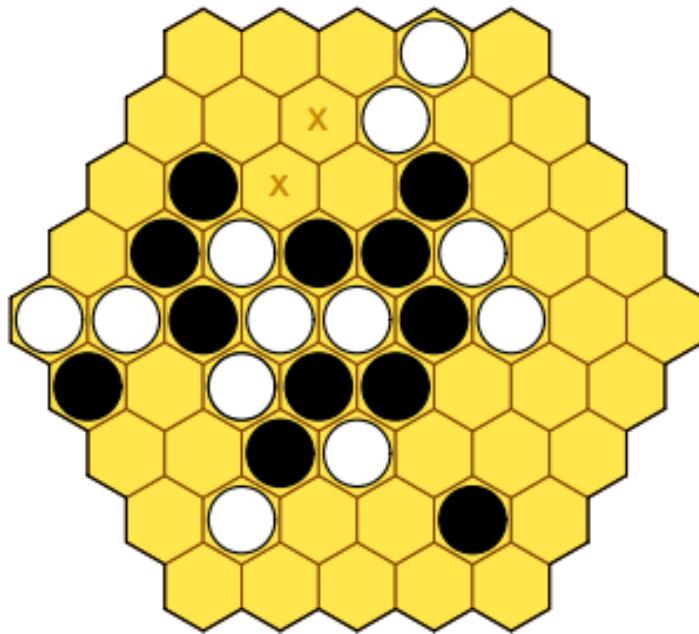


Fig 2.4: Ejemplo de un juego en progreso en el juego de Yavalath

language en donde juegos estilo 2d se representan como mapas en base a caracteres y utilizaron ASP para verificar que los niveles podian ser jugados (se podian cumplir las condiciones de victoria).

2.2.8 Juegos

Mientras que las facetas de generacion anteriores se han enfocado en aspectos especificos de juegos mientras que en este aspecto en particular se toma un enfoque global, esto es desde la generacion de partes visuales hasta la generacion de bandas sonoras, esto demuestra como todos los aspectos de un juego se relacionan unos con otros, un ejemplo de esta relacion seria tomar un juego en particular y agregar acciones que originalmente no existian, para poder agregar estas acciones se debe de considerar el aspecto visual, es decir el como debera de representarse visualmente tal accion, aspectos de sonidos en caso de que una accion requiera de algun efecto de sonido que represente tal accion, utilizando el ejemplo de agregar la mecanica de volar, el aspecto visual se representaria en un cambio

visible en el personaje controlado, por ejemplo, dibujar alas y que se vea una animacion de movimiento al volar, en el caso del aspecto del sonido el aleteo o movimiento generado por dichas alas al estar volando puede tener un sonido unico para identificarlo.

Para este caso existen diferentes maneras de intentar generar juegos nuevos, tal es el caso de Game-O-Matic [17], Game-O-Matic es una herramienta de generacion enfocada a la generacion de juegos que representan ideas, en este sistema se utiliza un sistema de sustantivos unidos mediante verbos que son ingresados al sistema como datos de entrada, estos datos son procesados y se logra generar un juego simple estilo arcade que logre representar un mapa conceptual generado mediante los valores de entrada.

Otra investigacion realizada por Nelson et al. [18], para este sistema los autores proponen un sistema parecido al de Game-O-Matic explicado anteriormente, sin embargo en este caso el sistema esta basado en sprites que representan entidades del juego, lo que se asigna como valor de entrada es restricciones que definen la interaccion de los spites en pantalla, las restricciones son procesadas mediante una red semantic y una base de datos de lexico, este proceso logra generar juegos que cumplan las restricciones estipuladas, en este caso los juegos generados tienen mecanicas estilo WarioWare en donde los juegos tienen una regla de victoria sencilla que hace los juegos relativamente cortos.

Finalmente uno de los mejores generadores de juegos lleva en nombre de ANGELINA [19]¹, ANGELINA es un sistema de generacion de juegos diseñado originalmente en 2011 y que ah recibido modificaciones desde entonces, la base del generador es el uso de un sistema evolutivo que se encarga de evolucionar las reglas, los terrenos, los personajes y demas conjuntos con respecto unos de otros de una manera orquestrada, se encarga no solo de evolucionar la informacion visual de los componentes sino tambien de asignar sus locaciones en un campo de trabajo que representa un juego, ademas de esto es capaz de seleccionar elementos musicales relevantes al tema de los mapas generados o de la faceta emocional presente en el juego ademas de crear asignarle un nombre a los juegos que logra crear, inicialmente el sistema era capaz de generar niveles de plataforma en 2-D pero actualmente es capaz de generar niveles de tematica de aventura en entornos 3-D.

¹De acuerdo al autor: "A Novel Game-Evolving Labrat I've Named ANGELINA"

Los anteriores generadores a pesar de no ser perfectos han permitido dar un gran paso en la generacion de contenido o mas bien en la generacion de juegos, sin embargo aun falta controlar aspectos que permitan que las generaciones de tal contenido logren involucrar todos los aspectos de la generacion de contenido, esto podria darse mediante el uso de multiples agentes que contantemente evaluen los aspectos generados pero que al mismo tiempo logren comunicarse unos con otros y poder evaluar los juegos generados de manera mas amplia.

2.3 Jugabilidad

La jugabilidad es un término utilizado principalmente en el área del análisis y diseño de videojuegos y es utilizado principalmente como medida de calidad para la experiencia de un usuario para con el juego mediante las mecánicas o manera en como se tiene una interacción jugador-videojuego y el diseño como tal del mismo.

De igual manera diferentes autores deinen el concepto como un conjunto de propiedades que definen la experiencia que logra tener un jugador en un juego determinado según al sistema de juego que se provee.

La figura 2.5 muestra un diagrama de areas y conceptos que califican el nivel de jugabilidad de una aplicacion o juego, estos mismos se pueden definir como sigue:

- Satisfacción: El grado en el que un juego logra agradar o complacer a un usuario.
- Aprendizaje: El grado con el cual un usuario es capaz de comprender las mecanicas de un juego y es capaz de interactuar facilmente con el mismo.
- Efectividad: Este demuestra la cantidad de recursos y el tiempo utilizados para poder envolver a un usuario y lograr que se divierta.
- Inmersión: El grado con el cual se logra envolver a un usuario con los eventos que transcuerren en el juego, es decir que tanto se logra hacer que se integre o muestre empatia por los eventos del juego.



Fig 2.5: Puntos de evaluación de jugabilidad

- Motivación: Esta define la capacidad que tiene un juego a motivar a un usuario a continuar con los retos o eventos del juego, esto generalmente se da por mecanicas que dan un snetimiento de recompensa o simplemente por la inmersión lograda.
- Emoción: Es el grado con el cual se logra una inmersión en el usuario de tal manera que es capaz de reaccionar de manera involuntaria a estimulos presentados en el juego, esto puede ser desde una risa por algun evento que ocurre hasta saltos involuntarios por susto en juegos de terror.
- Socialización: Este es el grado con el cual se logra que un usuario estable relaciones con personas que no conoce, en juegos de multijugador masivo en linea("Massive-Multiplayer Online" - MMO por sus siglas en ingles) existen eventos en los cuales se le pide a los usuarios que contruyan equipos para completar niveles en el juego, existen otros juegos de multijugador local en los que varias personas compiten para ganar, y en ambos casos se puede presentar que de los sucesos presentados se puedan crear amistades entre jugadores.[20]

Por otro lado existe un conjunto de facetas que engloban varios atributos de la jugabilidad:

idad que permiten relacionar dichos atributos, para estas facetas se toman los siguientes grupos:

- Jugabilidad intrínseca: Engloba el diseño y mecánicas del juego enfocándose en las reglas y objetivos establecidos, define cómo se proyectan estos puntos al jugador.
- Jugabilidad mecánica: Se enfoca en parte funcional del juego y en los comportamientos de los personajes, se basa en el diseño del motor del juego.
- Jugabilidad interactiva: Se enfoca más en la relación usuario-juego, tomando en cuenta cómo se presenta la interfaz de usuario y los controles.
- Jugabilidad artística: En este punto se engloban los puntos de gráficos y sonido, es decir qué tan bien es visualmente lo que se presenta y el tipo de ambientación que se crea al combinar efectos visuales, música y gráficos.
- Jugabilidad perceptiva: Este punto trata de cuantificar la manera en cómo una persona percibe los elementos mostrados en el juego, este es un cálculo subjetivo.
- Jugabilidad interpersonal: Al igual que el punto anterior es un concepto subjetivo, sin embargo este se enfoca en las percepciones que se generan al jugar en un grupo.

2.4 Open-Ended Evolution

El término Open-Ended Evolution (OEE) es el nombre que se le da a una variante del algoritmo de evolución genética, este algoritmo difiere de los objetivos predefinidos de un algoritmo genético en el cual el objetivo principal de un GA es el de llegar o aproximarse a un valor o conjunto de valores que logren solucionar un problema determinado, en el caso de OEE este no es el caso sino que lo que hace el algoritmo es seguir evolucionando y creando diversidad en la población cada vez más compleja no solo dentro de los límites de evolución de un elemento sino comenzar a crear nuevas "*especies*" de soluciones.

Una explicación más clara es presentada en un paper por T. Taylor et al.[21], en este paper se define OEE como un sistema capaz de novedad después de un punto en la

CAPITULO 2. PRELIMINARIES

evolucion en donde el estado del grupo o poblacion no cambia en lugar de converger hacia un estado casi estable.

La manera en como se definira el uso de OEE que se utilizara en este proyecto es simplemente un proceso de evolucion genetica capaz de encapsular procesos de evolucion similares capaces de incrementar en numero segun la complejidad a la que las entidades generadas logren llegar.

Capítulo 3

Estado del arte

Este capitulo se enfoca en mostrar los diferentes trabajos que permitiran comprender mejor la problematica que se quiere resolver asi como los diferentes enfoques que se le han dado para poder resolverlo.

3.1 Competencia IEEE CoG

Como se demuestra en el articulo presentado por J. Renz et al.[22] la competencia de Angry Birds utilizando inteligencia artificial se realiza de manera anual desde el año 2012 iniciando en la conferencia dentro del marco de la AAAI (Association for the Advancement of Artificial Intelligence), en este articulo se explica la primera linea de competencia que consta de desarrollar agentes que sean capaces de solucionar niveles del juego de tal manera que se asemeje a la manera en como jugaria una persona real, se explica el estado del arte el cual consta de previos competidores y de como han logrado realizar sus agentes para el juego, de igual manera se explica la nueva linea de competencia que consta de utilizar el mismo conjunto de niveles y permitir que los agentes compitan para ver cual logra resolver mas rapido el conjunto de niveles.

Posteriormente en un articulo elaborado por M. Stephenson et al.[23] se explica detalladamente como es que el juego se conecta en una arquitectura cliente-servidor y como es que se adapta la arquitectura para que los agentes utilizados puedan obtener datos

del juego para poder realizar los calculos pertinentes, en este mismo articulo se presenta informacion de la segunda linea de competencia llamada competencia de generacion de niveles de AIBIRDS la cual se comenzó a realizar desde el año 2016, en esta version de la competencia los generadores deben de cumplir con el proposito de crear niveles que sean creativos, divertidos, estables en cuanto a la gravedad del juego y posibles de ser solucionados, ademas de esto se debe de tener en consideracion realizar niveles que sean desafiantes a los jugadores, como el juego no es open source los niveles se generan en una version clon del juego que cuenta con las mismas mecanicas.

Un segundo articulo escrito por M. Stephenson et al.[24] se presenta una version mas actualizada de las reglas de la competencia, en este articulo se establece el uso de un archivo proporcionado por los organizadores, este archivo cuenta con 4 lines en las cuales se establece las condiciones que los niveles generados deberan de cumplir, la informacion proporciona en el archivo es la cantidad de niveles que se deberan de generar, las piezas no permitidas en un nivel asi como las combinaciones que se deberan de evitar, la cantidad de puercos a colocar en un nivel y por ultimo el tiempo limite para terminar los niveles, en el caso de los tipos de materiales prohibidos se entrega una lista que especifica que piezas con que material no se puede colocar, en el caso de los puercos se entrega un rango numerico en el cual se especifica la cantidad minima y maxima a colocar, en cuanto a los valores de niveles y tiempo limite se entragan como valores numericos enteros, sin embargo los valores que se entregan generalmente son 5 para la cantidad de niveles y 30 en la cantidad de minutos que puede durar el generador.

3.2 Algoritmos de busqueda

L. Ferreira et al.[25] presentaron un sistema de generación de niveles mediante el uso de algoritmos genéticos, en el sistema se propone la definición de un individuo como una lista de elementos que se acomodaran en forma de torre, el sistema propuesto utiliza las piezas base del juego y se agregaron 4 elementos compuestos, los niveles se definen como un área de trabajo con tres posiciones donde las torres podrán ser generadas a base de

CAPITULO 3. ESTADO DEL ARTE

las piezas en la lista principal, las piezas irregulares tales como los dos diferentes tipos de triángulos son tomados en cuenta únicamente en la última posición de las torres.

Una herramienta de generacion de niveles basado en el uso de patrones de generacion es propuesto por Y. Jiang et al.[26], en este paper los autores propoen el uso de patrones predefinidos de generacion de estructuras basadas en el alfabeto americano, valores numericos, simbolos asi como el ordenamiento de estos en base a patrones de frases o palabras predefinidas que pueden ser utilizadas, utilizando estos patrones se generan niveles en donde se muestran frases divertidas o motivacionales que serian jugados por personas para evaluarlos, debido a la manera de acomodo de bloques utilizada en este paper el problema de que los niveles sean estables se eliminaba y simplemente se utiliza el sistema para cumplir los dos objetivos restantes los cuales son que los niveles sean jugables y entretenidos, mientras que la manera final de evaluar la funcionalidad del generador se basaba la rejugabilidad, la legibilidad del texto asi como de la dificultad de los niveles, para esto los autores se apoyaron de 10 personas con cirto grado de comprension del idioma ingles, de esta manera en caso de que los textos fueran dificiles de comprender, la dificultad fuera demasiado alta o generara un interes por repetir el nivel los participantes serian los encargados de proporcionar estos resultados.

Para la adaptabilidad de los niveles basados en los resultados de la funcion de aptitud M. Kaidan et al.[27] proponen una medicion basada en la habilidad de un jugador en un nivel, la evaluacion de la habilidad esta dada por el puntaja obtenido durante el juego, en el juego de angry birds el puntaje de un jugador esta ligado a la cantidad de destruccion de estructuras lograda y la cantidad de aves que no se utilizaron para completar el nivel, en este caso el paper se apoyaba de la funcion de aptitud de L. Ferreira et al.[25] para la distribucion de los puercos en un nivel y se adaptaba la funcion para modificar la cantidad de puercos colocados deacuerdo a la facilidad con la que se lograba resolver el nivel, de esta manera el sistema generaba un conjunto de niveles para que una persona los solucionara y basandose en los resultados de los niveles se generaba el siguiente conjunto para resolver, de tal manera que el sistema requeria que una persona evaluara los niveles cada generacion para que el sistema generara niveles mas desafiantes para esa persona.

Otro generador propone el uso de un selector de dificultad como parametro de entrada de un algoritmo genetico para la generacion de niveles con elementos predefinidos, en este paper M. Kaidan et al.[28] utilizan una version extendida del Algebra de Intervalo Temporal de Allen (Allen's Temporal Interval Algebra)[29] para calcular area minima delimitadora (Minimum Bounding Rectangle) de cada elemento del juego para realizar calculos de posicion mas exactos al momento de obtener resultados, utilizando estas mecanicas proponen evaluar la relacion de movimiento despues de que una ave a impactado en alguna de las piezas del nivel.

Otros investigadores proponen utilizar sistemas de generacion que no incluyan limitantes en las estructuras a fin de permitir una evolucion general mas "libre" tal es el caso del paper desarrollado por L. Calle et al. [30] en donde utilizan un sistema de generacion que ignora la necesidad de crear estructuras siguiendo patrones o simetria, en este paper se busca utilizar un espacio de busqueda relativamente pequeno para ahorrar tiempo de procesamiento, ademas de esto utilizan una aplicacion de codigo libre llamada Box2D (<https://box2d.org>) sobre la cual esta basado el codigo del juego de Angry Birds y permite realizar simulaciones de manera mas rapida debido a que solo se calcula la estabilidad de las estructuras para el valor de fitness de los individuos, sin embargo debido que el sistema de generacion no esta encaminado por patrones las estructuras finales generadas carecen de llamatividad visual, cabe mencionar que este trabajo se utilizo como base para el desarrollo del proyecto actual, algunas de las ideas tuvieron origen en este trabajo para ser modificadas y adaptadas en nuestra propuesta.

3.3 Agentes para jugar

De igual manera varios autores toman la ruta de programacion de agentes que sean capaces de solucionar los niveles presentados en el juego, de estos se hacen mencion algunos.

Dentro de la competencia de diseño de agentes el objetivo es que el agente sea capaz de solucionar los niveles utilizando las mecanicas de gravedad y colision del juego, por tal manera F. Calimeri et al. [31] propones el uso de una forma de programacion declarativa

CAPITULO 3. ESTADO DEL ARTE

llamada Answer Set Programming (ASP por sus siglas en inglés) dicha mecánica está orientada hacia algoritmos de búsqueda difíciles, en este caso utilizan ASP para analizar el campo de juego que involucra los bloques utilizados en las estructuras y los puercos estacionados en ellas, de esta manera ASP tratará de identificar el daño que puede ser causado así como el movimiento resultante de los bloques en base a la gravedad del juego al momento de disparar una ave en un cierto ángulo con determinada fuerza, en base a esto se determina el siguiente tiro a realizar para poder completar el nivel.

Diferentes autores han utilizado diferentes técnicas para la generación de contenido, algunas utilizando computación evolutiva y algunas otras simplemente a base de algoritmos de búsqueda, de estos mismos los más relevantes se les hace mención: G. Smith et al.[32] proponen un software de generación de niveles estilo juego de plataformas mediante el uso de un software aplicando inteligencia artificial, en este software se le permite a un usuario seleccionar la altura de el punto de inicio y punto final de un nivel en particular y el sistema trata de llenar el espacio restante con plataformas que permitan que el nivel se pueda completar, el sistema se basa en una medición de pulsos en los cuales una persona podría realizar una acción determinada para avanzar a la siguiente sección.

Capítulo 4

Propuesta del proyecto

Este capitulo describe los componentes que integran el metodo propuesto, asi como la maera en como estos componentes proveen de apoyo al sistema final, este capitulo esta dividido en dos secciones la primera siendo la seccion 4.1 en donde se explican los conceptos propuestos y utilizados en el proyecto, esta seccion se divide en varias subsecciones en donde se explican partes de la propuesta y el como permitiran que el sistema generado cumpla con los objetivos requeridos, la segunda parte siendo la seccion 4.2 explica ideas y conceptos que se propusieron a lo largo del desarrollo, el como estos ayudarian a mejorar el sistema generado.

4.1 Propuesta utilizada

La propuesta final utilizada en el proyecto esta basada en el uso de varias tecnicas para la generacion de los compuestos y subsecuentemente los niveles para el juego de Angry Birds, la base de todo el proyecto esta en el uso de un algoritmo genetico para evolucionar los individuos, esto se explica mas a detalle en la seccion 4.1.3



Fig 4.1: Piezas basicas del juego angry birds

4.1.1 Generar compuestos de piezas base

El videojuego de Angry Birds cuenta con un total de 11 diferentes tipos de bloques, ademas de 2 grupos de objetos siendo estos cajas de explosivos y los puercos que pueden ser colocados en el nivel, ademas de esto cuenta con plataformas que pueden ser agregadas y rotadas para establecer plataformas en donde colocar mas bloques, de estos solo utilizaremos las 11 piezas basicas mostradas en la figura 4.1 y los puercos para generar niveles.

Las piezas basicas no pueden ser modificadas, tampoco es posible agregar nuevos bloques al codigo debido a que la competencia solo utiliza las piezas regulares, para poder librar esta restriccion se generaran compuestos con las piezas base, estos compuestos pueden estar formados de 1, 2 o mas bloques basicos, estos grupos se utilizaran para generar las estructuras que se colocaran en los niveles.

La manera porpuesta para generar estos conjuntos es mediante el uso de los valores de alto y ancho de las piezas para poder definir los bordes de las mismas, de esta manera al momento de querer unir dos o mas piezas para formar un conjunto la medida del conjunto se calculara buscando el punto mas alto, mas bajo asi como las posiciones mas a la derecha e izquierda teniendo ambas piezas unidas, un ejemplo de la union de cuatro piezas se muestra en la figura 4.2 en donde cuatro piezas se colocan unas sobre otras para formar un objeto cuadrado, para poder agregar las piezas como un conjunto se buscan los puntos mas alejados, una vez que se ah calculado el alto y ancho del conjunto se procede a encontrar el punto central del mismo, desde este punto se calcula la distancia en x y y

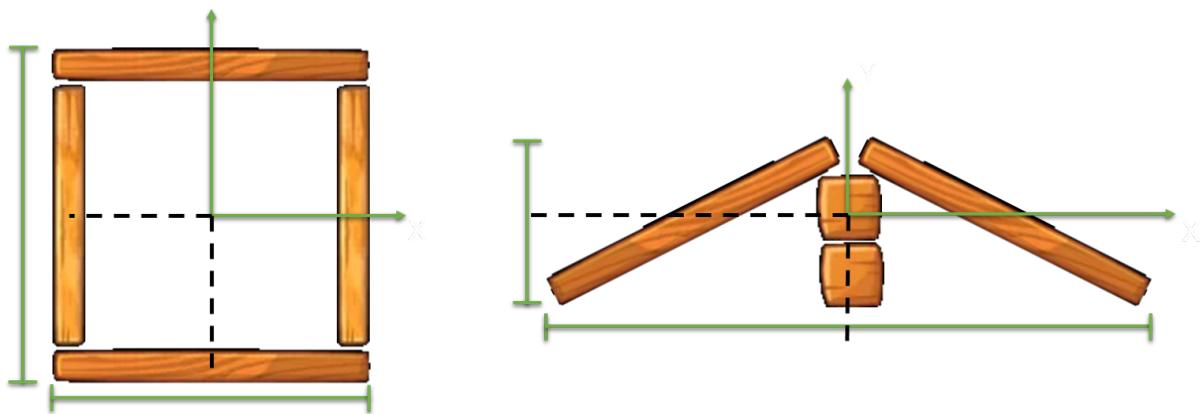


Fig 4.2: Calculo de bordes de un conjunto

hacia los centros de cada una de las piezas del conjunto, estos valores de centros se agregan en manera de diccionario para poder genererar los objetos requeridos al momento de crear a los individuos antes de iniciar las generaciones.

Debido a que los conjuntos son creados antes de la ejecucion del algoritmo se permite que el algoritmo se base unicamente manteniendo los apuntadores a las composiciones de piezas y solo trabaja con estas mediante las operaciones geneticas del propio algoritmo, esto permitira que el algoritmo utilize menos tiempo identificando posibles composiciones.

Utilizando esta manera de generar los compuestos simplemente se utiliza un algoritmo basado en clases para poder acomodar los elementos y crear los objetos requeridos segun sean necesarios, esto se explica mas detalladamente en la seccion 4.1.2.

4.1.2 Generacion de compuestos mediante objetos de clase

Para mantener un control de los compuestos, principalmente de las piezas individuales que forman los compuestos se propuso la generacion de clases con herencia en donde una clase principal contendra los metodos que las clases hijas utilizaran para obtener valores especificos cuando las piezas requieran, principalmente estos metodos se encargan de calcular las esquinas de las piezas particulares las cuales permitiran una vez se tenga un conjunto encontrar la altura y tamaño total del conjunto asi como el centro del mismo.

CAPITULO 4. PROPUESTA DEL PROYECTO

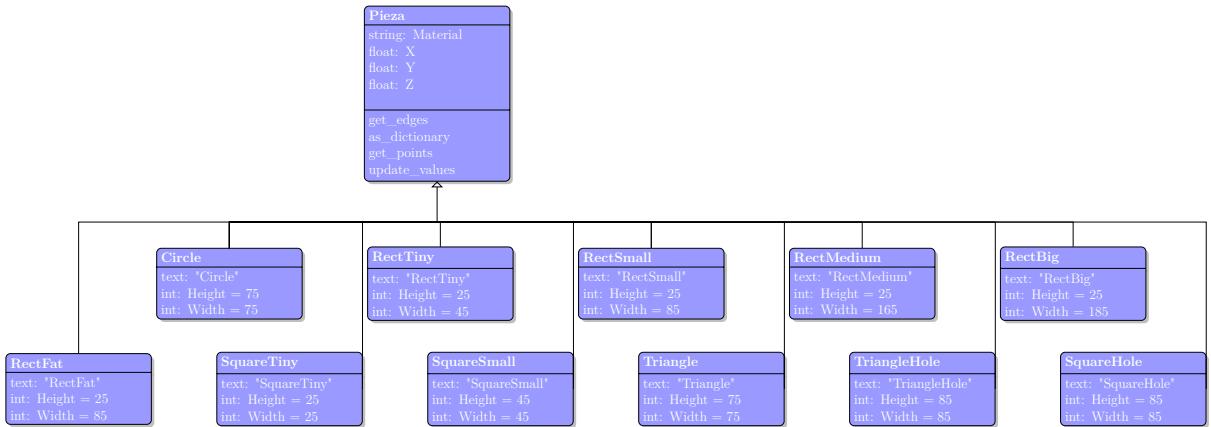


Fig 4.3: Diagrama de clase de piezas

Utilizando la estrategia mostrada en la figura 4.2 y explicada en el capitulo anterior se define una clase para los conjuntos de piezas, aqui se utilizan los calculos de las clases particulares anteriorente mencionadas para obtener los valores de bordes y tamaño de los conjuntos, estas clases se crean de acuerdo a los apuntadores indicados en los individuaos de la poblacion, cuando un apuntador hace referencia a un grupo se obtienen los datos de la piezas que integran al conjunto y se crean objetos nuevos de esas mismas clases que pertenecieran a un individuo particular, esto debido a que al hacer referencia a un objeto previamente creado un cambio realizado en un individuo particular se propagaria a todos los individuos que utilizen ese mismo apuntador, por tal motivo cuando se crean los conjuntos se mantiene una lista de valores que indican la clase que se debera de crear y la posicion en x y y relativa al centro del mismo conjunto.

El sistema de clases se establecio con el fin de reducir la redundancia de codigo y para permitir que cada clase particular mantenga los datos necesarios para crear los objetos que contiene asi como mantener las listas de las piezas que conforman los niveles antes y despues de haber realizado las simulaciones para poder realizar los calculos de manera mas rapida ademas de las clases que controlan los conjuntos y subsecuentemente las piezas individuales.

Estas clases se desarrollaron utilizando herencia, como se muestra en la figura 4.3 las once clases de las piezas basicas heredan los metodos de la clase principal, esto es como

CAPITULO 4. PROPUESTA DEL PROYECTO

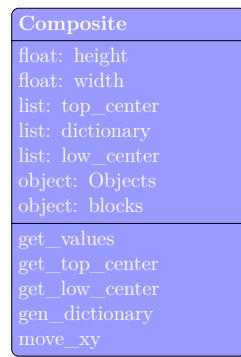


Fig 4.4: Diagrama de clase de Composite

se menciona anteriormente por que las acciones que las clases particulares haran seran las mismas sin modificar nada en los metodos, sin embargo cada una activa un constructor con los datos de tamaño y nombre especificos, estos dato son utilizados para las mediciones y para integrar casa pieza particular como una lista de texto que se utilizara para generar los archivos de los niveles.

De igual manera se utiliza una clase especifica para controlar la generacion de los conjuntos, la manera en co o funciona esta clase es que se entrega una lista al generador de compuestos, esta lista contiene una o mas piezas que conformaran el conjunto particular, la manera en como se entregan estas listas es cada linea de la lista contiene la informacion necesaria para crear los objetos de clase de las piezas requeridas, estos elementos se utilizan con las clases previamente descritas para para generar un conjunto especifico, ademas de eso esta clase se encarga de generar las listas y calcular los valores finales de los conjuntos, siendo estos valores, el punto mas alto al centro del conjunto, la altura, el ancho y las esquinas del mismo asi como un metodo que permite crear, apoyandose de las clases particulares obtiene los valores que definen cada elemento del conjunto, siendo el nombre, material del que esta hecho y los offsets o distancias desde el centro del conjunto al centro de cada pieza particular.

Finalmente, debido a que se requiere controlar una gran cantidad de datos necesarios para el algoritmo genetico por cada individuo se utiliza tambien una clase extra para ellos, esta clase permite que cada individuo mantenga los resultados de fitness despues de las



Fig 4.5: Diagrama de clase de Individuo

simulaciones asi como tambien controlar el numero y listado de las piezas que conformaran cada nivel que representa el individuo, ademas de esto la clase permite que los individuos generen los archivos necesarios de los niveles para ser evaluados, el modelo basico de esta clase se muestra en la figura 4.4 en donde se puede ver los elementos que utiliza la clase como variables principales asi como los metodos que es capaz de ejecutar una vez iniciado el algoritmo.

Mediante el uso de estas clases se controla la generacion de individuos de tal manera que un cambio realizado en la clase principal de un individuo debera de propagarse hasta la base del mismo siendo estos el controlador de conjuntos y las piezas individuales, de esta manera las modificaciones realizadas por las operaciones geneticas de igual manera se deberan de propagar por todod el individuo realizando las actualizaciones y modificaciones pertinentes en las posiciones y tipos de piezas utilizadas. Como se ah mencionado a lo largo de esta seccion el uso de clases para controlar los aspectos basicos de lo individuos resulto de gran utilidad, una de las maneras anteriores de controlar este aspecto fue mediante el uso individual de metodos para realizar las modificaciones de los individios de manera mas detallada sin embargo el sistema de clases permitia que muchos de los metodos se fusionaran de tal manera que todos los individuos, compuestos y piezas particulares cuentan con los metodos que utilizaran desde el inicio en lugar de estar llamando los mismos mandando la informacion de cada individuo de manera particular sino que al estar

integrados en los individuos es posible simplemente llamar los parametros de clase segun sean requeridos, la manera que se tenia anteriormente de utilizar metodos particulares para la generacion, modificacion y evolucion de los individuos se explica mas adelante en la seccion 4.2 junto con otras ideas que no fueron utilizadas o fueron modificadas.

4.1.3 Generar niveles utilizando algoritmos geneticos

Utilizando las ideas anteriormente presentadas, se llego a la definicion del algoritmo genetico, se decido que debiera de ser lo que se utilizaria para representar a los individuos de la poblacion dentro del algoritmo asi como el que seria lo que evolucionaria y evaluaria, mientras que el sistema de clases permite tener un control de que es lo que englobara a un individuo el algoritmo genetico es el que a final de cuentas se encargara de realizar la evolucion necesaria mediante los parametros propuestos, para esto primero se deciso que seria lo que se alimentaria en el algoritmo para realizar la evaluacion de los individuos, para este valor o variable se decidió que lo que se alimentaria seria el listado de posiciones de piezas en el individuo, esto es primero se ejecutaria una instancia del juego con los individuos existentes al momento y se evaluaria la posicion final de las piezas contra la misma posicion de las piezas antes de entrar a la simulacion de esta manera lo el valor de fitness de los individuos seria el total de piezas restantes en el nivel asi como el que tan bien logran conservar sus posiciones originales dentro de la simulacion, esto es debido a que se busca crear niveles que logren conservar su forma sin ser manipuladas por el jugador, de igual manera se decidió que seria lo que se utilizaria para evolucionar a los individuos, en este aspecto se decidió utilizar una lista de valores enteros que representan a los individuos, esta lista se explica mas a detalle en la seccion 5 esta lista se utilizara dentro del algoritmo genetico para realizar la operaciones genetica necesarias para crear a los nuevos individuos de la poblacion. e

El diagrama del sistema se muestra en la figura 4.6, en este diagrama se muestra el proceso por el cual pasa el algoritmo genetico, desde el inicio que utiliza un archivo con los parametros de configuracion necesarios para inicializar el sistema, asi como el proceso por

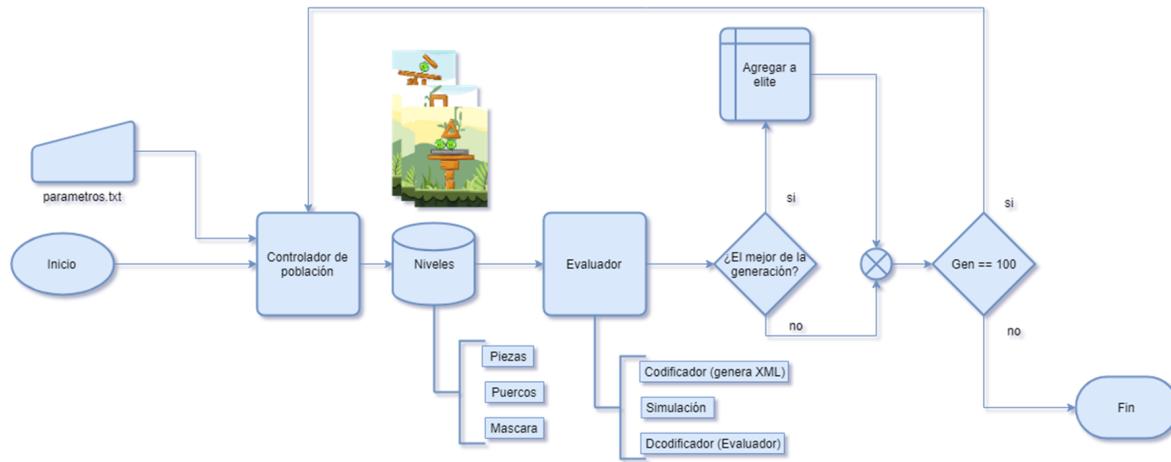


Fig 4.6: Diagrama de flujo del algoritmo

el cual pasan los individuos para su evaluación, de igual manera los individuos pasan por un proceso de selección en el cual los mejores o en este caso el mejor individuo es seleccionado para entrar a un grupo especial con el fin de ser integrado de vuelta a la población en generaciones subsecuentes para encaminar al algoritmo a obtener el mejor valor de fitness posible, de igual manera este proceso se explica más a detalle en el capítulo siguiente en donde se muestra como los conceptos vistos en este capítulo fueron implementados para generación del sistema.

4.2 Propuestas anteriores

Dentro del aspecto de generar compuestos nuevos para ser utilizados, previamente se propuso utilizar los resultados de un nivel como compuestos para las siguientes generaciones, un ejemplo de esto se muestra en la figura 4.7 en donde una estructura generada mediante el algoritmo genético se simula en el juego y después de varios segundos el resultante del mismo podía ser utilizado como un compuesto para la siguiente generación, este método proveería una manera de tener compuestos verificados como viables, sin embargo se optó por utilizar el generador de compuestos antes de entrar al ciclo del algoritmo genético.

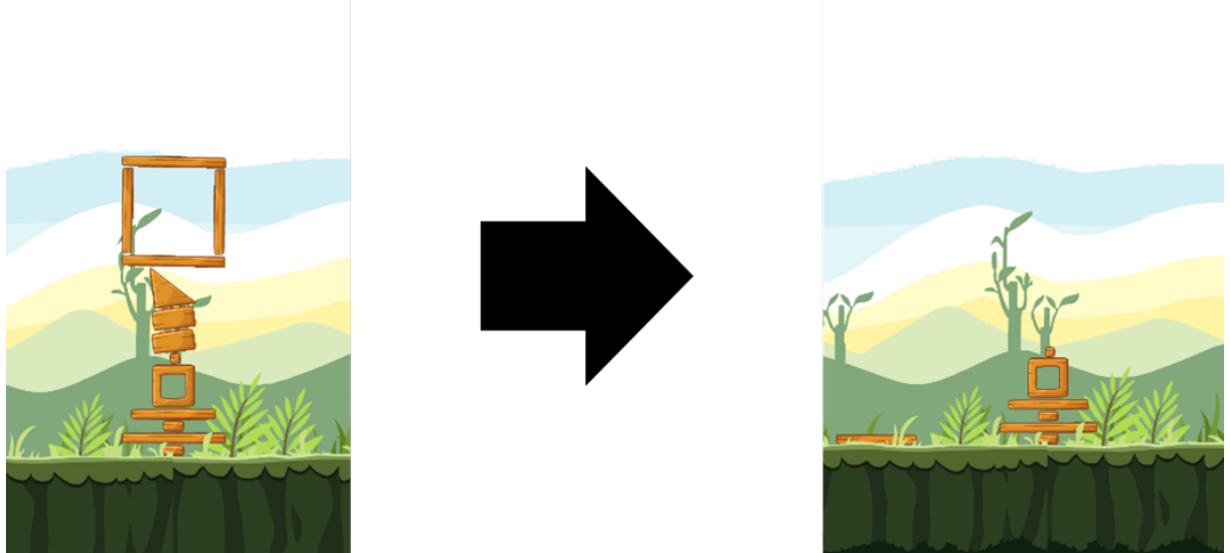


Fig 4.7: Ejemplo de una estructura antes(izquierda) y despues(derecha) de una simulacion

4.2.1 Propuesta orientada a metodos

Una de las maneras en las que propuso originalmente el desarrollo del proyecto fue mediante el uso de diccionarios mediante el uso de python, esto permitiria tener un control de los compuestos generados debido a que mediante el uso de diccionarios se podia generar un apuntados que permitiria que al momento de generar los cromosomas de los individuos de la poblacion estos utilizaran simplemente listas numericas que hicieran referencia al compuesto al cual pertenecian, esto al final permitiria generar una solo diccionario que contuviera todos los apuntadores a los compuestos generados.

Esto sin embargo presento un problema para la generacion de nuevos compuestos debido a que en caso de querer realizar pruebas restringiendo el uso de ciertas piezas o ciertas combinaciones de material-pieza se tenia que cambiar cada elemento en el diccionario generado, ademas de esto se requeria de que las piezas pudieran no solo restringirse sino que se pudieran realizar cambios en las maneras de como se generaban de manera sencilla, por tal se descarto esta propuesta con el fin de utilizar la propuesta de generacion de elementos mediante el uso de clases como se explico en el capitulo 4.1.2.

Ademas de esto otro de los problemas que se presentaban mediante el uso de metodos

CAPITULO 4. PROPUESTA DEL PROYECTO

para la generacion de los cromosomas fue que los metodos se asignaban de manera directa a los individuos lo cual probocaba que simplemente se asignaran diccionarios que especifican el conjunto de metodos que se deberian de llamar, sin embargo al no tener los beneficios de un sistema de clases que puede ser re-instanciado en caso de ser requerido se tiene el problema de que cada que se realiza una modificacion en los metodos llamados estos cambios se propagan a los demas individuos provocando errores en los niveles generados.

Uno de los puntos importantes que se lograron rescatar de esta idea fue el uso de diccionarios para almacenar los valores iniciales de las piezas para permitir que cada conjunto o compuesto pudiera generarse de manera diferente y que las piezas en cada uno estarian separadas en relacion a un centro absoluto del compuesto, ademas de que permite agregar nuevos compuestos de manera rapida lo cual permite una mejor escalabilidad en la complejidad de los niveles generados.

4.2.2 Regla de tercios

Uno de los temas que mas interesaba en la generacion de niveles fue la manera en como se acomodarian las estructuras en al area del juego, debido a que lo que se busco en el proyecto originalmente fue crear estructuras que tuvieran una gran altura y lograran mantenerse estables se buscaron maneras de lograr que los posicionamientos de las piezas o compuestos fuese lo mas '*'controlado'*' posible debido a que simplemente colocar piezas al azar generaria demasiado caos en los niveles generados, por tal motivo una de las primeras propuestas fue el uso de la *regla de tercios*.

La regla de tercios es una tecnica utilizada en el area de fotografia cuyo proposito es crear imagenes esteticamente agradables a la vista en donde el punto focal o punto de interes se encuentra colocado en la alguna de las areas de la imagen, un ejemplo de esto se puede apreciar en la figura 4.8 en donde el objeto principal que se quiere resaltar se trata de colocar en el area central de la imagen completa.

La regla de tercios es una tecnica utilizada en el area de fotografia cuyo proposito es crear imagenes balanceadas y esteticamente agradables a la vista, esto es mediante el uso

CAPITULO 4. PROPUESTA DEL PROYECTO

de lineas imaginarias que dividen la imagen en nueve areas, la manera en que funciona la regla es que mediante el uso de la cuadricula generada se colocan los objetos principales de una imagen entre lineas divisoria de tal manera que en caso de imagenes grandes donde existen dos o mas elementos importantes un solo objeto no tome el centro absoluto de la imagen, sino que se mantenga alineado a un punto donde las lineas se cruzan para que los demas elementos de la imagen tengan un mismo nivel de interes y en el caso de que solo sea un elemento no utilize toda la parte central de la imagen sino que exista un nivel de balance en la imagen en donde el cielo o el fondo tenga una tercera parte del espacio de la fotografia, mientras que el 'area activa' o el area inmediantamente adyacente al sujeto de la imagen cubra el resto de la misma.

La manera en como se planeo utilizar esta tecnica es mediante el uso de una cuadricula de tres por tres de la misma manera que se me muestra en la figura 4.8, pero en el caso de los niveles generados se espera utilizar la cuadricula para llenar areas del nivel iniciando desde la parte inferior para geenerar niveles mas robustos en en sentido de que la distribucion de las piezas es mas enfocada al centro creando una piramide o llenando todas las areas dependiendo de la cantidad de piezas utilizadas.

Debido a que los niveles generados tienen un area de vision o area jugable variante hasta cierto punto, se definira un area de juego estatica para los niveles de tal forma que todos siempre se generen con las mismas dimensiones, de esta manera se evita el tener que estar calculando areas areas para los nueve cuadrantes utilizando la regla de tercios y se utilizan siempre los mismos valores para distribuir las piezas en los niveles.

La manera en como se planeo principalmente el uso de la regla de tercios dentro del proyecto fue mediante el uso de mascaras de generacion, estas mascaras se generaron mediante la modificacion del la idea detras de la regla de tercios, esto se utilizo de igual manera una cuadricula que cubriera el area de juego, la cuadricula se modifco para cubriera el area con un tamaño de 3 cuadros de altura y 7 cuadros de largo, de esta manera las piezas tendrian un poco mas de libertad sobre el donde seria posible colocarlas, el ejemplo basico de la idea detras del uso de la regla de tercios se muestra en la figura 4.9 en donde se utiliza una mascara simple para acomodar los elementos en un individuo de tal manera

CAPITULO 4. PROPUESTA DEL PROYECTO

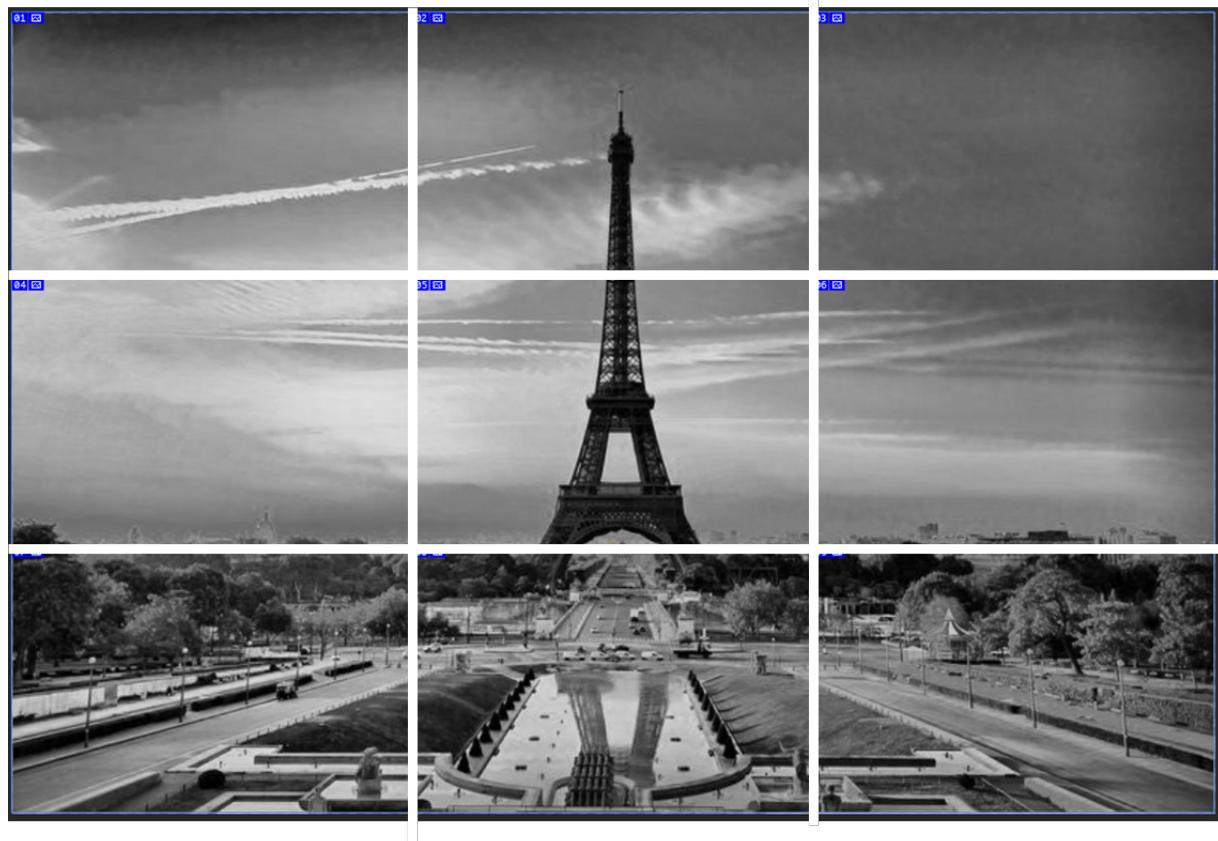


Fig 4.8: Ejemplo del uso de la regla de tercios en una imagen, el punto de interes se encuentra en la parte central

CAPITULO 4. PROPUESTA DEL PROYECTO

que el ordenamiento dentro de la cuadricula permitiria la generacion de estructuras mas complejas, sin embargo esta idea a pesar de proveer una buena mecanica en el acomodo de las piezas conllevaba un error debido que no solo se deberia de buscar los puntos en los cuales los elementos se podrian apoyar entre ellos, si no que era requerido tomar en cuenta las posiciones, alturas, tamaños y angulos de todos los elementos presentes en el cromosoma una vez colocados en el nivel, los resultados obtenidos utilizando la regla de tercios se muestran en la figura 4.10, en esta imagen se muestra como una mascara pre-generada con una forma de castillo mostrada del lado izquierdo de la imagen se combina con el chromosoma entrante de un individuo para generar el nivel mostrado del lado derecho de la imagen, este nivel se trata de asemejar a lo establecido en la mascara, mientras que el uso de mascaras pre-generadas permite encaminar el sistema de generacion a un conjunto de resultados de igual manera inhibe que se logre tener una diversidad de niveles debido a que siempre se mantendran dentro de las formas especificadas por las mascaras, debido a esto se opto por modificar la idea para permitir que los individuos tengan una mascara no pre-generada sino que de manera pseudo-aleatoria se les asigna una mascara que contendra de igual manera varias columnas en donde el total de piezas se reparte de manera aleatoria, esto permitira tener mas diversidad en los niveles generados.

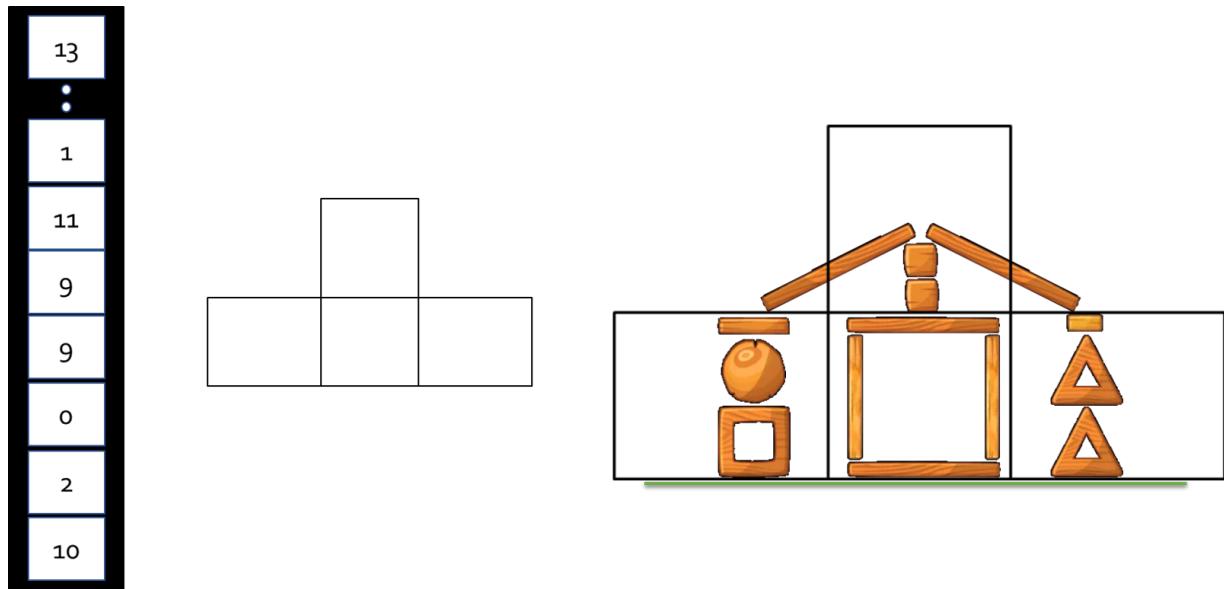


Fig 4.9: Ejemplo del uso de la regla de tercios en un conjunto de piezas, el cromosoma de un individuo(izquierda) se combina con la mascara(centro) para generar una estructura mas compleja(derecha)

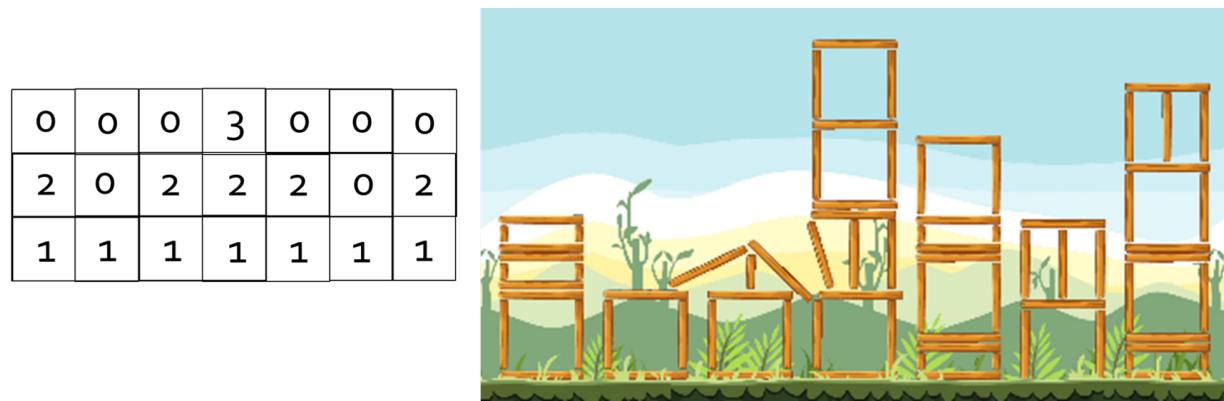


Fig 4.10: Resultado obtenido utilizando la regla de tercios, la mascara(izquierda) utilizada y el resultado generado(derecha)

Capitulo 5

Implementacion

El siguiente conjunto de secciones describen la implementacion del metodo propuesto segun las explicaciones presentadas en el Capitulo 4. La implementacion propuesta utiliza un software de simulacion como el mostrado en [], este software de simulacion esta programado en Unity con codigo fuente en lenguaje C# de Visual Studio.

5.1 Codificando los diccionarios de piezas

La primera parte que se desarrollo para poder integrar el listado de piezas al sistema de generacion fue decir la manera en como se establecerian las diferentes piezas como las mostradas en la figura 4.1 del Capitulo 4, para esto se tomaron en cuenta varias posibilidades, la primera, como se explica en la seccion 4.2.1 se buscaba ordenar las diferentes piezas como diccionarios que contuvieran una o mas referencias a las piezas que integraban cada entrada del diccionario, para esto las primeras 11 posiciones eran elementos individuales uno para cada pieza como el mostrado en la figura 2, en el codigo se aprecia la manera en como se designaba una pieza del juego, para poder trabajar de manera dinamica para poder agregar mas compuestos segun fuese necesario se utilizaban dos diccionarios extra, estos contenian los datos de los tipos de materiales posibles y la informacion de los tamaños de las piezas, de esta manera en caso de tener mas de una pieza en algun punto del diccionario era posible modificar el valor de offset de cada una de las piezas calculando

Codigo 1 Ejemplo de diccionario con un solo elemento

```

1      BLOCKS = {
2          0: [
3              {'type': BLOCK_TYPE['Circle'],
4               'material': BLOCK_MATERIAL['wood'],
5               'offset': [0, 0, 0] # x, y, z - Calculated from the center of the figure
6           }]
7      }
8
9      BLOCK_TYPE = {
10         'Circle': {'height': 72, 'length': 72},
11         'RectTiny': {'height': 22, 'length': 42},
12         'RectSmall': {'height': 22, 'length': 42},
13         'RectBig': {'height': 22, 'length': 42},
14         'RectMedium': {'height': 22, 'length': 42},
15         'RectFat': {'height': 42, 'length': 82},
16         'SquareTiny': {'height': 22, 'length': 22},
17         'SquareSmall': {'height': 42, 'length': 42},
18         'Triangle': {'height': 72, 'length': 72},
19         'TriangleHole': {'height': 82, 'length': 82},
20         'SquareHole': {'height': 82, 'length': 82}
21     }
22
23     BLOCK_MATERIAL = {
24         'wood': 0,
25         'stone': 1,
26         'ice': 2
27     }

```

la distancia del punto central de cada pieza al centro de todo el conjunto.

De esta manera como se explico anteriormente era mas sencillo crear compuestos, sin embargo, la desventaja que conyevaba utilizar este metodo era que no podiar realizar modificaciones a las restricciones de las piezas, es decir, en caso de querer evitar que un conjunto de piezas con determinados materiales no fuesen generados no se tenia la facilidad de impedir este tipo de combinaciones.

En luz de esta informacion se opto por utilizar el metodo en base a clases mencionado en la seccion 4.1.2, el codigo 2 muestra la nueva estructura utilizada segun el diagrama de

clases presentado en la figura 4.3, de acuerdo a el diagrama presentado una clase base con las operaciones y propiedades necesarias funcionaria como una clase *padre* para las clases de piezas particulares, de esta manera los individuos se representaran como un conjunto de referencias a las clases que deben de ser generadas para la composicion de niveles, sin embargo, esta manera de representar a los individuos no contempla las restricciones que pueden ser definidas para la combinacion de piezas-materiales, debido a esto se opto por generar una lista global que mantuviera un record de las restricciones aplicadas en el sistema, y al momento de generar cada reinstantiacion de clase para los individuos esta informacion se pasara a las clases segun fuese requerido, en el codigo se presenta una variable con el nombre *mat*, esta variable tomara una lista de 3 valores que define si alguno o algunos de los materiales no puede ser utilizado al momento de asignar las clases a los individuos, al momento de encontrar una pieza que de la coincidencia no puede ser utilizada con ningun material se eliminaran los datos de la pieza generada y se pedira al sistema genere otra de manera aleatoria.

Codigo 2 Ejemplo de estructura de las clases hija que heredan de la principal

```

1   class Circle(Piece):
2       def __init__(self, mat, x=0, y=0, r=0):
3           self.Name = "Circle"
4           self.Height = 75
5           self.Width = 75
6           Piece.__init__(self, x, y, r, mat)
7           self.update_values()
  
```

5.2 Creacion de compuestos

Una vez definidas las clases particulares que controlaran la informacion de las piezas en el algoritmo se procede a definir la manera en como se entregaran y controlaran los diferentes compuestos de piezas, para terminos mas simples los compuestos son grupos de una o mas piezas y se mostraran a manera de diccionario de listas como se muestra en el codigo

3, de esta manera cada entrada en el diccionario tiene por nombre o apuntador el valor posicion segun se fueron agregando al diccionario mientras que el contenido es una lista con tuplas donde se estipula la informacion pertinente de cada pieza en el compuesto, un ejemplo claro es el elemento en la posicion 9 el cual cuenta con 3 piezas que muestran los valores de offset medida desde el centro del compuesto visto graficamente en el juego, esta lista se utiliza para mantener un control de los compuestos que se pueden ir agregando durante la ejecucion del algoritmo, de tal manera que las clases auxiliares de *Composite* creadas haran referencia a una o mas piezas segun la lista se haya proporcionado al crear el compuesto.

Codigo 3 Diccionario con los compuestos existentes

```

1   Composites = {
2       0: [("RectTiny", 0, 0, 0, "wood")],
3       1: [("RectSmall", 0, 0, 0, "wood")],
4       2: [("RectMedium", 0, 0, 0, "wood")],
5       3: [("RectBig", 0, 0, 0, "wood")],
6       4: [("RectFat", 0, 0, 0, "wood")],
7       5: [("SquareSmall", 0, 0, 0, "wood")],
8       6: [("SquareHole", 0, 0, 0, "wood")],
9       7: [("Circle", 0, 0, 0, "wood")],
10      8: [("TriangleHole", 0, 0, 0, "wood")],
11      9: [("RectBig", 100, 5, -27, "wood"), ("RectBig", -100, 5, 27, "wood"), ...
12          ...("RectSmall", 0, 0, 90, "wood")]
13  }
```

5.3 Definicion de clase auxiliar de individuo

Mediante el uso de la clase de composite se tiene un mejor control de los genes que conformaran cada individuo de la poblacion, una vez que se tiene este aspecto controlado el siguiente paso es el de crear programar la clase que llevara el control de los cromosomas de un individuo, siendo los cromosomas los compuestos asignados a cada individuo particular, de tal manera que un individuo dentro de la informacion de cromosomas hara referencia

a otra lista de compuestos, la manera en como un *Individuo* relaciona los compuestos es mediante el uso de la linea de codigo:

```
chromosome_objects = [Composite(Composites[composite]) for composite in self.chromosomes]
```

Mediante esta linea de codigo se indica que se debera de crar una lista en donde cada elemento sera una instancia de un compuesto asignado al individuo, de esta manera si se requiere modificar la posicion o materiales de un compuesto particular en el individuo es posible hacerlo desde la clase de *individuo*, de igual manera esta clase tiene como funciones principales como se muestran en el diagrama de clase de la figura 4.5 realizar los calculos de fitness y generar las listas de piezas que seran utilizadas para generar los archivos de salida necesarios para las simulaciones de los niveles generados.

5.4 Generacion de individuos

Una vez definida la manera de controlar las clases el paso siguiente es el de comenzar con la generacion de ls individuos de la poblacion, para poder lograr esto se creo una linea de codigo en la cual los puntos necesarios para la generacion de los individuos se entregan totalmente, esta linea de codigo en cuestion es como sigue:

```
pop = [Individual(chromosome = get_random_chrom(ind_pieces), ...
    ..mask = create_new_mask(ind_pieces)) for i in range(population)]
```

Mediante el uso de esta linea de codigo se le indica al sistema que se requiere una lista que representara a los individuos de la poblacion, cada elemento de esta lista sera una instancia independiente de la clase *Individual*, para generar esta instancia de clase es requerido dos valores siendo estos primero una lista de valores numericos que representan cuales piezas se asignaran a los individuos, para generar esta lista se utiliza una funcion como se muestra en el codigo 4, el segundo dato requerido es una segunda lista que denota una mascara mediante la cual las piezas asignadas seran acomodadas al momento de generar los archivos de simulacion, finalmente la ultima seccion del codigo - *for i in*

CAPITULO 5. IMPLEMENTACION

range(population) - denota que el proceso se debera de repetir una cierta cantidad de veces, es decir que para cada individuo se generara una instancia con valores diferentes a los anteriores, la cantidad de veces que se debera de repetir depende de la cantidad de individuos con los que se quiere estar trabajando en el algoritmo en el caso de las pruebas realizadas se utilizo un total de 10 individuos lo que significa que la lista *pop* generada consta de 10 instancias diferentes de la clase *Individual*.

Para la generacion de la lista de piezas o cromosomas asignados a un individuo mostrada en la parte (1) del codigo en 4, aqui el valor que se recive denota la cantidad de piezas o compuestos que se deberan de asignar en la lista para el individuo, para asignar estos valores primero se obtiene un numero aleatorio que va desde 0 hasta la cantidad de piezas o compuestos presentes en la lista menos una unidad para evitar errores de posicionamiento de lista, posteriormente se revisa si la pieza seleccionada puede ser utilizada al menos en una combinacion dentro de la generacion, en caso de que no puede ser utilizada se obtiene otra y de igual manera se revisa, en caso de poder ser utilizada se agrega a la lista y avanza un contador para saber cuando se llegue al limite de piezas posibles de usar, finalmente se entrega la lista de piezas para la generacion de la instancia de clase. Para la generacion de la mascara de acomodo de piezas se utiliza la seccion de codigo mostrado en la parte (2), en esta parte lo que se realiza es que se revisa la cantidad de compuestos que se pueden utilizar como en la parte anterior, este valor se utiliza posteriormente para generar una lista aleatoria, la lista que se genera tiene un total de 7 posiciones que denotan 7 divisiones que se realizan en el area de un nivel para el acomodo de las piezas, mediante el uso del valor de piezas en cada individuo se realiza una aleatorizacion de numeros desde 0 hasta la cantidad maxima de piezas, una vez se obtienen estos valores aleatorios se revisa si la suma de estos da la cantidad de piezas en el individuo, en caso de que no sea asi se repite el proceso, en caso de que si se cumpla entonces la lista se regresa para la creacion de la instancia de clase.

Una vez que se ah logrado crear la lista de individuos se procede a inicializar el algoritmo evolutivo, este algoritmo se ejecutara una determinada cantidad de veces que se haya establecido en el codigo, el pseudo-codigo ah ejecutar con su respectiva implementacion

Codigo 4 Codigo de asignacion de cromosomas(piezas)[1] y codigo para generar mascaraas [2]

```

1   (1) def get_random_chrom(sl):
2       asl = 0
3       chrom = []
4       while asl < sl:
5           prop = random.randint(0, len(Composites)-1)
6           if clases[Composites[prop][0][0]].Valid == True:
7               chrom.append(prop)
8               asl += 1
9           #random.randint(0, len(Composites)-1) for p in range(ind_pieces)
10      return chrom
11
12 (2) def create_new_mask(pieces):
13     div_list = []
14     while True:
15         div_list = [random.randint(0, pieces-1) for col in range(7)]
16         if sum(div_list) == pieces:
17             break
18
19     return div_list

```

en codigo se enlista a continuacion en el codigo 5, este pseudocodigo engloba los aspectos principales del sistema de generacion de niveles, el codigo se explica mas a detalle en las secciones siguientes.

5.4.1 Integracion de miembros elite

Esta parte se encarga de iniciar los bucles de generacion, la funcion principal de este broque de codigo es la revisar la lista auxiliar de miembros de elite que existe en memoria, en caso de tener elementos en la lista estos se integran a la lista de la poblacion integrandose al inicio de la misma, una vez agregados todos los miembros la lista de la poblacion se corta hasta el numero maximo de miembros permitidos en las generaciones, este valor se asigna como un valor de entrada al inicio del archivo que contiene el codigo.

Una vez terminada esta accion se procede a denotar la cantidad de padres que seran

Codigo 5 Pseudo-codigo del algoritmo genetico

<i>Integrar miembros "elite" (1-4)</i>	<pre>if elite not null for member in elite population <- member trim population</pre>
<i>Simular individuos (6)</i>	execute process (game)
<i>Calcular fitness (8-9)</i>	for individual in population individual.getfitness
<i>Obtener padres de la generacion (10)</i>	parents <- selector_operator(population, required)
<i>Realizar crossover (12)</i>	crossover_operation(population, parents)
<i>Seleccionar elite (14-15)</i>	population.order('fitness') elite.add(population[1])

necesarios para generar los hijos de las generaciones futuras, esto se hace mediante el calculo:

```
many = len(pop) * per_cross
```

En donde *pop* representa la lista de miembros de la poblacion, *per_cross* representa un valor entre *0.0* y *1.0*, este valor representa que tanto porcentaje de la poblacion se quiere realice cruces, de esta manera la variable *many* representa la cantidad de individuos que se deberan de utilizar para cumplir el porcentaje de cruce, debido a que el valor de *per_cross* puede generar un valor flotante se tiene una parte de codigo en donde si el total de individuos que realizaran cruces es un numero impar entonces el valor que se debera de utilizar sera el numero par redondeado hacia abajo, es decir, si de 10 individuos en la poblacion se quiere que un total de individuos cercano al 50% realicen un cruce entonces el valor resultante para la variable *many* seria de 5, en este caso lo que se hace es restar 1 al resultado y despues se redondea hacia abajo, lo cual haria que el numero de padres requeridos para los cruces sea de 4.

Una vez que se tiene el valor de los padres requeridos para los cruces de la generacion se procede a crear los archivos auxiliares de los individuos de la poblacion, los archivos generados son en formato *XML*, la informacion que contienen estos archivos es la posicion,

tipo y material de las piezas que seran utilizadas en el nivel, ademas de esto tambien contiene la informacion de la cantidad y tipo de aves asi como de los enemigos que seran colocados, estos archivos son almacenados en un folder en donde el software de simulacion se encarga de obtenerlos y entregar los resultados despues de la simulacion.

Una vez que los archivos de simulacion han sido generados el algoritmo manda un comando que manda la ejecucion del software de simulacion, el software en particular cuenta con una ventan grafica en la que se puede apreciar los niveles que se generaron o evolucionaron an caso de estar simulando archivos de una generacion despues de la primera, de igual manera el software genera un archivo en formato *XML* similar al que se genera antes de la simulacion, la diferencia entre ambos archivos es que el que es entregado despues de la simulacion entrega los datos de posicion del ultimo estado registrado del nivel, ademas de que se puede solicitar que entregue el valor de la aceleracion de la misma, el valor de aceleracion es tomado en cuenta desde el punto en el que la pieza comienza su descenso, en caso de que una pieza sea destruida durante el proceso de simulacion ninguno de los datos de esa pieza son grabados en los archivos, la manera de llevar control de las piezas que entran y las que salen es mediante el uso de un numero de lista asignado al momento de generar los archivos de simulacion de la seccion anterior.

Posterior a la simulacion los archivos entregados son revisados y en base la informacion de las piezas se calcula el *Fitness* de las mismas, posteriormente a esto se procede a ordenar la lista, y realizar las operaciones de seleccion, cruce, mutacion los cuales se explican en la seccion siguiente.

5.4.2 Operador de seleccion

El proceso de seleccion se definio de dos maneras diferentes, la primer es mediante el uso de una ruleta para las seleccion, en esta ruleta los valores que se toman en cuenta es el fitness de cada individuo, mientras mas alto sea el fitness mayor sera la probabilidad de ser seleccionado para el cruce en la siguiente seccion.

El segundo metodo utilizado es la seleccion mediante torneo, en este tipo de seleccion

lo que se realiza es que los individuos se seleccionan en pares de manera aleatoria, entre cada par se realiza un calculo de cual tiene el mejor fitness y ese individuo es seleccionado como padre para la generacion.

5.4.3 Operador de cruce

Para los operadores de cruce se tienen codificados dos tipos, cruce de un punto y cruce de dos puntos, este operador de cruce se realiza no solo en los individuos de la poblacion sino tambien en las mascaras que tienen los mismos individuos, esto es para aumentar un grado mas el nivel de diversidad que se puede tener en los individuos generados, la idea en este caso es lograr que existan casos en donde la mascara sea muy chica y varias piezas de los individuos no sean mostradas y el caso contrario permitira que un individuo pueda o no quedar con el mismo caso y puede que se de el caso en donde alguno de ambos elementos logre obtener un mejor nivel de fitness en la generacion.

Un ejemplo de estos dos tipos de cruce se puede apreciar en la figura 5.1 en donde dos individuos realizan un cruce con sus mascaras y las mascaras generadas para los hijos resultan con diferente cantidad de piezas.

La manera en como se aplican estos tipos de operador es:

1. Definir un punto de corte igual para los dos individuos en cualquier posicion de la lista de genotipos.
2. Separar las dos partes cortadas de ambos individuos de tal manera que se tenga la parte de inicio (del inicio hasta el corte) y la parte final (desde el corte hasta el final) de cada individuo.
3. Para crear al primer hijo tomar la parte inicial del primer individuo y unirla con la parte final del segundo individuo
4. Para el segundo hijo tomar la parte inicial del segundo individuo y unirla con la parte final del primer individuo.

De esta manera los hijos se pueden comprender de la siguiente manera:

```

padre1 = padre[1, punto_corte]
padre2 = padre[punto_corte, fin]

madre1 = madre[1, punto_corte]
madre2 = madre[punto_corte, fin]

hijo1 = padre1 + madre2
hijo2 = madre1 + padre2

```

Para el caso del cruce de dos puntos la manera en como se realiza es que en vez de dividir el genotipo de un individuo en dos partes se divide en tres y al momento de realizar la combinacion se toma la primer parte del primer individuo, despues la parte de enmedio del segundo individuo y finalmente la parte final del primero, de tal forma que solo la parte central de ambos individuos se cambia.

5.4.4 Operador de mutacion

La mutacion de los individuos de la poblacion ocurre solo al momento de hacer el cruce de los mismos, es decir solo a los elementos nuevos se les aplica el operador de mutacion, este operador puede modificar los siguientes elementos de un individuo:

1. La cantidad de piezas que conforman al individuo.
2. El material del cual estan formados los elementos.
3. El tipo de elemento que conforma a un individuo, es decir, modificar el valor del compuesto que forma parte del individuo.
4. La posicion individual (x o y) de los compuestos.

La manera en como se aplica el operador de mutacion se describe como sigue, primero al momento de generar al nuevo individuo se realiza un calculo de porcentaje en donde se decide si tendra o no mutacion dependiendo del procentaje de mutacion que se haya

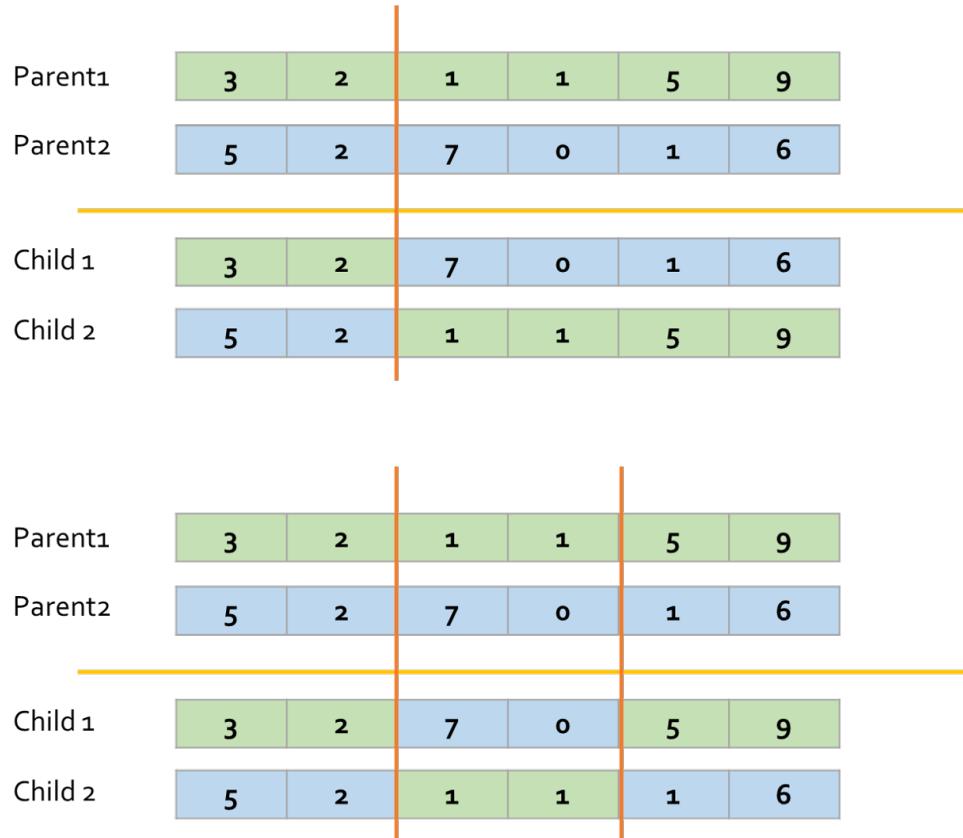


Fig 5.1: Cruce de un punto (arriba) y cruce a dos puntos (abajo) aplicada a la mascara de individuos

			0				
4		1	2	6		2	
1		5	8	9		3	
0	0	4	3	2	4	5	

			6				
			0				9
		1	2	6		2	
1		5	8	9	2	3	
0	0	4	3	2	4	5	

Fig 5.2: Ejemplo del operador de mutacion enfocado a remover y agregar compuestos

asignado al inicio del algoritmo, posteriormente en caso de que el valor de porcentaje quede dentro del rango se toma para las operaciones, esta mismas se explican de la manera siguiente.

Para mutar la cantidad de compuestos en un individuo primero se realiza una seleccion aleatoria entre las opciones de agregar o quitar compuestos, posteriormente en caso de requerir agregar mas se realiza una seleccion aleatoria de entre la cantidad de compuestos creados, estos mismos se integran al final de la lista de compuestos del individuo. Para eliminar elementos de la lista se realiza una corrida por todos los elementos y en cada uno se realiza una probabilidad de 50% de sea borrado de la lista, un ejemplo de este proceso se muestra en la figura 5.2 en donde se presenta una tabla que denota las posiciones de los compuestos en base a la mascara, en este ejemplo se realizo una corrida para remover elementos (color rojo) y una segunda para agregar nuevos compuestos (color verde).

La segunda mutacion se encarga de modificar el material del que estan conformados los compuestos del individuo, la manera en como trabaja este proceso es primero se selecciona aleatoriamente cuales compuestos seran modificados sin repetir valores, posteriormente se modifica de manera aleatoria el valor que define el tipo de material del que se conforma, para esto se toma en cuenta que 0 representa material de madera, 1 representa material de hielo y finalmente 2 representa el material de piedra, debido a que el juego solo acepta esta lista de compuestos no es posible asignar valores diferentes a estos.

CAPITULO 5. IMPLEMENTACION

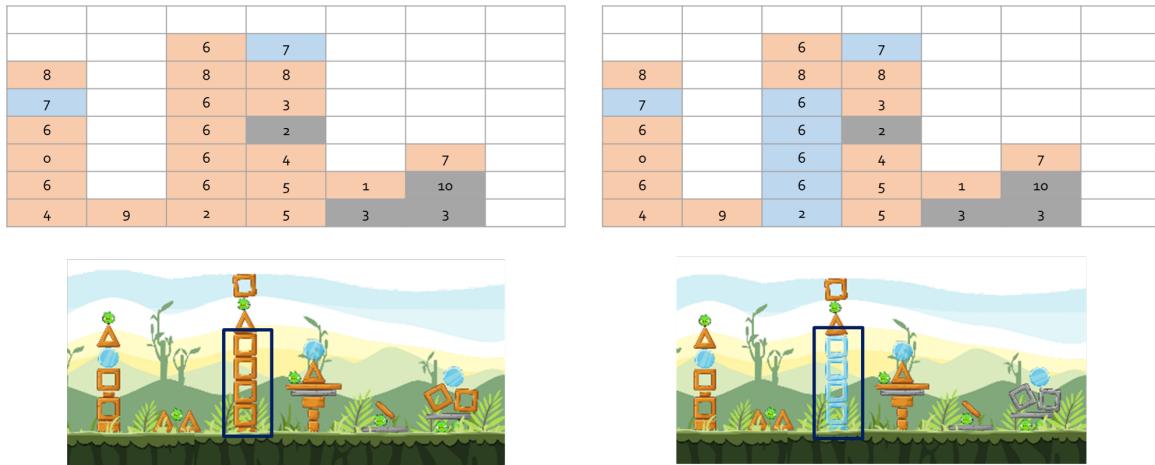


Fig 5.3: Ejemplo del operador de mutacion enfocado a cambiar el material de los compuestos, pre-mutacion (izquierda) y post-mutacion (derecha)

En la figura 5.3 se muestra un ejemplo de la manera en como opera la mutacion del tipo de compuesto, en este ejemplo se muestra el genotipo y fenotipo de un individuo, el genotipo muestra los colores naranja, azul y gris para denotar los materiales de madera, hielo y piedra respectivamente, en este caso la mutacion cambia el material de 5 elementos del genotipo de madera a hielo, esto se refleja del lado derecho en donde se muestra la vista actualizada del individuo despues de la mutacion.

Debido a que los compuestos generados pueden contener diferentes cantidades de elementos en estos casos se cambia el material equitativamente a todos elementos del compuesto, de esta manera se evita tener que realizar un recorrido por todo el compuesto y mutar el material de cada uno.

La tercera mutacion se encarga de cambiar el compuesto que representa una posicion del genotipo del individuo, este trabaja de una manera similar al anterior en el sentido de que primero se selecciona a los individuos a mutar, posteriormente a la seleccion se realiza una segunda seleccion aleatoria entre las posiciones del genotipo del individuo, aquellos compuestos seleccionados son cambiados por otro de la lista existente, para esto se realiza una seleccion de un valor aleatorio que va desde 0 hasta la cantidad de compuestos existentes, por ejemplo suponiendo que se tiene solo la cantidad base de piezas en el algoritmo entonces la seleccion sera un valor aleatorio desde 0 hasta 10 .

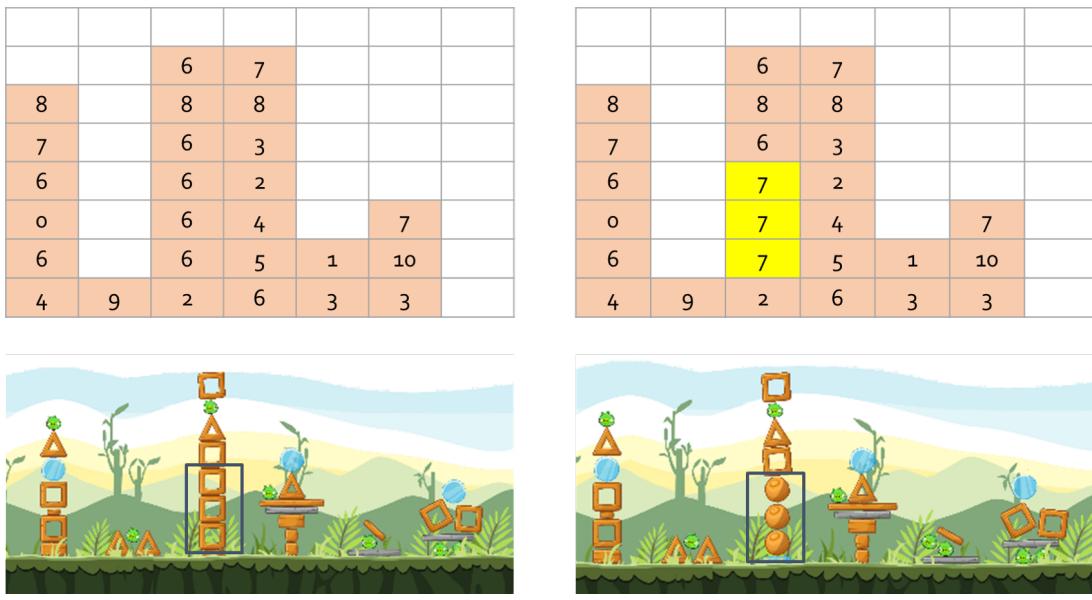


Fig 5.4: Ejemplo del operador de mutacion enfocado a cambiar los compuestos asignados, pre-mutacion (izquierda) y post-mutacion (derecha)

La figura 5.4 nos muestra un ejemplo de como es que actua la mutacion de tipo de compuesto, en el ejemplo mostrado se tiene el genotipo de un individuo combinado con su respectiva mascara asi como su fenotipo respectivo (lado izquierdo) al ser representado en la pantalla del juego, en el lado derecho de la misma imagen se aprecia la modificacion de compuestos realizada al genotipo base (marcado en amarillo), la modificacion de compuestos en los individuos puede traer la concuencia de que los niveles generados sean inestables como en este ejemplo, esto a su vez puede permitir identificar masillas de los individuos que logran mantener la estabilidad de las estructuras permitiendo asi mejorar el algoritmo.

El ultimo tipo de mutacion realizada en los individuos es la modificacion de las posiciones x y y de algunos compuestos dentro del individuo, la modificacion de las posiciones se realiza mediante una seleccion de valores aleatorios de una distribucion gaussiana dentro de un cierto rango de distancia para no permitir que los elementos se alejen demasiado de punto central original.

Composites layer

8	7	6	0	6	4	9	6	8	6	6	6	6	2	7	8	3	2	4	5	5	1	3	4	10	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	---

Mask layer

6	1	7	7	2	3	0
---	---	---	---	---	---	---

Resulting level

				6		7																		
8				8		8																		
7				6		3																		
6				6		2																		
0				6		4											7							
6				6		5			1								10							
4		9		2		5			3								3							

Fig 5.5: Ejemplo de la combinacion de capas de un individuo

5.4.5 Representacion de individuos

Una vez que se han agregado nuevos individuos a la poblacion, y que estos individuos pasaron por su fase de mutacion si es que requerian se procede a realizar la combinacion de los elementos que conforman al individuo con el fin de generar los archivos requeridos para la simulacion de estos mismos, cabe resaltar que esta combinacion se realiza tambien en los individuos iniciales antes de la simulacion inicial, debido a que el juego requiere una representacion mediante el uso de archivos en formatos *XML*, se requiere primero obtener la informacion de todos los elementos que conforman a un individuo y posteriormente armar los archivos mediante el uso de estos datos.

En la figura 5.5 muestra la estructura de los componentes de un individuo, un individuo es representado por 2 capas diferentes en forma de lista, la primera es la capa de compuestos, esta capa se muestra la lista de compuestos que representan a un individuo,

CAPITULO 5. IMPLEMENTACION

esta lista puede variar en tamaño dependiendo de si durante las operaciones de mutación se le agregaron o quitaron elementos al individuo, de igual manera como se explico en la sección 5.2 cada valor de la lista representa no una pieza del juego sino uno de los compuestos que se crean antes de iniciar el algoritmo o aquellos que se agregan durante el mismo en caso de haber.

La segunda parte que compone la representación del individuo es la máscara, como se explica en la sección 4.2.2 la idea detrás del uso de esta máscara es la de generar estructuras utilizando la lista de compuestos del individuo, en esta misma sección se presento una propuesta de crear máscaras en donde se denotara la forma que se quería que tuviera un individuo particular, aplicando estas estructuras en los individuos generaba los resultados esperados, siendo el caso niveles en donde la distribución de los compuestos crearan formas diferentes como castillos, torres, casas o diferentes figuras, sin embargo utilizar este tipo de estructuras no permitía que el algoritmo lograra evolucionar sino que simplemente encontraría la mejor combinación de piezas-máscara en determinado momento, por esto se optó por utilizar la generación de máscaras que se muestra en la figura 5.5 y que fue explicado en la sección 5.4 la cual únicamente muestra una determinada cantidad de piezas a asignar en posiciones diferentes del nivel, esto permite tener mejor diversidad en los individuos creados.

Al momento de combinar ambos componentes del individuo se obtiene un resultado similar al mostrado en la parte inferior de la imagen en donde los compuestos se organizan en manera de cola, es decir el primer elemento en la lista será el primero en ser colocado, una vez que se definen cuáles elementos serán colocados en cada columna el sistema calcula la altura total de cada compuesto y comenzando desde la parte inferior coloca un compuesto en el nivel, después calcula la distancia desde la parte superior del mismo hasta la parte central del siguiente para colocarlo de tal forma que al comenzar la simulación no aparezcan en caída libre sino que aparezcan una pieza sobre otra, de esta manera se previenen problemas de balance al permitir que las piezas caigan y reboten en direcciones que provocarán que las estructuras terminen por caer totalmente, en la misma imagen se aprecian cuadros de diferentes colores, estos mismos representan el material del cual está

construido cada compuesto como se explico en la seccion de mutacion anterior.

Finalmente una vez que se tiene la informacion anterior definida se procede a realizar una busqueda de los lugares en donde apareceran los enemigos del juego, la manera en como se define donde pueden aparecer estos es mediante una funcion que revisa los compuestos que existen en el nivel, cuando un compuesto cumple con ciertas caracteristicas se permite que uno de los enemigos pueda ser colocado en la parte central o superior del mismo, al iniciar este metodo se busca aquellos que cumplen esta caracteristica y se ordenan en una lista auxiliar, despues de manera pseudo-aleatoria se decide la cantidad de enemigos que tendra el nivel, de acuerdo a este valor se seleccionan x cantidad de posiciones para colocar a los enemigos donde x es el valor de enemigos requeridos, una vez se definio en donde estaran colocados estos enemigos se regresa una lista con las coordenadas x y y de las mismas.

Mediante la combinacion de los enemigos con el genotico construido de un individuo se obtiene el nivel a mostrar en el juego, una representacion de esto se muestra en la figura 5.6 en donde al genotipo armado de acuerdo a los puntos anteriormente mencionados se le agrega el listado de posiciones de los enemigos, en este caso los enemigos son representados por un color verde en las posiciones en donde estaran, finalmente esto permite tener la estructura de los niveles completa, esta informacion se utiliza al momento de generar los archivos de *XML* los cuales en el software de simulacion generaran una vista de los mismos como se muestra en la esquina inferior derecha de la misma imagen.

5.4.6 Calculo de fitness

Cuando los individuos pasan por el proceso de simulacion se genera un archivo en formato *XML* que contiene los resultados de los compuestos que fueron puestos en los archivos antes de la simulacion con la diferencia de que estos archivos contienen la informacion del ultimo estado de los mismos compuestos al terminar dicha simulacion es decir se obtiene un listado de piezas y enemigos con la informacion de sus posiciones x y y asi como del angulo con en el cual quedaron al concluir la simulacion, ademas de esto se entrega la

CAPITULO 5. IMPLEMENTACION

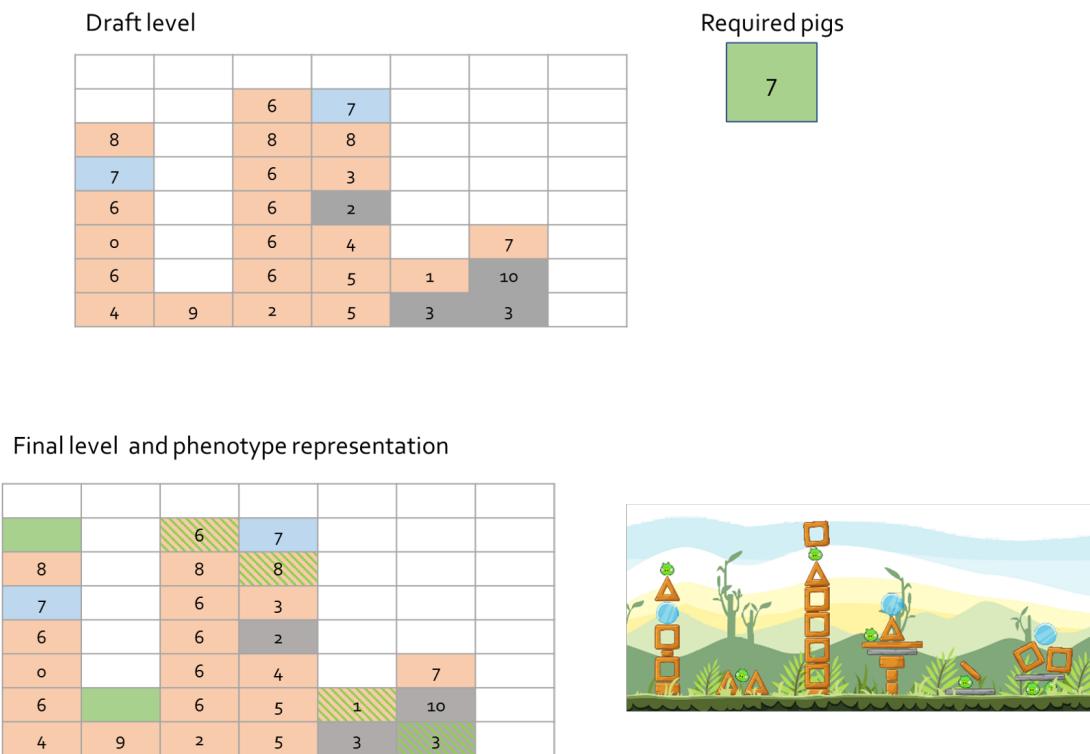


Fig 5.6: Ejemplo de la combinacion de un genotipo armado de la figura 5.5 con la colocacion de enemigos

CAPITULO 5. IMPLEMENTACION

informacion de la velocidad promedio de movimiento que tuvieron.

Esta informacion permite conocer las imperfecciones que tuvieron los niveles al concluir las simulaciones, para mejorar la evaluacion obtenida que determina la aptitud de los individuos se toma en cuenta una evaluacion de dos fases la primera fase tiene que ver con la estabilidad de los individuos y se evalua en base a dos metricas:

1. La cantidad de piezas que no son destruidas durante la simulacion.
2. Las posiciones finales de dichas piezas al terminar la simulacion.

Para poder realizar el calculo de las piezas presentes antes y despues de la simulacion se utilizara informacion de las piezas anteriormente mencionada, sus posiciones tanto x como y asi como del angulo de las mismas, a esta informacion se le agrega un indicador de posicion para poder compararlo con los datos del mismo indicador para las funciones siguientes, esta lista de informacion se realiza tambien antes de la simulacion con el fin de tener datos con los cuales comparar, una vez que se tienen los datos se procede a realizar el proceso de calculo de fitness, para calcular la diferencia de piezas se compara la cantidad de elementos en ambas, debido que al momento de caer de alturas grandes algunos elementos tienden a romperse entonces la cantidad de elementos despues de la simulacion podra ser menor, para obtener el primer valor se realizara un calculo para obtener un valor entre 0 y 100 que define la calificacion en forma de porcentaje del total de piezas que se salvaron en la simulacion es decir si antes de la simulacion se tenia un total de 10 piezas y al terminar la simulacion en el archivo correspondiente solo existen 5 entonces el individuo tendra una calificacion de 50% debido a que solo la mitad de las piezas no fueron destruidas.

El segundo valor toma se utiliza para definir si los conjuntos que no se destruyeron se lograron mantener los mas estables posibles, esto se calcula mediante el uso de dos formulas mostradas en las formulas 5.1 y 5.6 mediante el uso de estas formulas se comprueba si las piezas se lograron o no mantener en sus posiciones originales, en los casos donde las piezas no se hayan destruido se utilizan estas formulas para revisar si las posiciones y angulos de inicio y final de la simulacion son los mismos, en caso de que asi sea entonces no se

realizan modificaciones al fitness obtenido previamente, en caso contrario se obtiene una penalizacion al fitness equivalente a una tercera parte del valor de porcentaje por una pieza si se movio de posicion y otra tercera parte si su angulo cambio.

$$error_{xy} = \begin{cases} 0 & \text{si } 0.08 > d \\ \frac{100}{longitud_piezas} * -0.33 & \text{si } 0.08 < d \end{cases} \quad (5.1)$$

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

$$error_r = \begin{cases} 0 & \text{si } -5 < r < 5 \\ \frac{100}{longitud_piezas} * -0.33 & \text{si } 0.08 < d \end{cases} \quad (5.2)$$

$$r = |rotacion_o| - |rotacion_f|$$

Por otro lado la segunda fase de la evaluacion busca tener mas diversidad en los individuos, esto es que tan *nuevos* y *diferentes* logran ser, la manera en como se propone realizar esta evaluacion de diversidad es mediante el uso de las metricas:

1. La diversidad de las piezas utilizadas en el individuos
2. El resultado de la funcion de entropia con las piezas utilizadas.
3. La distancia *Hamming* del mismo conjunto de piezas.

Para evaluar la diversidad de los elementos primero se realiza un calculo de los diferentes compuestos que integran a un individuo, para la evaluacion de esta parte se toma en cuenta la diversidad que logra tener el individuo, en donde el utilizar diferentes compuestos de la lista total permite tener una mejor calificacion, esto es debido que mientras mas compuestos sean utilizados los niveles que se pueden generar seran diversos entre si.

Posterior a esto se realiza un calculo de la entropia de un individuo, el calculo de entropia es utilizado en la teoria de informacion para calcular el nivele de desorden o

incertidumbre en los individuos, la formula que se utiliza para esto se muestra en 5.3

$$s = - \sum_i P_i \log P_i \quad (5.3)$$

La manera en como la entropia es utilizada en este proyecto es para determinar si un individuo se vuelve "*aburrido*" o "*interesante*" la manera en como se define este concepto para el individuo es mediante la medicion de las piezas semejantes en el mismo, de acuerdo a esto si la cantidad y tipos de compuestos se repiten demasiado en el individuo entonces el individuo tiene entropia baja o en otras palabras se vuelve "*aburrido*" y *monotono*, es decir si se tiene entropia baja entonces significa que los compuestos utilizados son mayormente iguales dentro del individuos los cual generara un nivel demasiado simple a diferencia de si se tiene entropia alta significa que la cantidad de compuestos diferentes es alta los cual generara niveles con formas un poco mas impredecibles.

$$d = \min \left\{ d(x, y) : x, y \in C, \text{ si } x \neq y \text{ entonces } 1 \text{ sino } 0 \right\} \quad (5.4)$$

Una vez que se obtuvo el calculo de la entropia del individuo se procede a obtener la distancia *Hamming* del mismo, de manera sencilla la *distancia de hamming* (Hamming distance en ingles) representa el calculo realizado en dos cadenas de valores en donde el punto es encontrar el valor minimo de sustituciones necesarias para cambiar una cadena a otra, visto de otra manera, la *distancia de hamming* se encarga de encontrar la distancia mas corta entre dos cadenas, la manera en como funciona esta funcion se muestra en la formula 5.4, en esta misma ecuacion los objetos x y y representan listas, en este caso se manejan listas de valores booleanos es decir listas de valores 0 y 1, una explicacion mas

simple se presenta en la funcion 5.5.

$$\begin{aligned}
 C &= \{a, b, c\} \\
 a &= (00000) \\
 b &= (10110) \\
 c &= (01011) \\
 d(a, b) &= 3 \quad d(a, c) = 3 \quad d(b, c) = 4
 \end{aligned} \tag{5.5}$$

$$\begin{aligned}
 error_r &= \left\{ \begin{array}{lll} 0 & \text{si} & -5 < r < 5 \\ \frac{100}{longitud_piezas} * 0.5 & \text{si} & 0.08 < d \end{array} \right\} \\
 r &= |rotacion_o| - |rotacion_f|
 \end{aligned} \tag{5.6}$$

En esta funcion se tiene un conjunto de listas representado por C , en este conjunto existen las listas a , b y c , para poder encontrar la *distancia de hamming* de cada par de listas se utiliza la formula 5.4 esto es, se revisa cada par de elementos de la listas y se suma 1 si los elementos son diferentes, de esta manera se logra determinar que la cantidad de cambios necesarios para hacer que la lista b se asemeje completamente a la lista a es 3 debido a que solo se requiere cambiar los tres valores 1 en la lista b , la razon por la que no es requerido cambiar valores en la lista a es debido a que en la funcion la segunda lista utilizada es la que se quiere asemejar a la primera no solamente cambiar una lista a otra.

Al utilizar la distancia de *hamming* se obtiene como mencionado anteriormente la cantidad menor de cambios para asemejar una lista a otra, sin embargo como el fin de sistema es crear niveles que sean diferentes entre si entonces es posible incluso modificar la evaluacion para obtener este valor para obtener la mayor distancia posible de tal modo que se sabra cuales individuos tendran la tendencia de ser diferentes para generar mas diversidad.

5.4.7 Selección de miembros elite

Finalmente después de obtener los resultados de aptitud de los individuos se procede a realizar la selección de aquellos que lograran integrar el grupo de elite que se utilizara para sustituir miembros de la población al inicio de la siguiente generación, para realizar esto primero se requiere ordenar todos los individuos por medio de su respectivo valor de fitness desde el valor mas alto hasta el valor mas bajo, posteriormente se toma una determinada cantidad de individuos iniciando desde el mejor, la cantidad de individuos que se tomaran para el grupo de elite es una cantidad que se define antes de iniciar el algoritmo genético.

Una vez que se ah tomado la cantidad de individuos requerida se procede a integrar estos mismos individuos a el grupo de elite, para realizar la integracion al grupo de elite primero se requiere analizar el estado del grupo, en caso de que no existan elementos en la lista lo cual solo sucede en la primera generacion, el grupo seleccionado se integra automaticamente a la lista de elite, despues se ordena la lista de acuerdo al valor de aptitud y se corta de tal manera que la lognitud de la lista de elite sea menor o igual a un valor que se determina antes de iniciar el algoritmo, en caso de que ya existan elementos en el grupo entonces estos miembros se integran al final de la lista del grupo elite, se realiza un reordenamiento en la lista en base al valor de aptitud de los individuos y se corta la lista en caso se ser requerido.

Una vez que se han completado todos los procesos anteriormente explicados el algoritmo agrega datos de los mejores, los perores y el promedio de los valores de aptitud de los individuos en listas que sirven para realizar promedios al final de toda la ejecucion del codigo, ademas de esto tambien se guarda informacion de los resultados individuales de las funciones de *entropia* y la *distancia de hamming* con el fin de ver en manera de graficas el comportamiento del algoritmo bajo los datos que le fueron proveidos al inicio de la ejecucion. Al terminar este proceso de integracion de datos se realiza el ultimo movimiento en la informacion de la generacion siendo este obtenerlos archivos *XML* de los individuos y guardandolos en una nueva locacion con el fin de mantener un registro del progreso de los individuos durante la ejecucion del algoritmo.

Capítulo 6

Experimentos y Resultados

Este capitulo es el encargado de describir los diferentes experimentos realizados con el sistema, dichos experimentos se realizaron para comprobar la correcta funcionalidad de lo creado asi como para revisar que efectivamente el sistema hace lo que fue propuesto en capitulos anteriores, eso es la generacion de niveles estables y diferentes entre si.

La manera en como se representaran estos resultados sera mediante el uso de dos graficas, la primera establece los valores de fitness minimos y maximos que se logran alcanzar durante las generaciones, ademas de esto en la misma grafica se presenta una linea extra que representa el promedio de los fitness de los mismos individuos, siguiente de esto se presenta una segunda grafica que representa la *distancia hamming* minima alcanzada en cada conjunto de individuos durante las generaciones, como se explico anteriormente esta grafica representa el valor minimo de cambios entre los conjuntos de listas de genotipos de los individuos, esta grafica tendra la tendencia de ir reduciendose conforme avanzan las generaciones debido a que mientras mas se avanza en las generaciones los elementos elite tenderan a ir apareciendo mas.

La manera en como se define el valor de fitness de los individuos es como se explica en la seccion 5.4.6 es mediante la separacion de los dos aspectos de importancia en los niveles, primero la *estabilidad* que define el comportamiento del genotipo durante la simulacion y la segunda siendo *diversidad* que define lo *nuevo* que logran ser los niveles generados.

CAPITULO 6. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Los parametros del algoritmo genetico explicados en el capitulo 5 se muestran en la tabla 6.1.

Tabla 6.1: Parametros utilizados en el algoritmo genetico

Parametro	Valor
Fitness Function	Estabilidad Diversidad
Tamaño de la poblacion	10 o 20
Numero de Generaciones	100 o 10 (respectivamente)
Criterio de parada	Numero de Generaciones
Operador de seleccion	Seleccion por torneo
Operador de cruce	Cruce de un punto
Porcentaje de cruce	30%
Operador de mutacion	Mutacion de individuo Mutacion de compuestos Mutacion de material
Poercentaje de mutacion	30%

El contenido de este capitulo se encargara de mostrar las capacidades de generacion del sistema propuesto e implementado segun lo mostrado en el capitulo 5 de acuerdo a las areas explicadas anteriormente. Cada experimento mostrado se describira en los ambitos de la capacidad de generar niveles *estables* asi como tambien la capacidad de generar niveles *diversos*, puesto que se tienen una gran cantidad de individuos en las simulaciones entonces para demostrar ambos ambitos se tomaran el *mejor* y el *peor* del final de cada experimento asi como un individuo aleatorio de la primera generacion, utilizando estos niveles generados se explicara la manera en como se evoluciono la diversidad de los niveles y cuales fueron los compuestos que se pueden rescatar de las simulaciones para ser utilizados en experimentos subsecuentes, para tener un campo nivelado para todos los experimentos aquellos compuestos que aparecen durante los experimentos no son reutilizados en otros experimentos subsecuentes.

Todos los experimentos mostrados en esta seccion fueron optimizados durante un total de 10 generaciones, esto es debido principalmente a que para realizar las simulaciones se requiere una gran cantidad de tiempo, esto sumado con la cantidad diferente de individuos

CAPITULO 6. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

dos, en experimentos de 100 generaciones se utilizaban un total de 10 individuos y para experimentos de 10 generaciones se utilizo un total de 20, ademas de esto en muchos de los experimentos de 100 generaciones el algoritmo llegaba a un punto de estancamiento generalmente antes de las primeras 50 generaciones, por tal motivo se decidió reducir la cantidad de generaciones a 10 pero incrementar el total de individuos para obtener una mayor diversidad.

Como se explico en el parrafo anterior los experimentos que se presentaran cubriran las variables de 20 individuos durante un total de 10 generaciones y utilizando las variables presentadas en la tabla 6.1. Utilizando estas configuraciones se realizaron un total de [Write number here] sin embargo debido a que los resultados mostrados por cada experimentos son demasiados solo algunos resultados de experimentos seran mostrados.

The experiments cover the following variants in the parameters: 4 agents, 4 rules and 4 individuals; 10 agents, 10 rules and 10 individuals; 20 agents, 20 rules and 20 individuals; and these variants are used to create models for the following foreign exchange markets: AUD/USD, EUR/GBP, EUR/USD, GBP/USD and USD/CAD.

A total of 135 experiments were performed, but due to space constraints in this thesis document, only some of the experiments are shown. Specifically, the forecasting and interpretation Sections show results for the cases of 4 agents, 4 rules and 4 individuals; 10 agents, 10 rules and 10 individuals; and 20 agents, 20 rules and 20 individuals. Each of the aforementioned cases are extracted for each of the five foreign exchange markets: AUD/USD, EUR/GBP, EUR/USD, GBP/USD and USD/CAD. The reader can find the plots and interpretations for all the experiments performed in the Git repository of this thesis here: <https://github.com/amherag/PhD-Thesis/>.

6.1 Forecasting the Prices of a Financial Market

This Section shows some experiments that have the goal of forecasting different foreign exchange markets. Different agent-based models were generated using the parameters indicated in each of the Subsection titles. The datasets used for the training stage of the

CAPITULO 6. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

model comprehends the prices and timestamps associated to each of these prices, from Monday, January 28, 2019 5:00:00 PM GMT-08:00, minus 20 hours that are required to generate the initial retracements (see Section ??) to Sunday, February 3, 2019 8:00:00 PM GMT-08:00. Regarding the datasets used for the testing stage of the model, the data comprehends the prices and timestamps associated to each of these prices, from Sunday, February 3, 2019 9:00:00 PM GMT-08:00, minus 20 hours that are required to generate the initial retracements, to Friday, February 8, 2019 12:00:00 AM GMT-08:00. All the datasets have a size of 100 data points, and they correspond to the prices of the foreign exchange markets AUD/USD, EUR/GBP, EUR/USD, GBP/USD and USD/CAD according to the corresponding experiments Section.

Each of the following Subsections shows five plots: two plots of the curve-fitting of the optimized model for the training and testing datasets, two plots of the profits generated by the simulated trades of the optimized models for the training and testing datasets, and a plot of the error minimization in the training or optimization stage. The titles of the plots for both the training and testing stages also include the mean-squared error in parentheses (denoted by ϵ) for the simulated versus real prices. The profit plots show the accumulated profits through time in asset units. The minimization plot shows the mean-squared error obtained by the best individual in each of the generations.

6.1.1 AUD/USD 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals

Figure ?? shows the plots for the agent-based model with the worse modelling capabilities for the foreign exchange market AUD/USD. As can be expected, the model did not achieve good training or testing profits, although the mean-squared error is considerably low. This can be a sign of poor generalization capabilities of the model due to the low number of agents and rules. Additionally, the low number of individuals can provide cause bad exploration in the genetic algorithm.

6.1.2 AUD/USD 10 Agents, 10 Rules, 10 Individuals

The plots for the model generated using 10 agents with 10 rules each are shown in Figure ???. It can be seen that this model has better modelling capabilities than the 4 agents with 4 rules each, as it performed better regarding profits in the training stage. However, both models failed to obtain profits during the testing stage.

6.1.3 AUD/USD 20 Agents, 20 Rules, 20 Individuals

Despite the increased modelling capabilities and diversity for the genetic algorithm, the model generated by using 20 agents, 20 rules and 20 individuals could not outperform the other two models for the AUD/USD. An explanation for this is that the patterns present in the training dataset are notably different than those found in the testing dataset, as it can be seen in Figure ??.

6.1.4 EUR/GBP 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals

Figure ?? shows the plots for the 4 agent, 4 rules, 4 individuals model. One can see that both profit plots show bad performance. Although this is expected from this configuration, it can also be seen that the model struggled in obtaining a simulation that resembled a close representation of the real market, especially if it is compared to the 4 agents, 4 rules and 4 individual model for the AUD/USD market (see Figure ??).

6.1.5 EUR/GBP 10 Agents, 10 Rules, 10 Individuals

An interesting situation is presented in the plots in Figure ???. The profit plots are identical in shape than the plots in Figure ???. The only inconsistency is the magnitude of the trades, as the agents in the previous model traded more units than the agents in this model.

6.1.6 EUR/GBP 20 Agents, 20 Rules, 20 Individuals

Although the model generated with these parameters performed well in the training stage, as seen in Figure ??, it can be seen that the model performed badly in the testing stage. However, it is worth mentioning that the model performed well in the first 18-20 hours of the testing stage.

6.1.7 EUR/USD 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals

This model can be seen how badly it performed in the testing stage, as shown in Figure ???. However, it performed well in the training stage. It must also be noted that a bad performance can be expected due to the differences in the patterns between the training and testing datasets.

6.1.8 EUR/USD 10 Agents, 10 Rules, 10 Individuals

The plots in Figure ?? demonstrate an improvement regarding the curve-fitting capabilities of the model compared to the previous model for the EUR/USD market. This is surprising, given the differences in patterns between the two datasets. Additionally, it can be noted that the model performed well in both the training and testing stages, despite the model performing badly in the last hours of the testing stage.

6.1.9 EUR/USD 20 Agents, 20 Rules, 20 Individuals

The model represented by the plots in Figure ?? is seen to have performed badly in both the training and testing stages. A possible explanation for this behavior is that more generations would be required in order for the model to extract a generalization of the market, as a consequence of the high number of agents and rules.

6.1.10 GBP/USD 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals

As expected from a model with poor modelling capabilities, the profit plots in Figure ?? show that the model was not able to simulate the patterns of the GBP/USD market.

6.1.11 GBP/USD 10 Agents, 10 Rules, 10 Individuals

In the case of this model for the GBP/USD market, a remarkable performance can be noticed in Figure ?? in the profit plots for both the training and testing stages.

6.1.12 GBP/USD 20 Agents, 20 Rules, 20 Individuals

In contrast to other models using 20 agents with 20 rules each, the model represented by the plots in Figure ?? is shown to perform well in both the training and testing stages regarding the accumulated profits, although the profits do not reach a similar magnitude as the previous model.

6.1.13 USD/CAD 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals

The plots in Figure ?? present an interesting situation: the model seems to perform badly regarding profits in the training stage, but not in the testing stage. This behavior is clearer after examining the plots of the training and testing datasets: one exhibits a downtrend market direction, while the other shiftes to a clear uptrend. The model learned how to perform badly in a downtrend market, but it performed well in the testing stage because of the shift in direction.

6.1.14 USD/CAD 10 Agents, 10 Rules, 10 Individuals

In contrast to the previous model, the model represented by the plots shown in Figure ?? performs badly in the testing stage, most likely because of the nature of the training dataset which sharply contrasts with the nature of the testing dataset.

6.1.15 USD/CAD 20 Agents, 20 Rules, 20 Individuals

The model represented by the plots in Figure ?? performs similarly to the previously discussed model. The explanation behind this behavior should be the same as the one mentioned in the previous Subsection.

6.2 Extracting Insights about a Financial Market

This Section shows interpretations of two different foreign exchange markets obtained by examining the agents in the agent-based models generated for the experiments shown in Section 6.1. Only the two markets are presented in this Section as they are enough to demonstrate their use. The rest of the interpretations for the markets described in Section 6.1 can be found in Appendix ??, and the full list of interpretations for all the experiments performed can be found in the git repository of this thesis document. The interpretations consist of a series of sentences, where each give a summary of the profits, perceptions, hesitancy and actions of groups of agents. Considering the following sentence: “3 agents — with an average profit of 68 units — perceived in 85% of the market that a weak resistance above current price — with a hesitancy of 0.147 — is a signal to sell — with a hesitancy of 0.079.”, one can draw the following conclusions about 3 agents in a community of agents: their average profit in a dataset is of 68 units; in 85% of the data points in the dataset, they perceived that a price area with a low weight above the current price is a signal to sell; after perceiving a low weight price area, they add some hesitancy or doubt to their perception, and then they decide to sell, but this decision has also some hesitancy or doubt. Hesitancy or doubt (see Section ??) in this case is an indicative of how significant the perception has to be in order to be indeed perceived as a low weight price area, and how many units are actually traded; it can be seen as penalties to the agent’s perception and action.

The following interpretations show five sentences for the training stage of the model and five sentences for the testing stage. These only represent excerpts of the generated interpretations; it was decided for them to be truncated due to space constraints in this thesis document, but the reader can find the full interpretations in this thesis’ Git repository. In order to obtain these five sentence excerpts, all the generated sentences were ordered by the number of agents and then by the number of units in profits. This way the sentences show where the most number of agents in the community of agents coincided in their perceptions and decisions, and then show what situations were the more profitable.

6.2.1 AUD/USD 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals

One can see in the first sentence of the training set that 3 agents decided to trade when a weak resistance is presented above the current price. In the training stage these agents were not profitable, while in the testing stage they were profitable. This indicates that this pattern is not as reliable as, for example, the one presented in the second sentence in the training set, where agents decided to buy when they perceived a weak resistance nearby the current price. This behavior showed to also be profitable in the testing stage, as is shown in the fourth sentence of the corresponding set.

Training

- 3 agents — with an average profit of -68 units — perceived in 68% of the market that a weak resistance above current price — with a hesitancy of 0.147 — is a signal to sell — with a hesitancy of 0.079.
- 2 agents — with an average profit of 280 units — perceived in 46% of the market that a weak resistance nearby current price — with a hesitancy of 0.133 — is a signal to buy — with a hesitancy of 0.097.
- 2 agents — with an average profit of 280 units — perceived in 22% of the market that a moderate resistance above current price — with a hesitancy of 0.15 — is a signal to buy — with a hesitancy of 0.113.
- 2 agents — with an average profit of 38 units — perceived in 56% of the market that a weak resistance below current price — with a hesitancy of 0.246 — is a signal to buy — with a hesitancy of 0.094.
- 2 agents — with an average profit of -41 units — perceived in 56% of the market that a weak resistance below current price — with a hesitancy of 0.009 — is a signal to sell — with a hesitancy of 0.132.

Testing

- 3 agents — with an average profit of 68 units — perceived in 85% of the market that a weak resistance above current price — with a hesitancy of 0.147 — is a signal to sell — with a hesitancy of 0.079.
- 2 agents — with an average profit of 352 units — perceived in 47% of the market that a moderate resistance below current price — with a hesitancy of 0.134 — is a signal to sell — with a hesitancy of 0.151.
- 2 agents — with an average profit of 323 units — perceived in 6% of the market that a strong resistance below current price — with a hesitancy of 0.098 — is a signal to sell — with a hesitancy of 0.024.
- 2 agents — with an average profit of 323 units — perceived in 55% of the market that a weak resistance nearby current price — with a hesitancy of 0.04 — is a signal to sell — with a hesitancy of 0.138.
- 2 agents — with an average profit of 309 units — perceived in 0% of the market that a strong resistance above current price — with a hesitancy of 0.127 — is a signal to sell — with a hesitancy of 0.14.

6.2.2 EUR/GBP 4 Agents, 4 Rules, 4 Individuals

An interesting situation in these sets of interpretations is that the only sentence in the training set that signals an actual trade action is among the most profitable interpretations in the testing stage – but with a 0% of perception in the market. This can also be seen as a signal to not follow the behavior presented by this model, which agrees the profit plots of the model presented in the previous Section.

Training

- 3 agents — with an average profit of 60 units — perceived in 56% of the market that a weak resistance above current price — with a hesitancy of 0.094 — is a signal to hold the current position — with a hesitancy of 0.029.

CAPITULO 6. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

- 3 agents — with an average profit of 31 units — perceived in 36% of the market that a moderate resistance nearby current price — with a hesitancy of 0.126 — is a signal to hold the current position — with a hesitancy of 0.194.
- 3 agents — with an average profit of -44 units — perceived in 13% of the market that a strong resistance below current price — with a hesitancy of 0.044 — is a signal to hold the current position — with a hesitancy of 0.152.
- 2 agents — with an average profit of 105 units — perceived in 13% of the market that a strong resistance below current price — with a hesitancy of 0.114 — is a signal to sell — with a hesitancy of 0.102.
- 2 agents — with an average profit of 105 units — perceived in 42% of the market that a weak resistance nearby current price — with a hesitancy of 0.105 — is a signal to hold the current position — with a hesitancy of 0.048.

Testing

- 3 agents — with an average profit of 34 units — perceived in 79% of the market that a weak resistance above current price — with a hesitancy of 0.094 — is a signal to hold the current position — with a hesitancy of 0.029.
- 3 agents — with an average profit of 18 units — perceived in 33% of the market that a moderate resistance nearby current price — with a hesitancy of 0.126 — is a signal to hold the current position — with a hesitancy of 0.194.
- 3 agents — with an average profit of -23 units — perceived in 0% of the market that a strong resistance below current price — with a hesitancy of 0.044 — is a signal to hold the current position — with a hesitancy of 0.152.
- 2 agents — with an average profit of 60 units — perceived in 0% of the market that a strong resistance below current price — with a hesitancy of 0.114 — is a signal to sell — with a hesitancy of 0.102.
- 2 agents — with an average profit of 60 units — perceived in 57% of the market that a

weak resistance nearby current price — with a hesitancy of 0.105 — is a signal to hold the current position — with a hesitancy of 0.048.

6.3 Comparison with other Works

This Section presents a set of works that share many similarities to the work proposed in this thesis and that are comparable to it. Table 6.2 shows five different works that focus on forecasting a financial market and yield a rate of return. The table columns show the work reference and its authors; the technique used to perform the forecasting; the optimization algorithm used, if any; the financial market type used; the percentage of profit or rate of return after a number of trades; and the standard deviation for the aforementioned rate of return. The purpose of this table is to showcase what are normal values of performance when forecasting financial markets and not to provide a concise comparison for the proposed method, as many factors do not match among the different works shown in the table: the size of the dataset used for training, the technique used, the parameters of the optimization algorithm, the number of trades performed, the type of the financial market, etc. Furthermore, the results shown in this Chapter had the purpose of demonstrating how the proposed method behaves using different parameters and not to obtain the maximum possible rate of return.

Tabla 6.2: Performance of different approaches to financial market forecasting

Work	Technique	Optim. Alg.	Market Type	ROR	SD
[?]	TI	Genetic algorithm	Stock	76.13%	14.15%
[?]	Fuzzy MAS	-	ForEx	32.77%	109.09%
[?]	Fuzzy MAS	Genetic algorithm	ForEx	223.08%	385.7%
[?]	Ensemble MAS	-	ForEx	27.78%	12.43%
[?]	Fuzzy TI	-	Stock	7.35%	6.9%
Thesis	Fuzzy MAS	Genetic algorithm	ForEx	2.15%	38.85%

The rate of returns shown in Table 6.2 for the proposed method were obtained by averaging the units of profit for all the models that used a configuration of 10 agents, 10

CAPITULO 6. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

rules and 10 individuals for the following financial markets: AUD/USD, EUR/GBP, EUR/USD, GBP/USD and USD/CAD. These models were chosen because this configuration showed a good performance, considering only the results included in this thesis document; other configurations could have achieved a better performance.

Bibliography

- [1] Rovio Entertainment Corporation, “Angry Birds,” 2009.
- [2] L. Mossmouth, “Spelunky World,” 2013.
- [3] M. Mateas and A. Stern, “Façade: An Experiment in Building a Fully-Realized Interactive Drama,” tech. rep.
- [4] N. I. Holtar, “AUDIOVERDRIVE: EXPLORING BIDIRECTIONAL RELATIONSHIPS BETWEEN MUSIC AND GAME,” tech. rep.
- [5] S. Risi, J. Lehman, D. B. D’ambrosio, R. Hall, and K. O. Stanley, “Combining Search-based Procedural Content Generation and Social Gaming in the Petalz Video Game,” tech. rep., 2012.
- [6] J. H. Holland, “Adaptation in Natural and Artificial Systems,” *Sgart Newsletter*, 1975.
- [7] D. C. S. U. Whitley, “A Genetic Algorithm Tutorial,” *Statistics and Computing*, no. 4, pp. 65–85, 1994.
- [8] G. R. Harik, F. G. Lobo, and D. E. Goldberg, “The Compact Genetic Algorithm,” Tech. Rep. 4, 1999.
- [9] E. Hastings, R. Guha, and K. Stanley, “Automatic Content Generation in the Galactic Arms Race Video Game,” *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, vol. 1, pp. 245–263, dec 2009.
- [10] T. Garner and M. Grimshaw, “Sonic virtuality: Understanding audio in a virtual world,” *The Oxford Handbook of Virtuality*, p. 364.
- [11] P. Lopes, A. Liapis, and G. N. Yannakakis, “Sonancia: Sonification of procedurally generated game levels,” in *In Proceedings of the 1st Computational Creativity and Games Workshop*, Citeseer, 2015.
- [12] M. Mateas and A. Stern, “Façade: An experiment in building a fully-realized interactive drama,” in *Game developers conference*, vol. 2, pp. 4–8, 2003.

BIBLIOGRAPHY

- [13] R. Evans and E. Short, “Versu—a simulationist storytelling system,” *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, vol. 6, no. 2, pp. 113–130, 2013.
- [14] C. Browne and F. Maire, “Evolutionary Game Design,” *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, vol. 2, pp. 1–16, mar 2010.
- [15] J. Togelius and J. Schmidhuber, “An experiment in automatic game design,” in *2008 IEEE Symposium On Computational Intelligence and Games*, pp. 111–118, IEEE, dec 2008.
- [16] T. S. Nielsen, G. A. B. Barros, J. Togelius, and M. J. Nelson, “Towards generating arcade game rules with VGDL,” in *2015 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG)*, pp. 185–192, IEEE, aug 2015.
- [17] M. Treanor, B. Blackford, M. Mateas, and I. Bogost, “Game-o-matic: Generating videogames that represent ideas,” in *Proceedings of the The third workshop on Procedural Content Generation in Games*, p. 11, ACM, 2012.
- [18] M. J. Nelson and M. Mateas, “An interactive game-design assistant,” in *Proceedings of the 13th international conference on Intelligent user interfaces - IUI '08*, (New York, New York, USA), p. 90, ACM Press, 2008.
- [19] M. Cook and S. Colton, “Multi-faceted evolution of simple arcade games,” in *2011 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games (CIG'11)*, pp. 289–296, IEEE.
- [20] J. G. Sánchez, N. P. Zea, and F. L. Gutiérrez, “Playability: How to identify the player experience in a video game,” in *IFIP Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 356–359, Springer, 2009.
- [21] T. Taylor, M. Bedau, A. Channon, D. Ackley, W. Banzhaf, G. Beslon, E. Dolson, T. Froese, S. Hickinbotham, T. Ikegami, B. McMullin, N. Packard, S. Rasmussen, N. Virgo, E. Agmon, E. Clark, S. McGregor, C. Ofria, G. Ropella, L. Spector, K. O. Stanley, A. Stanton, C. Timperley, A. Vostinar, and M. Wiser, “Open-Ended Evolution: Perspectives from the OEE Workshop in York,” *Artificial Life*, vol. 22, pp. 408–423, aug 2016.
- [22] J. Renz, X. Ge, R. Verma, and P. Zhang, “Angry Birds as a Challenge for Artificial Intelligence,” *Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence*, mar 2016.
- [23] M. Stephenson, J. Renz, X. Ge, and P. Zhang, “The 2017 aibirds competition,” *CoRR*, vol. abs/1803.05156, 2018.
- [24] M. J. B. Stephenson, J. Renz, X. Ge, L. N. Ferreira, J. Togelius, and P. Zhang, “The 2017 AIBIRDS Level Generation Competition,” *IEEE Transactions on Games*, pp. 1–1, jul 2018.

BIBLIOGRAPHY

- [25] L. Ferreira and C. Toledo, *A search-based approach for generating Angry Birds levels.* IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, 2014.
- [26] Y. Jiang, T. Harada, and R. Thawonmas, *Procedural generation of angry birds fun levels using pattern-struct and preset-model.* IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, 2017.
- [27] M. Kaidan, C. Y. Chu, T. Harada, and R. Thawonmas, “Procedural generation of angry birds levels that adapt to the player’s skills using genetic algorithm,” in *2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, pp. 535–536, IEEE, oct 2015.
- [28] M. Kaidan, T. Harada, C. Y. Chu, and R. Thawonmas, “Procedural generation of angry birds levels with adjustable difficulty,” in *2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, pp. 1311–1316, IEEE, jul 2016.
- [29] J. F. ALLEN, “Maintaining Knowledge about Temporal Intervals,” *Readings in Qualitative Reasoning About Physical Systems*, pp. 361–372, jan 1990.
- [30] L. Calle, J. J. Merelo, A. Mora-García, and J.-M. García-Valdez, “Free Form Evolution for Angry Birds Level Generation,” pp. 125–140, Springer, Cham, apr 2019.
- [31] F. Calimeri, M. Fink, S. Germano, A. Humenberger, G. Ianni, C. Redl, D. Stepanova, A. Tucci, and A. Wimmer, “Angry-HEX: An Artificial Player for Angry Birds Based on Declarative Knowledge Bases,” *IEEE TRANSACTIONS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND AI IN GAMES*, vol. 8, no. 2, 2016.
- [32] G. Smith, M. Treanor, J. Whitehead, and M. Mateas, “Rhythm-Based Level Generation for 2D Platformers,” tech. rep., 2009.

Appendix A

A.1 Código del sistema

Código principal

```

1  from __future__ import division, absolute_import
2  # to avoid integer devision problem
3  import datetime
4  import scipy
5  import pylab
6  #
7  import random
8  import math
9  #
10 import datetime
11 import time
12 from yaspin.yaspin import yaspin
13 import os
14 import json
15 import sys
16 import subprocess
17 import itertools
18 import operator
19 import shutil
20 import numpy as np
21 from copy import deepcopy
22
23 # Local files
24 import XmlHelpers as xml
25 import Evaluation as Eval

```

APPENDIX A.

```

26   from Selection import Selection
27   from Mutation import Mutation
28
29   author = "Salinas Hernandez Jaime"
30   copyright = "Copyright 2018, Tijuana Institute of Technology"
31   credits = ["Dr. Mario García Valdez", ""]
32   license = "ITT"
33   version = "1.4.1"
34   date = "May 08, 2019 18:30"
35   maintainer = "Salinas Hernandez Jaime"
36   email = "jaime.salinas@tectijuana.edu.mx"
37   status = "Development"
38   t_begin = datetime.datetime.now()
39   t_prev = datetime.datetime.now()
40
41
42   ## Values used for the genetic algorithm
43   population = 10          # For now it can only be below 10
44   max_gen = 100            # Max number of generations
45   fits = [0]                # Variable to save the fitness of each generation
46   gen = 0                  # Generation 1
47   per_cross = 0.5           # Percentage of cross-over (cross-over operator)
48   per_comb = 0.3            # Percentage of combination (combination operator)
49   per_mut = 0.8             # Percentage of mutation
50   sel_type = 1              # Selection (for crossover) type [ 0: Random - 1: Tournament - TBD]
51   cross_type = 0            # Type of cross-over [ 0: One point CO - 1: Random point CO - TBD]
52   ind_pieces = 20           # Number of pieces that define an individual
53   all_fit = [0]              # Average fitness for all generations
54   fit_ham = []               # Average piece length fitness for all generations
55   fit_Amov = []              # Average movement fitness for all generations
56   max_elite = 1              # Maximum number of elite members in the generation
57   elite = []
58   best_gen = []
59   mu = 0                    # Mean for normal distribution
60   sigma = 20                 # SD for normal distribution
61
62   min_fit = [0]              # Average fitness for all generations
63   max_fit = [0]                # Average fitness for all generations
64
65   ## Data required to create the xml files
66
67   #####< Data required to create the xml files >#####
68

```

APPENDIX A.

```

69 #####
70
71 project_root = os.getcwd()
72 json_data = {}
73 json_data['all_fit'] = []
74 json_data['hamming_avg'] = []
75 json_data['min_fit'] = []
76 json_data['max_fit'] = []
77 ruleset = open("Ruleset/parameters.txt", "r")
78 config_param = json.loads(open("ga_parameters.json", "r").read())
79
80 game_path = config_param['game_path']
81 write_path = config_param['write_path']
82 elite_path = config_param['elite_path']
83 read_path = config_param['read_path']
84 log_path = config_param['log_dir']
85 log_base_name = config_param['log_base_name']
86 child_level = config_param['child_level']
87 child_output = config_param['child_output']
88
89 # For tournament
90 game_path_tourney = config_param['game_path_tourney']
91 write_path_tourney = config_param['write_path_tourney']
92 read_path_tourney = config_param['read_path_tourney']
93
94 # To have a copy of the generations
95 level_files_path = config_param['level_files']
96 current_gen_folder = config_param['generation']
97 sourcefolder = os.path.join(project_root, level_files_path + "/Levels")
98 experimentsource = os.path.join(project_root, level_files_path)
99 foldername = ''.join(e for e in str(datetime.datetime.now()) if e.isalnum())
100 experimentdest = config_param['experiment_results'] + "/" + foldername
101 experimentdestination = os.path.join(project_root, experimentdest)
102
103 # Data for the competition
104 req_levels = int(deepcopy(ruleset.readline()))
105 req_np_combinations = ruleset.readline().split(',')
106 for i, e in enumerate(req_np_combinations):
107     req_np_combinations[i] = req_np_combinations[i].split()
108 req_pigs = ruleset.readline().split(',')
109
110 max_elite = req_levels
111

```

APPENDIX A.

```
112 # Clean previous experiment
113 #shutil.rmtree(os.path.join(project_root, write_path))
114 #shutil.rmtree(os.path.join(project_root, elite_path))
115 shutil.rmtree(os.path.join(project_root, level_files_path))
116
117 os.makedirs(os.path.join(project_root, level_files_path), exist_ok=True)
118
119 os.makedirs(os.path.join(project_root, write_path), exist_ok=True)
120 os.makedirs(os.path.join(project_root, elite_path), exist_ok=True)
121 os.makedirs(os.path.join(project_root, read_path), exist_ok=True)
122
123 os.makedirs(os.path.join(project_root, log_path), exist_ok=True)
124
125
126
127 ## "Dictionary" to save the base pieces and structures
128 SW_HIDE = 0
129 info = subprocess.STARTUPINFO()
130 info.dwFlags = subprocess.STARTF_USESHOWWINDOW
131 info.wShowWindow = SW_HIDE
132
133 #just for fun making further development easier and with joy
134 pi      = scipy.pi
135 dot     = scipy.dot
136 sin     = scipy.sin
137 cos     = scipy.cos
138 ar      = scipy.array
139 rand    = scipy.rand
140 arange  = scipy.arange
141 plot    = pylab.plot
142 show    = pylab.show
143 axis    = pylab.axis
144 grid    = pylab.grid
145 title   = pylab.title
146 rad     = lambda ang: ang*pi/180          #lovely lambda: degree to radian
147
148
149
150 # Function to rotate points
151 def Rotate2D(pts,cnt,ang=pi/4):
152     '''pts = {} Rotates points(nx2) about center cnt(2) by angle ang(1) in radian'''
153     return dot(pts-cnt,ar([[cos(ang),sin(ang)],[-sin(ang),cos(ang)]]))+cnt
154
```

APPENDIX A.

```

155
156     # Generation masks
157     type_small_l = [[0,0,0,0,0,0,0],  

158                     [0,0,2,0,0,0,0],  

159                     [0,0,1,1,0,0,0]]  

160     type_large_l = [[0,0,3,0,0,0,0],  

161                     [0,0,2,0,0,0,0],  

162                     [0,0,1,1,0,0,0]]  

163     type_small_cube = [[0,0,0,0,0,0,0],  

164                     [0,0,2,2,0,0,0],  

165                     [0,0,1,1,0,0,0]]  

166     type_large_cube = [[0,3,3,3,0,0,0],  

167                     [0,2,2,2,0,0,0],  

168                     [0,1,1,1,0,0,0]]  

169     type_small_floor = [[0,0,0,0,0,0,0],  

170                     [0,0,0,0,0,0,0],  

171                     [0,1,1,1,1,1,0]]  

172     type_large_floor = [[0,0,0,0,0,0,0],  

173                     [0,0,0,0,0,0,0],  

174                     [1,1,1,1,1,1,1]]  

175     type_castle = [[0,0,0,3,0,0,0],  

176                     [2,0,2,2,2,0,2],  

177                     [1,1,1,1,1,1,1]]  

178     type_house = [[0,0,3,3,0,0,0],  

179                     [0,2,2,2,2,0,0],  

180                     [0,1,1,1,1,0,0]]  

181     type_towers = [[3,0,3,0,3,0,0],  

182                     [2,0,2,0,2,0,0],  

183                     [1,0,1,0,1,0,0]]  

184
185     Mask_List = [  

186         type_small_l,  

187         type_large_l,  

188         type_small_cube,  

189         type_large_cube,  

190         type_small_floor,  

191         type_large_floor,  

192         type_castle,  

193         type_house,  

194         type_towers  

195     ]  

196
197     # Global Piece class and a class for each piece in the game

```

APPENDIX A.

```
198 class Piece:
199     def __init__(self, x, y, r, mat):
200         #self.Height = 72
201         #self.Width = 72
202         self.Material = mat
203         self.Dict = []
204         self.Valid = True
205         self.X = x
206         self.Y = y
207         self.R = r
208         if self.Materials[0] == 0:
209             self.Material = "stone"
210         if self.Materials[1] == 0:
211             self.Material = "ice"
212
213
214     def get_edges(self):
215         ed_lis = []
216         ed_lis.append([self.Width/2 + self.X, self.Height/2 + self.Y])
217         ed_lis.append([self.Width/2 + self.X, 0 - self.Height/2 + self.Y])
218         ed_lis.append([0 - self.Width/2 + self.X, 0 - self.Height/2 + self.Y])
219         ed_lis.append([0 - self.Width/2 + self.X, self.Height/2 + self.Y])
220         self.Edges = ed_lis
221
222     def get_points(self, r):
223         ang = self.R * pi / 180
224         ots = Rotate2D(self.Edges, ar([0 + self.X, 0 + self.Y]), ang)
225         self.Points = ots.tolist()
226         #print(self.Points)
227
228     def change_material(self, m):
229         self.Material = m
230
231     def as_dictionary(self):
232         self_list = []
233         self_list.append(self.Name)
234         self_list.append(self.Material)
235         self_list.append(self.X)
236         self_list.append(self.Y)
237         self_list.append(self.R)
238         self.Dict = self_list
239
240     def update_values(self):
```

APPENDIX A.

```
241     #if 'errormessage' in kwargs:
242     #    print("llegue")
243
244     #    self.Material = kwargs.get('material')
245     #self.Material = "ice"
246     self.get_edges()
247     self.get_points(self.R)
248     self.as_dictionary()
249
250 class Circle(Piece):
251     def __init__(self, mat, x=0, y=0, r=0):
252         self.Name = "Circle"
253         self.Height = 75
254         self.Width = 75
255         Piece.__init__(self, x, y, r, mat)
256         self.update_values()
257
258 class RectTiny(Piece):
259     def __init__(self, mat, x=0, y=0, r=0):
260         self.Name = "RectTiny"
261         self.Height = 25
262         self.Width = 45
263         Piece.__init__(self, x, y, r, mat)
264         self.update_values()
265
266
267 class RectSmall(Piece):
268     def __init__(self, mat, x=0, y=0, r=0):
269         self.Name = "RectSmall"
270         self.Height = 25
271         self.Width = 85
272         Piece.__init__(self, x, y, r, mat)
273         self.update_values()
274
275
276 class RectMedium(Piece):
277     def __init__(self, mat, x=0, y=0, r=0):
278         self.Name = "RectMedium"
279         self.Height = 25
280         self.Width = 165
281         Piece.__init__(self, x, y, r, mat)
282         self.update_values()
283
```

APPENDIX A.

```
284
285     class RectBig(Piece):
286         def __init__(self, mat, x=0, y=0, r=0):
287             self.Name = "RectBig"
288             self.Height = 25
289             self.Width = 185
290             Piece.__init__(self, x, y, r, mat)
291             self.update_values()
292
293
294     class RectFat(Piece):
295         def __init__(self, mat, x=0, y=0, r=0):
296             self.Name = "RectFat"
297             self.Height = 45
298             self.Width = 85
299             Piece.__init__(self, x, y, r, mat)
300             self.update_values()
301
302
303     class SquareTiny(Piece):
304         def __init__(self, mat, x=0, y=0, r=0):
305             self.Name = "SquareTiny"
306             self.Height = 22
307             self.Width = 22
308             Piece.__init__(self, x, y, r, mat)
309             self.update_values()
310
311
312     class SquareSmall(Piece):
313         def __init__(self, mat, x=0, y=0, r=0):
314             self.Name = "SquareSmall"
315             self.Height = 45
316             self.Width = 45
317             Piece.__init__(self, x, y, r, mat)
318             self.update_values()
319
320
321     class Triangle(Piece):
322         def __init__(self, mat, x=0, y=0, r=0):
323             self.Name = "Triangle"
324             self.Height = 75
325             self.Width = 75
326             Piece.__init__(self, x, y, r, mat)
```

APPENDIX A.

```
327     self.update_values()
328
329
330 class TriangleHole(Piece):
331     def __init__(self, mat, x=0, y=0, r=0):
332         self.Name = "TriangleHole"
333         self.Height = 85
334         self.Width = 85
335         Piece.__init__(self, x, y, r, mat)
336         self.update_values()
337
338
339 class SquareHole(Piece):
340     def __init__(self, mat, x=0, y=0, r=0):
341         self.Name = "SquareHole"
342         self.Height = 85
343         self.Width = 85
344         Piece.__init__(self, x, y, r, mat)
345         self.update_values()
346
347
348 # Composite class to control the generation of the individuals
349 class Composite:
350
351     bl_list_x = []
352     bl_list_y = []
353
354     def __init__(self, blocks):
355         # Blocks must be a list
356         self.Objetos2 = []
357         self.bl_list_x = []
358         self.bl_list_y = []
359         self.blocks = blocks.copy()
360         self.Objetos = [clases[clase](m,x,y,r) for (clase,x,y,r,m) in self.blocks.copy()]
361         self.get_values()
362         self.height = self.height()
363         self.width = self.width()
364         self.top_center = self.gen_top_center()
365         self.as_dictionary = self.gen_dictionary()
366         self.low_center = self.get_low_center()
367         self.overtop_center = self.get_overtop()
368
369     def get_values(self):
```

APPENDIX A.

```
370         if len(self.blocks) > 2:
371             self.Pig = True
372         else:
373             self.Pig = False
374         self.Borders = [[(x,y) for (x,y) in Obj.Points] for Obj in self.Objetos]
375         self.Borders = sum(self.Borders, [])
376         self.Width = abs(min(self.Borders, key=lambda t:t[0])[0] - max(self.Borders,
377             key=lambda t:t[0])[0])
378         self.Height = abs(min(self.Borders, key=lambda t:t[1])[1] - max(self.Borders,
379             key=lambda t:t[1])[1])
380         return 0
381
382     def height(self):
383         return 0.0
384
385     def width(self):
386         return 0.0
387
388     def set_borders(self):
389
390         return 0.0
391
392     def gen_top_center(self):
393         height_center = self.Height/2
394         lenght_center = 0
395         return [lenght_center, height_center]
396
397     def get_low_center(self):
398         return [0, self.Height/2]
399
400     def get_overtop(self):
401         return [0, self.Height]
402
403     def gen_dictionary(self):
404         block_list = []
405         block_list.append([self.Width, self.Height])
406         # Width represents the x coordinate and Height the y one
407         for piece in self.Objetos:
408             block_comp = []
409             block_comp.append(piece.Dict[0])
410             block_comp.append(piece.Dict[1])
411             block_comp.append(piece.Dict[2])
412             block_comp.append(piece.Dict[3])
```

APPENDIX A.

```
413         block_comp.append(piece.Dict[4])
414         block_list.append(block_comp)
415 #block_list.append(block_comp)
416 #print(block_list)
417     return block_list
418
419     def move_xy(self, n_x, n_y, mat_f, el_r):
420         #self.X = n_x
421         #self.Y = n_y
422         self.Objetos = [clases[clase](mat_f, x + n_x, y + n_y, el_r) for (clase,x,y,r, mat) in
423                         self.blocks.copy()]
424         return 0
425
426     def as_json(self):
427         return {}
428
429
430     clases = {
431         "Circle":Circle,
432         "RectTiny":RectTiny,
433         "RectSmall":RectSmall,
434         "RectMedium":RectMedium,
435         "RectBig":RectBig,
436         "RectFat":RectFat,
437         "SquareTiny":SquareTiny,
438         "SquareSmall":SquareSmall,
439         "SquareHole":SquareHole,
440         "Triangle":Triangle,
441         "TriangleHole":TriangleHole }
442
443     clases1 = {
444         "Circle":Circle
445     }
446
447     Composites = {
448         0: [("RectTiny", 0, 0, 0, "wood")],
449         1: [("RectSmall", 0, 0, 0, "wood")],
450         2: [("RectMedium", 0, 0, 0, "wood")],
451         3: [("RectBig", 0, 0, 0, "wood")],
452         4: [("RectFat", 0, 0, 0, "wood")],
453         5: [("SquareSmall", 0, 0, 0, "wood")],
454         6: [("SquareHole", 0, 0, 0, "wood")],
455         7: [("Circle", 0, 0, 0, "wood")],
```

APPENDIX A.

```

456     8: [("TriangleHole", 0, 0, 0, "wood")]
457 }
458
459 Composites_res = {
460     0: [("RectTiny", 0, 0, 0, "wood", True)],
461     1: [("RectSmall", 0, 0, 0, "wood", True)],
462     2: [("RectMedium", 0, 0, 0, "wood", True)],
463     3: [("RectBig", 0, 0, 0, "wood", True)],
464     4: [("RectFat", 0, 0, 0, "wood", True)],
465     5: [("SquareSmall", 0, 0, 0, "wood", True)],
466     6: [("SquareHole", 0, 0, 0, "wood", True)],
467     7: [("Circle", 0, 0, 0, "wood", True)],
468     8: [("TriangleHole", 0, 0, 0, "wood", True)]
469 }
470
471 materials = {
472     "wood": 0,
473     "stone": 1,
474     "ice": 2}
475
476 restrictions = {
477     "Circle": [1,1,1],
478     "CircleSmall": [1,1,1],
479     "RectTiny": [1,1,1],
480     "RectSmall": [1,1,1],
481     "RectMedium": [1,1,1],
482     "RectBig": [1,1,1],
483     "RectFat": [1,1,1],
484     "SquareTiny": [1,1,1],
485     "SquareSmall": [1,1,1],
486     "SquareHole": [1,1,1],
487     "Triangle": [1,1,1],
488     "TriangleHole": [1,1,1] }
489
490 for element in req_np_combinations:
491     restrictions[element[1]][materials[element[0]]] = 0
492
493 for piece in Composites_res:
494     clases[Composites_res[piece][0][0]].Materials = restrictions[Composites_res[piece][0][0]]
495
496 for piece in Composites_res:
497     if sum(clases[Composites_res[piece][0][0]].Materials) == 0:
498         clases[Composites_res[piece][0][0]].Valid = False

```

APPENDIX A.

```

499     else:
500         clases[Composites_res[piece][0][0]].Valid = True
501         #if clases[Composites_res[piece][0][0]].Materials[0] == 0:
502
503         #if sum(piece.Materials) == 0:
504             #piece.Valid = False
505     def get_random_chrom(sl):
506         asl = 0
507         chrom = []
508         while asl < sl:
509             prop = random.randint(0, len(Composites)-1)
510             if clases[Composites[prop][0][0]].Valid == True:
511                 chrom.append(prop)
512                 asl += 1
513             #random.randint(0, len(Composites)-1) for p in range(ind_pieces)
514         return chrom
515
516     def combine_pieces():
517         piece1 = random.randint(0, len(Composites)-1)
518         piece2 = random.randint(0, len(Composites)-1)
519         new_value = len(Composites)
520         prop1 = Composite(Composites[piece1])
521         prop2 = Composite(Composites[piece2])
522         final_group = []
523         if piece1 == piece2:
524             initial = random.randint(0,1)
525
526             if initial == 0: # Estaran pegados
527                 # Checar si los bordes coinciden
528                 #print("Igual pegados")
529                 prop1.move_xy(prop1.Width/2,0,prop1.Objetos[0].Material, 0)
530                 prop2.move_xy((0-(prop2.Width/2)),0,prop2.Objetos[0].Material, 0)
531                 prop1.get_values()
532                 prop2.get_values()
533                 list1 = prop1.Borders
534                 list2 = prop2.Borders
535                 # Calculate center point of each piece and add to list
536                 test=Composites[piece1].copy()
537                 for comp in test:
538                     temp = []
539                     temp.append(comp[0])
540                     temp.append(int(comp[1]) + (prop1.Width/2))
541                     temp.append(int(comp[2]))

```

APPENDIX A.

```

542         temp.append(int(comp[3]))
543         temp.append(comp[4])
544         fin = tuple(temp)
545         final_group.append(fin)
546         test = Composites[piece2].copy()
547         for comp in test:
548             temp = []
549             temp.append(comp[0])
550             temp.append(int(comp[1]) - (prop2.Width/2))
551             temp.append(int(comp[2]))
552             temp.append(int(comp[3]))
553             temp.append(comp[4])
554             fin = tuple(temp)
555             final_group.append(fin)
556     else:
557         mov_rand = random.randint(math.ceil(prop1.Width/2),90)
558         #print("Igual separados")
559         prop1.move_xy((prop1.Width/2) + mov_rand,0,prop1.Objetos[0].Material, 0)
560         prop2.move_xy((0-(prop2.Width/2) + mov_rand)),0,prop2.Objetos[0].Material, 0)
561
562         prop1.get_values()
563         prop2.get_values()
564         prop3 = Composite(Composites[3])
565
566         prop3.move_xy(0,(prop1.Height/2)+(prop3.Height/2), prop3.Objetos[0].Material, 0)
567         prop3.get_values()
568
569         points = [[(prop1.Width/2) + mov_rand,0], [(0-((prop2.Width/2) + mov_rand)),0],
570                   [0,(prop1.Height/2)+(prop3.Height/2)]]
571         com = np.mean(points, axis=0)
572         delta = np.array((0,0)) - com
573         shifted_points = points + delta
574
575         list1 = prop1.Borders
576         list2 = prop2.Borders
577         list3 = prop3.Borders
578         #final_group.extend(Composites[piece1])
579         #final_group.extend(Composites[piece2])
580         #final_group.extend(Composites[3])
581         #print(list3)
582         test=Composites[3].copy()
583         for comp in test:
584             temp = []

```

APPENDIX A.

```

585         temp.append(comp[0])
586         #temp.append(int(comp[1]))
587         #temp.append(int(comp[2]) + (prop1.Height/2)+(prop3.Height/2) + 1)
588         temp.append(shifted_points[2][0])
589         temp.append(shifted_points[2][1]+1)
590         temp.append(int(comp[3]))
591         temp.append(comp[4])
592         fin = tuple(temp)
593         final_group.append(fin)
594         test = Composites[piece1].copy()
595         for comp in test:
596             temp = []
597             temp.append(comp[0])
598             #temp.append(int(comp[1]) + (prop1.Width/2) + mov_rand + 1)
599             #temp.append(int(comp[2]))
600             temp.append(shifted_points[0][0])
601             temp.append(shifted_points[0][1])
602             temp.append(int(comp[3]))
603             temp.append(comp[4])
604             fin = tuple(temp)
605             final_group.append(fin)
606             test = Composites[piece2].copy()
607             for comp in test:
608                 temp = []
609                 temp.append(comp[0])
610                 #temp.append(int(comp[1]) + (0-((prop2.Width/2) + mov_rand)) - 1)
611                 #temp.append(int(comp[2]))
612                 temp.append(shifted_points[1][0])
613                 temp.append(shifted_points[1][1])
614                 temp.append(int(comp[3]))
615                 temp.append(comp[4])
616                 fin = tuple(temp)
617                 final_group.append(fin)
618             Composites.update({new_value:final_group})
619         else:
620             #print("Diferente pegados")
621             ap1 = prop1.Width*prop1.Height
622             ap2 = prop2.Width*prop2.Height
623             if ap1 > ap2:
624                 if prop1.Width >= 90:
625                     #print("Vertical")
626                     prop1.Objetos[0].R = 90
627                     prop1.Objetos[0].update_values()

```

APPENDIX A.

```

628     prop1.move_xy(0,(0-(prop1.Width/2)),prop1.Objetos[0].Material, 90)
629
630     prop2.move_xy(0,(prop2.Height/2),prop2.Objetos[0].Material, 0)
631
632     points = [[0,(0-(prop1.Width/2))], [0,(prop2.Height/2)]]
633     com = np.mean(points, axis=0)
634     delta = np.array((0,0)) - com
635     shifted_points = points + delta
636     test = Composites[piece1].copy()
637     for comp in test:
638         temp = []
639         temp.append(comp[0])
640         #temp.append(int(comp[2]) + (prop1.Width/2))
641         temp.append(shifted_points[0][0])
642         temp.append(shifted_points[0][1]-1)
643         temp.append(90)
644         temp.append(comp[4])
645         fin = tuple(temp)
646         final_group.append(fin)
647     test = Composites[piece1].copy()
648     for comp in test:
649         temp = []
650         temp.append(comp[0])
651         #temp.append(int(comp[1]) + (0-((prop2.Width/2))) - 1)
652         temp.append(shifted_points[1][0])
653         temp.append(shifted_points[1][1]+1)
654         #temp.append(int(comp[2]))
655         temp.append(int(comp[3]))
656         temp.append(comp[4])
657         fin = tuple(temp)
658         final_group.append(fin)
659     else:
660         #print("Horizontal")
661     prop1.move_xy((0-(prop1.Width/2)),0,prop1.Objetos[0].Material, 0)
662     prop2.move_xy((prop2.Width/2),0,prop2.Objetos[0].Material, 0)
663     points = [[0,(0-(prop1.Width/2))], [0,(prop2.Width/2)]]
664     com = np.mean(points, axis=0)
665     delta = np.array((0,0)) - com
666     shifted_points = points + delta
667     test = Composites[piece1].copy()
668     for comp in test:
669         temp = []
670         temp.append(comp[0])

```

APPENDIX A.

```

671     #temp.append(int(comp[1]))
672     #temp.append(int(comp[2]) + (prop1.Width/2))
673     temp.append(shifted_points[0][0])
674     temp.append(shifted_points[0][1])
675     temp.append(int(comp[3]))
676     temp.append(comp[4])
677     fin = tuple(temp)
678     final_group.append(fin)
679     test = Composites[piece2].copy()
680     for comp in test:
681         temp = []
682         temp.append(comp[0])
683         #temp.append(int(comp[1]) + (0-(prop2.Width/2)) - 1)
684         temp.append(shifted_points[1][0])
685         temp.append(shifted_points[1][1])
686         #temp.append(int(comp[2]))
687         temp.append(int(comp[3]))
688         temp.append(comp[4])
689         fin = tuple(temp)
690         final_group.append(fin)
691     else:
692         if prop2.Width >= 90:
693             #print("Vertical")
694             prop2.Objetos[0].R = 90
695             prop2.Objetos[0].update_values()
696             prop2.move_xy(0,(0-(prop2.Width/2)),prop2.Objetos[0].Material, 90)
697             prop1.move_xy(0,(prop1.Height/2),prop1.Objetos[0].Material, 0)
698             points = [[0,(0-(prop2.Width/2))], [0,(prop1.Height/2)]]
699             com = np.mean(points, axis=0)
700             delta = np.array((0,0)) - com
701             shifted_points = points + delta
702             test = Composites[piece1].copy()
703             for comp in test:
704                 temp = []
705                 temp.append(comp[0])
706                 #temp.append(int(comp[1]))
707                 #temp.append(int(comp[2]) + (prop1.Width/2))
708                 temp.append(shifted_points[0][0])
709                 temp.append(shifted_points[0][1]+1)
710                 temp.append(int(comp[3]))
711                 temp.append(comp[4])
712                 fin = tuple(temp)
713                 final_group.append(fin)

```

APPENDIX A.

```

714     test = Composites[piece2].copy()
715     for comp in test:
716         temp = []
717         temp.append(comp[0])
718         #temp.append(int(comp[1]) + (0-(prop2.Width/2)) - 1)
719         temp.append(shifted_points[1][0])
720         temp.append(shifted_points[1][1]-1)
721         #temp.append(int(comp[2]))
722         temp.append(90)
723         temp.append(comp[4])
724         fin = tuple(temp)
725         final_group.append(fin)
726     else:
727         #print("Horizontal")
728         prop2.move_xy((0-(prop2.Width/2)),0,prop2.Objetos[0].Material, 0)
729         prop1.move_xy((prop1.Width/2),0,prop1.Objetos[0].Material, 0)
730         points = [[0,(0-(prop2.Width/2))], [0,(prop1.Width/2)]]
731         com = np.mean(points, axis=0)
732         delta = np.array((0,0)) - com
733         shifted_points = points + delta
734         test = Composites[piece1].copy()
735         for comp in test:
736             temp = []
737             temp.append(comp[0])
738             #temp.append(int(comp[1]))
739             #temp.append(int(comp[2]) + (prop1.Width/2))
740             temp.append(shifted_points[0][0])
741             temp.append(shifted_points[0][1])
742             temp.append(int(comp[3]))
743             temp.append(comp[4])
744             fin = tuple(temp)
745             final_group.append(fin)
746         test = Composites[piece2].copy()
747         for comp in test:
748             temp = []
749             temp.append(comp[0])
750             #temp.append(int(comp[1]) + (0-(prop2.Width/2)) - 1)
751             temp.append(shifted_points[1][0])
752             temp.append(shifted_points[1][1])
753             #temp.append(int(comp[2]))
754             temp.append(int(comp[3]))
755             temp.append(comp[4])
756             fin = tuple(temp)

```

APPENDIX A.

```

757         final_group.append(fin)
758         #prop1.move_xy(0, (prop1.Height/2),prop1.Objetos[0].Material, 0)
759         #prop2.move_xy(0, (0-(prop2.Height/2)),prop2.Objetos[0].Material, 0)
760         Composites.update({new_value:final_group})
761         prop1.get_values()
762         prop2.get_values()
763         list1 = prop1.Borders
764         list2 = prop2.Borders
765
766         #print(list1)
767         #print(list2)
768
769 #####
770 #####< Code Adaptation >#####
771 #####
772 sel_operator = Selection(project_root, game_path_tourney, info)
773 mut_operator = Mutation(per_mut, mu, sigma, clases)
774 mut_operator.UpdateComposites(Composites)
775 #####
776 #####< Class Definitions >#####
777 #####
778
779
780
781
782 class Individual:
783     def __init__(self, **kwargs):
784         self.chromosome = kwargs.get('chromosome', [])
785         self.mask = kwargs.get('mask') #self.assign_mask(Mask_List[kwargs.get('mask')])
786         self.__dict__.update(kwargs)
787         self.chromosome_objects = [Composite(Composites[composite]) for composite in
788             self.chromosome]
789         self.object_list = self.object_list_gen()
790         self.object_masked = []
791         self.Mut_Movement = [0 for value in self.chromosome]
792         self.Mut_Struct = [-1 for value in self.chromosome]
793         self.Mut_Material = ["wood" for value in self.chromosome]
794
795     def position_chromosome(self):
796         #To do
797         # Here you can use the chromosome objects etc.
798         pass
799

```

APPENDIX A.

```
800     def UpdateMutation(self):
801         for c, struc in enumerate(self.Mut_Struct):
802             if struc != -1:
803                 self.chromosome[c] = struc
804
805         self.chromosome_objects = [Composite(Composites[composite]) for composite in
806                                     self.chromosome]
807
808         for c, objeto in enumerate(self.chromosome_objects):
809             for pieza in objeto.Objetos:
810                 if self.Mut_Material[c] != 0:
811                     pieza.Material = self.Mut_Material[c]
812                     pieza.change_material(self.Mut_Material[c])
813                     pieza.update_values()
814                     objeto.as_dictionary = objeto.gen_dictionary()
815
816         for c, mov in enumerate(self.Mut_Movement):
817             self.chromosome_objects[c].move_xy(mov, 0, self.Mut_Material[c], 0)
818
819         self.object_list = self.object_list_gen()
820         pass
821
822     def chromosome_coordinates(self):
823
824         return [0, 0]
825
826     def object_list_gen(self):
827         final_list = []
828         for com in self.chromosome_objects:
829             com.as_dictionary = com.gen_dictionary()
830             obj_list = []
831             obj_list.append(com.as_dictionary)
832             final_list.append(obj_list)
833         return final_list
834
835     def generate_xml(self, **kwargs):
836         res_list = []
837         res_list = xml.writeXML(self.object_list, os.path.join(project_root, write_path +
838                               "/level-0"+ str(kwargs.get('individual')) +".xml"))
839         self.ind_height = res_list[0]
840         self.ind_piece = res_list[1]
841         self.Pieces = res_list[2]
842         pass
```

APPENDIX A.

```
843
844     def read_xml(self, **kwargs):
845         self.Remaining_Pieces = xml.readXML(os.path.join(project_root, read_path +
846             "/level-"+ str(kwargs.get('individual')) +".xml"))
847         self.ind_piece_count = len(self.Remaining_Pieces)
848         pass
849
850
851     def read_xml_tourney(self, **kwargs):
852         self.Remaining_Pieces = xml.readXML(os.path.join(project_root, read_path_tourney +
853             "/level-"+ str(kwargs.get('individual')) +".xml"))
854         self.ind_piece_count = len(self.Remaining_Pieces)
855         pass
856
857     def ind_height(self):
858         return 0
859
860     def ind_piece(self):
861         return 0
862
863     def ind_piece_count(self):
864         return 0
865
866     def assign_mask(self, mask_class):
867         masked = mask_class
868         print(masked)
869         #self.mask = mask_class
870         return masked
871
872     def locate_pigs(self):
873         self.Pig_Location = mut_operator.Set_Pigs(self.chromosome_objects, req_pigs,
874             self.mask, self.Composites_Centers)
875         pass
876
877     def get_fitness(self, chrom_list, pos):
878         self.Fitness, self.Fit_Hamming, self.Fit_Pos = Eval.fitness(self.Pieces,
879             self.Remaining_Pieces, self.chromosome, chrom_list, pos)
880         return 0
881
882     def combine_mask(self):
883         self.object_masked, self.Composites_Centers = xml.calculate_mask(self.object_list,
884             self.mask, self.chromosome_objects)
885         #self.object_list = xml.calculate_mask(self.object_list, type_castle)
886         return 0
```

APPENDIX A.

```

886     def generate_xml_masked(self, **kwargs):
887         res_list = []
888         res_list = xml.writeXML_masked(self.Pig_Location, self.object_list,
889             os.path.join(project_root, write_path + "/level-0"+ str(kwargs.get('individual')) +
890             ".xml"))
891         self.ind_height = res_list[0]
892         self.ind_piece = res_list[1]
893         self.Pieces = res_list[2]
894         #print("XML Completo")
895         pass
896
897     def generate_xml_tourney(self, **kwargs):
898         res_list = []
899         res_list = xml.writeXML_masked(self.Pig_Location, self.object_list,
900             os.path.join(project_root, write_path_tourney + "/level-0"+ str(kwargs.get('individual'))))
901         self.ind_height_tourney = res_list[0]
902         self.ind_piece_tourney = res_list[1]
903         self.Pieces = res_list[2]
904         pass
905
906     def generate_xml_elite(self, **kwargs):
907         res_list = []
908         res_list = xml.writeXML_masked(self.Pig_Location, self.object_list,
909             os.path.join(project_root, elite_path + "/level-" + str(kwargs.get('gen')) +
910             "0" + str(kwargs.get('individual')) + ".xml"))
911         self.ind_height = res_list[0]
912         self.ind_piece = res_list[1]
913         self.Pieces = res_list[2]
914         pass
915
916
917     def create_new_mask(pieces):
918         div_list = []
919         while True:
920             div_list = [random.randint(0, pieces-1) for col in range(7)]
921             if sum(div_list) == pieces:
922                 break
923
924     return div_list
925
926     # Generate a defined number of new composites to add to the pool of selections
927     for i in range(0,9):
928         combine_pieces()

```

APPENDIX A.

```

929
930     pop = [ Individual(chromosome = get_random_chrom(ind_pieces),
931             mask = create_new_mask(ind_pieces)) for i in range(population)]
932
933     # variable for controlling that the fitness of the population is compared to
934     # at least 2 others in the same timeline (between resets)
935     gen_alive = 0
936
937     with yaspin(text="Executing algorithm", color="cyan") as sp:
938         while gen < max_gen: #and max(fits) < 100:
939
940             # Outside IF statement
941             # Reintegrate the ELITE member to the population and remove the one
942             # in the last position
943             if len(elite):
944                 for member in elite:
945                     pop.insert(0, member)
946                     #pop[0] = Individual(chromosome = member[1], mask = member[2])
947                     pop = pop[:population]
948
949             # Check if the current number of population multiplied by the cross-over percentage
950             # is an even or odd number, in the later case remove 1 from the value
951             many = len(pop) * per_cross
952             if many % 2 == 0:
953                 pass
954             else:
955                 many = many - 1
956
957             # Combine the mask of the individual before entering the simulation
958             ind_c = 0
959             for ind in pop:
960                 if hasattr(ind, 'Fitness'):
961                     pass
962                 else:
963                     ind.combine_mask()
964                     ind.locate_pigs()
965                     ind.generate_xml_masked(individual = ind_c)
966                     ind_c = ind_c + 1
967
968             # Runs and instance of the game
969             if hasattr(ind, 'Fitness'):
970                 pass
971             else:

```

APPENDIX A.

```
972     subprocess.call(r'\" + os.path.join(project_root, game_path) + '\"',  
973                     startupinfo=info) # doesn't capture output  
974  
975     # After the simulation obtain the fitness value for the population  
976     # Read the xml files and get the data  
977     ind_c = 0  
978     final_ind_list = []  
979     for ind in pop:  
980         value = ind.read_xml(individual = ind_c)  
981         final_ind_list.append(value)  
982         ind_c = ind_c + 1  
983  
984     # Generate a list with the chromosome values of all individuals  
985     # (required for Hamming distance)  
986     chrom_list = []  
987     for ind in pop:  
988         chrom_list.append(ind.chromosome)  
989  
990     # Calculate the fitness for each individual  
991     for c, ind in enumerate(pop):  
992         ind.get_fitness(chrom_list, c)  
993         pass  
994  
995 #####< Selection steps >#####  
996 #####< Crossover steps >#####  
997 #####< Mutation steps >#####  
998  
999     # Order the population by their fitness  
1000    pop.sort(key=lambda x:x.Fitness, reverse=False)  
1001  
1002     # Obtain the "parents" of the generation  
1003    parents = []  
1004    pr = 1  
1005    parents = sel_operator.Selection_Base(pop, many, sel_type)  
1006  
1007 #####< Selection steps >#####  
1008 #####< Crossover steps >#####  
1009 #####< Mutation steps >#####  
1010  
1011    new_members = []  
1012  
1013     # Generate the cross-over operation (one-point crossover)  
1014    pos_offspring = 0
```

APPENDIX A.

```

1015     for cross_parent in range(0, len(parents), 2):
1016         # Generate a copy of each parent for the cross-over operation
1017         father = pop[parents[cross_parent] - 1].chromosome
1018         mother = pop[parents[cross_parent + 1] - 1].chromosome
1019
1020         # "Divide" the parents chromosomes for the operation
1021         father11 = father[0:math.floor(ind_pieces/2)]
1022         father12 = father[math.floor(ind_pieces/2):]
1023
1024         mother11 = mother[0:math.floor(ind_pieces/2)]
1025         mother12 = mother[math.floor(ind_pieces/2):]
1026
1027         # Generate the childs of both parents
1028         son = father11 + mother12
1029         daughter = mother11 + father12
1030
1031         mask_son = create_new_mask(len(son))
1032         mask_daughter = create_new_mask(len(daughter))
1033         # Replace the parents in the generation
1034         pop[pos_offspring].chromosome = son
1035         pop[pos_offspring + 1].chromosome = daughter
1036
1037         pop[pos_offspring] = Individual(chromosome = son, mask = mask_son)
1038         pop[pos_offspring + 1] = Individual(chromosome = daughter, mask = mask_daughter)
1039
1040         # Mutate the childs (by chance like throwing a 100 side dice)
1041         # If greater than the threshold then mutate
1042         chance = random.randint(1, 100)
1043         threshold = 100 - (100 * per_mut)
1044         #chance = 100
1045         if chance > threshold:
1046             var=0
1047             new_chrom = mut_operator.M_Individual(pop[pos_offspring].chromosome)
1048             pop[pos_offspring] = Individual(chromosome = new_chrom,
1049                 mask = create_new_mask(len(new_chrom)))
1050             pop[pos_offspring] = mut_operator.M_Movement(pop[pos_offspring], 0)
1051             pop[pos_offspring] = mut_operator.M_StrucType(pop[pos_offspring], 0)
1052             pop[pos_offspring] = mut_operator.M_StructMat(pop[pos_offspring], 0)
1053             pop[pos_offspring].UpdateMutation()
1054             #print("Mutate")
1055         else:
1056             var=1
1057             #print("Not Mutate")

```

APPENDIX A.

```

1058
1059     # The same for the second child
1060     chance = random.randint(1, 100)
1061     threshold = 100 - (100 * per_mut)
1062     #chance = 100
1063     if chance > threshold:
1064         var=0
1065         new_chrom = mut_operator.M_Individual(pop[pos_offspring + 1].chromosome)
1066         pop[pos_offspring + 1] = Individual(chromosome = new_chrom,
1067             mask = create_new_mask(len(new_chrom)))
1068         pop[pos_offspring + 1] = mut_operator.M_Movement(pop[pos_offspring + 1], 0)
1069         pop[pos_offspring + 1] = mut_operator.M_StrucType(pop[pos_offspring + 1], 0)
1070         pop[pos_offspring + 1] = mut_operator.M_StructMat(pop[pos_offspring + 1], 0)
1071         pop[pos_offspring + 1].UpdateMutation()
1072         #print("Mutate")
1073
1074         pop[pos_offspring].ind_c = pos_offspring
1075         pop[pos_offspring + 1].ind_c = pos_offspring + 1
1076         new_members.append(pop[pos_offspring])
1077         new_members.append(pop[pos_offspring + 1])
1078
1079     # Calculate the new individuals fitness by sending them to a different simulation track
1080
1081     # Generate an XML to check the fitness
1082     for ind_c, ind in enumerate(new_members):
1083         ind.combine_mask()
1084         ind.locate_pigs()
1085         ind.generate_xml_tourney(individual = ind_c)
1086
1087     # Execute the application with the two members
1088     subprocess.call(r''' + os.path.join(project_root, game_path_tourney) + ''',
1089                     startupinfo=info)
1090
1091     # Generate a list with the chromosome values of all individuals
1092     # (required for Hamming distance)
1093     chrom_list = []
1094     for ind in pop:
1095         chrom_list.append(ind.chromosome)
1096
1097     # Then obtain the remaining fitness values
1098     for c, ind in enumerate(new_members):
1099         ind.read_xml_tourney(individual = ind.ind_c)
1100         ind.get_fitness(chrom_list, c)

```

APPENDIX A.

```
1101
1102 #####< ELITE selection >#####
1103 #####
1104 #####
1105
1106 # Obtain the average fitness of the generation
1107 gen_fit = 0
1108 hamming_fit = 0
1109 mov_fit = 0
1110 best_ind = 0
1111 fit_pop = []
1112 for c, ind in enumerate(pop):
1113     fit_pop.append([c, ind.Fitness])
1114     gen_fit = gen_fit + ind.Fitness
1115     hamming_fit += ind.Fit_Hamming
1116     mov_fit += ind.Fit_Pos
1117
1118 fit_pop.sort(key=lambda x:x[1], reverse=True)
1119 max_fit.append(fit_pop[0][1])
1120 min_fit.append(fit_pop[-1][1])
1121 fit_pop = fit_pop[:5]
1122
1123 #
1124 best_gen.append(fit_pop[0][1])
1125
1126 # Add the best value to the elite list
1127 for e in fit_pop:
1128     elite.append(pop[e[0]])
1129     elite[0].generate_xml_elite(individual = e[0], gen = gen)
1130
1131 elite.sort(key=lambda x:x.Fitness, reverse=True)
1132 elite = elite[:max_elite]
1133
1134 all_fit.append((gen_fit/len(pop)))
1135 fit_ham.append((hamming_fit/len(pop)))
1136 fit_Amov.append((mov_fit/len(pop)))
1137
1138 # Increase value of the generation for the next cycle
1139 gen = gen + 1
1140 gen_alive += 1
1141
1142 # Print the time of the generation
1143 t_gen = datetime.datetime.now()
```

APPENDIX A.

```
1144     sp.write("> Gen " + str(gen) + " complete, gen duration: "+ str(t_gen-t_prev) +
1145         ", current time: " + str(t_gen-t_begin))
1146     t_prev = datetime.datetime.now()
1147
1148     # Copy the resulting files to a folder with the number of generation
1149     destination = os.path.join(project_root, level_files_path + "/generation-" +
1150         str(current_gen_folder))
1151     shutil.copytree(sourcefolder, destination)
1152     current_gen_folder += 1
1153
1154     t_finish = datetime.datetime.now()
1155     #print("Total time is: " + str(t_finish-t_begin))
1156     sp.write("> Total time is: " + str(t_finish-t_begin))
1157
1158     # Stop the spinner
1159     sp.ok("Ok")
1160
1161     # Plot the results for Fitness
1162     pylab.figure(figsize=(8, 5))
1163     plot(all_fit, '-.b', label='General Fitness')
1164     plot(min_fit, '-g', label='Min fitness value')
1165     plot(max_fit, '*-r', label='Max fitness value')
1166     lgd = pylab.legend(loc='center left', bbox_to_anchor=(1, 0.5))
1167     pylab.savefig('Fitness', bbox_extra_artists=(lgd,), bbox_inches='tight')
1168
1169     # Same for Hamming Distance
1170     pylab.figure(figsize=(8, 5))
1171     plot(fit_ham, '-g', label='Average Hamming Distance')
1172     lgd = pylab.legend(loc='center left', bbox_to_anchor=(1, 0.5))
1173     pylab.savefig('Hamming', bbox_extra_artists=(lgd,), bbox_inches='tight')
1174
1175     # Add the data to the json files
1176     json_data['all_fit'] = all_fit
1177     json_data['hamming_avg'] = fit_ham
1178     json_data['min_fit'] = min_fit
1179     json_data['max_fit'] = max_fit
1180
1181     with open('results.json', 'w') as outfile:
1182         print(outfile)
1183         json.dump(json_data, outfile)
1184
1185     # Clean the workspace
1186     shutil.rmtree(experimentsource, experimentdestination)
```

APPENDIX A.

```
1187  
1188     shutil.copyfile('results.json',os.path.join(project_root, experimentdest) + '/results.json')  
1189     shutil.copyfile('Fitness.png',os.path.join(project_root, experimentdest) + '/Fitness.png')  
1190     shutil.copyfile('Hamming.png',os.path.join(project_root, experimentdest) + '/Hamming.png')
```
