

eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

Técnicas de Inteligencia Artificial

Ingeniería Informática de Gestión y Sistemas de Información

# Practica 2

## Búsqueda Multi-Agente

Autor(es):

Xabier Gabiña

Diego Montoya

26 de octubre de 2024

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2. Ejercicios</b>	<b>6</b>
2.1. Agente Reflex . . . . .	6
2.2. Minimax . . . . .	9
2.3. Podado Alpha-Beta . . . . .	13
2.4. Expectimax . . . . .	15
2.5. Función de Evaluación . . . . .	18
<b>3. Resultados</b>	<b>21</b>
3.1. Casos de prueba . . . . .	21
3.1.1. Agente Reflex . . . . .	21
3.1.2. Minimax . . . . .	22
3.1.3. Podado Alpha-Beta . . . . .	23
3.1.4. Expectimax . . . . .	24
3.2. Autograder . . . . .	25

# Índice de figuras

2.1. Ejemplo de agente reflex . . . . .	6
2.2. Ejemplo de árbol de búsqueda Minimax . . . . .	9
2.3. Ejemplo de poda Alpha-Beta . . . . .	13
2.4. Ejemplo de árbol de búsqueda Expectimax . . . . .	15

# Índice de cuadros

2.1. Comparación de puntuaciones entre la primera implementación y la implementación final . . . . .	20
--	----

# Índice de Códigos

2.1. Implementación inicial del agente reflex . . . . .	6
2.2. Implementación final del agente reflex . . . . .	7
2.3. Implementación inicial del agente Minimax . . . . .	9
2.4. Implementación final del agente Minimax . . . . .	10
2.5. Implementación final del agente Alpha-Beta . . . . .	13
2.6. Implementación inicial del agente Expectimax . . . . .	15
2.7. Implementación final del agente Expectimax . . . . .	16
2.8. Implementación inicial de la función de evaluación . . . . .	18
2.9. Implementación final de la función de evaluación . . . . .	19
3.1. Resultados del agente Reflex . . . . .	21
3.2. Resultados del agente Minimax . . . . .	22
3.3. Resultados del agente Alpha-Beta . . . . .	23
3.4. Resultados del agente Expectimax . . . . .	24
3.5. Resultados del Autograder . . . . .	25

# 1. Introducción

En esta práctica se implementarán varios algoritmos de búsqueda multi-agente para el juego de Pacman. Los algoritmos a implementar son los siguientes:

- Agente Reflex: Un agente que selecciona acciones a corto plazo basándose en la percepción actual del entorno.
- Minimax: Un algoritmo de búsqueda en árboles que se utiliza en juegos de dos o más jugadores y deterministas.
- Podado Alpha-Beta: Una mejora del algoritmo Minimax que reduce el número de nodos evaluados en el árbol de búsqueda.
- Expectimax: Una variante del algoritmo Minimax que se utiliza cuando los oponentes no toman siempre la mejor decisión posible.

Además, se mejorará la función de evaluación del agente reflex para que tome en cuenta más factores del estado del juego.

## 2. Ejercicios

### 2.1. Agente Reflex

#### Descripción

Un agente reflex es un agente que selecciona acciones a corto plazo basándose en la percepción actual del entorno. En este caso, el agente reflex se basa en una función de evaluación para seleccionar la mejor acción en cada estado. La función de evaluación asigna un valor numérico a cada estado, y el agente selecciona la acción que maximiza este valor. Para asignar un valor a cada estado, la función de evaluación considera varios factores, como la distancia a la comida, la proximidad a los fantasmas y la cantidad de comida restante.



Figura 2.1: Ejemplo de agente reflex

#### Primera implementación

```
1 class ReflexAgent(Agent):
2     """
3     A reflex agent chooses an action at each choice point by examining
4     its alternatives via a state evaluation function.
5
6     The code below is provided as a guide. You are welcome to change
7     it in any way you see fit, so long as you don't touch our method
8     headers.
9     """
10
11     def getAction(self, gameState):
12         """
13         You do not need to change this method, but you're welcome to.
14
15         getAction chooses among the best options according to the evaluation function.
16
17         Just like in the previous project, getAction takes a GameState and returns
18         some Directions.X for some X in the set {NORTH, SOUTH, WEST, EAST, STOP}
19         """
20         # Collect legal moves and successor states
21         legalMoves = gameState.getLegalActions()
22
23         # Choose one of the best actions
24         scores = [self.evaluationFunction(gameState, action) for action in legalMoves]
25         bestScore = max(scores)
26         bestIndices = [index for index in range(len(scores)) if scores[index] == bestScore]
27         chosenIndex = random.choice(bestIndices) # Pick randomly among the best
28
29         return legalMoves[chosenIndex]
30
31     def evaluationFunction(self, currentGameState, action):
32         """
33         Función de evaluación para Pacman que considera la distancia a la comida, la proximidad a
34         los fantasmas y la cantidad de comida restante.
35         """
36
37         # Useful information you can extract from a GameState (pacman.py)
38         successorGameState = currentGameState.generatePacmanSuccessor(action)
39         newPos = successorGameState.getPacmanPosition()
40         newFood = successorGameState.getFood()
41         newGhostStates = successorGameState.getGhostStates()
42         newScaredTimes = [ghostState.scaredTimer for ghostState in newGhostStates]
```

```

42
43     score = successorGameState.getScore()
44
45     # 1. Distancia a la comida más cercana
46     foodList = newFood.asList()
47     if foodList:
48         minFoodDistance = min([manhattanDistance(newPos, food) for food in foodList])
49         score += 10.0 / minFoodDistance
50
51     # 2. Distancia a los fantasmas
52     for ghost in newGhostStates:
53         ghostPos = ghost.getPosition()
54         ghostDistance = manhattanDistance(newPos, ghostPos)
55         if ghostDistance < 2 and ghost.scaredTimer == 0:
56             score -= 1000
57
58     # 3. Penalización por comida restante
59     score -= len(foodList) * 10
60
61     return score
62

```

Código 2.1: Implementación inicial del agente reflex

## Implementación final

```

1  class ReflexAgent(Agent):
2      """
3      Un agente reflexivo que elige acciones basándose en una función de evaluación.
4      """
5
6      def getAction(self, gameState):
7          """
8          Devuelve la mejor acción para Pacman basada en la función de evaluación.
9          """
10         # Obtiene las acciones legales para Pacman
11         legalMoves = gameState.getLegalActions()
12
13         # Calcula los puntajes para cada acción utilizando la función de evaluación
14         scores = [self.evaluationFunction(gameState, action) for action in legalMoves]
15         bestScore = max(scores) # Encuentra el puntaje más alto
16         bestIndices = [index for index in range(len(scores)) if scores[index] == bestScore]
17         chosenIndex = random.choice(bestIndices) # Elige aleatoriamente entre las mejores
            acciones
18
19         return legalMoves[chosenIndex]
20
21     def evaluationFunction(self, currentGameState, action):
22         """
23         Calcula el valor del estado sucesor después de que Pacman toma la acción 'action'.
24         Devuelve un valor numérico mayor para estados más favorables.
25         """
26         # Generar el estado sucesor
27         successorGameState = currentGameState.generatePacmanSuccessor(action)
28         # Obtiene la posición de Pacman después de moverse
29         newPos = successorGameState.getPacmanPosition()
30         # Obtiene la matriz de comida en el estado sucesor
31         newFood = successorGameState.getFood()
32         # Obtiene la lista de estados de los fantasmas
33         newGhostStates = successorGameState.getGhostStates()
34         # Obtiene los tiempos restantes de los fantasmas asustados
35         newScaredTimes = [ghostState.scaredTimer for ghostState in newGhostStates]
36
37         # Inicializar el puntaje con el puntaje base del sucesor
38         score = successorGameState.getScore()
39
40         # 1. Distancia a la comida más cercana
41         foodList = newFood.asList() # Convertir la matriz de comida a una lista de posiciones
42         if foodList: # Si hay comida disponible

```



```

43         # Calcular la distancia mínima a la comida más cercana
44         minFoodDistance = min([manhattanDistance(newPos, food) for food in foodList])
45         # Invertir la distancia para que un menor valor de distancia dé un mayor puntaje
46         score += 10.0 / minFoodDistance
47
48         # 2. Distancia a los fantasmas no asustados
49         for ghost in newGhostStates:
50             ghostPos = ghost.getPosition()
51             ghostDistance = manhattanDistance(newPos, ghostPos)
52             if ghostDistance < 2 and ghost.scaredTimer == 0: # Fantasma no asustado y muy cerca
53                 score -= 1000 # Penalización fuerte por estar demasiado cerca de un fantasma
54
55         peligroso
56
57         # 3. Incentivo por acercarse a fantasmas asustados
58         for i, ghost in enumerate(newGhostStates):
59             if newScaredTimes[i] > 0: # Si el fantasma está asustado
60                 ghostDistance = manhattanDistance(newPos, ghost.getPosition())
61                 score += 200.0 / (ghostDistance + 1) # Premiar estar cerca de un fantasma
62
63         asustado
64
65         # 4. Penalización por comida restante
66         score -= len(foodList) * 10 # Penalizar por cada comida restante en el estado sucesor
67
68         # 5. Penalización por cápsulas de poder restantes
69         capsules = successorGameState.getCapsules()
70         score -= len(capsules) * 100
71
72         return score

```

Código 2.2: Implementación final del agente reflex

## Comentarios

La implementación de este ejercicio es bastante sencilla aunque rara. En nuestra primera implementación hemos obviado el tema de los pelets y por ende el de los fantasmas asustados. No obstante la puntuación no ha sido mala. Aun así cuando hemos hecho la implementación final añadiendo ambas métricas la realidad es que la puntuación se ha mantenido igual. Creemos que es debido a los sencillos mapas a los que se somete al agente y a que la función de evaluación ya era bastante buena para ellos.

## 2.2. Minimax

### Descripción

Minimax es un algoritmo de búsqueda en árboles que se utiliza en juegos de dos o más jugadores y deterministas. El algoritmo Minimax se basa en la idea de que los jugadores intentan maximizar su puntaje, mientras que sus oponentes intentan minimizarlo, es decir, juegos de suma cero. Este algoritmo es especialmente útil cuando el oponente toma siempre la mejor decisión posible.

El algoritmo Minimax funciona de la siguiente manera:

1. Se construye un árbol de búsqueda con todos los posibles movimientos.
2. Cada nodo del árbol representa un estado del juego y cada rama representa una acción.
3. El árbol alterna entre los jugadores, uno intenta maximizar el puntaje y los otros minimizarlo.
4. Se evalúan los nodos terminales del árbol y se asigna un valor usando una función de evaluación.
5. Dependiendo del jugador, se selecciona el nodo hijo con el valor máximo o mínimo.

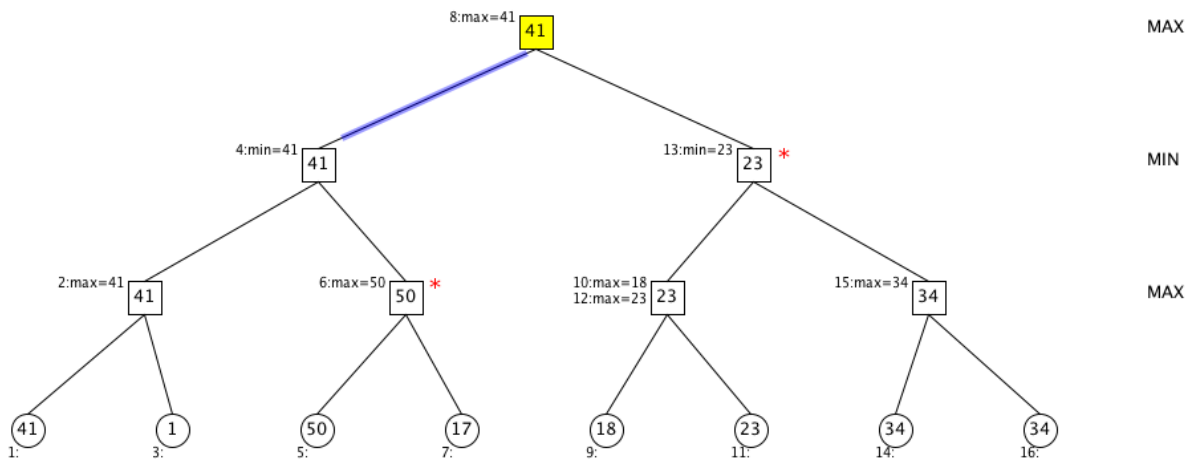


Figura 2.2: Ejemplo de árbol de búsqueda Minimax

Respecto al coste tanto en tiempo como en espacio, el algoritmo Minimax es, en esencia un DFS por lo que su coste en tiempo es  $O(b^m)$  y en espacio  $O(bm)$ . Estos malos costes se deben a que el algoritmo explora todo el árbol de búsqueda, lo que lo hace inviable en juegos con un gran factor de ramificación y profundidad.

### Primera implementación

```
1 class MinimaxAgent(MultiAgentSearchAgent):
2     """
3     Agente que implementa el algoritmo Minimax.
4     """
5
6     def getAction(self, gameState):
7         """
8         Devuelve la mejor acción para Pacman desde el estado actual 'gameState' usando Minimax.
9         """
10        # Llama a la función minimax empezando con el agente 0 (Pacman) y profundidad 0
11        best_action, _ = self.minimax(gameState, agentIndex=0, depth=0)
12        return best_action
13
14    def minimax(self, gameState, agentIndex, depth):
15        """
16        Función minimax que devuelve la mejor acción y su valor para el agente actual.
17        """
```

```

18     # Si el estado es terminal (gana o pierde) o alcanzamos la profundidad máxima, evaluamos el
    estado
19     if gameState.isWin() or gameState.isLose() or depth == self.depth:
20         return None, self.evaluationFunction(gameState)
21
22     if agentIndex == 0: # Pacman - Maximizador
23         return self.max_value(gameState, agentIndex, depth)
24     else:
25         # Fantasmas - Minimizadores
26         return self.min_value(gameState, agentIndex, depth)
27
28 def max_value(self, gameState, agentIndex, depth):
29     """
30     Calcula el valor máximo para el agente Pacman (maximizador).
31     """
32     # Inicializar el mejor valor y la mejor acción
33     best_value = float('-inf')
34     best_action = None
35
36     # Recorre todas las acciones legales para Pacman
37     for action in gameState.getLegalActions(agentIndex):
38         # Generar el estado sucesor
39         successorState = gameState.generateSuccessor(agentIndex, action)
40         # Calcular el valor del sucesor usando minimax con el siguiente agente
41         _, successor_value = self.minimax(successorState, 1, depth)
42         # Actualiza el valor máximo si se encuentra un mejor valor
43         if successor_value > best_value:
44             best_value = successor_value
45             best_action = action
46
47     return best_action, best_value
48
49 def min_value(self, gameState, agentIndex, depth):
50     """
51     Calcula el valor mínimo para los fantasmas (minimizador).
52     """
53     # Inicializar el peor valor y la mejor acción
54     worst_value = float('inf')
55     best_action = None
56
57     # Recorre todas las acciones legales para el fantasma actual
58     for action in gameState.getLegalActions(agentIndex):
59         # Generar el estado sucesor
60         successorState = gameState.generateSuccessor(agentIndex, action)
61         # Calcula el valor del sucesor con Pacman y siguiente nivel de profundidad
62         _, successor_value = self.minimax(successorState, 0, depth + 1)
63
64         # Actualiza el valor mínimo si se encuentra un peor valor
65         if successor_value < worst_value:
66             worst_value = successor_value
67             best_action = action
68
69     return best_action, worst_value
70

```

Código 2.3: Implementación inicial del agente Minimax

## Implementación final

```

1 class MinimaxAgent(MultiAgentSearchAgent):
2     """
3     Agente que implementa el algoritmo Minimax.
4     """
5
6     def getAction(self, gameState):
7         """
8         Devuelve la mejor acción para Pacman desde el estado actual 'gameState' usando Minimax.
9         """
10        # Llama a la función minimax empezando con el agente 0 (Pacman) y profundidad 0

```

```

11     best_action, _ = self.minimax(gameState, agentIndex=0, depth=0)
12     return best_action
13
14 def minimax(self, gameState, agentIndex, depth):
15     """
16     Función minimax que devuelve la mejor acción y su valor para el agente actual.
17     """
18     # Si el estado es terminal (gana o pierde) o alcanzamos la profundidad máxima, evaluamos el
    estado
19     if gameState.isWin() or gameState.isLose() or depth == self.depth:
20         return None, self.evaluationFunction(gameState)
21
22     if agentIndex == 0: # Pacman - Maximizador
23         return self.max_value(gameState, agentIndex, depth)
24     else:                # Fantasmas - Minimizadores
25         return self.min_value(gameState, agentIndex, depth)
26
27 def max_value(self, gameState, agentIndex, depth):
28     """
29     Calcula el valor máximo para el agente Pacman (maximizador).
30     """
31     # Inicializar el mejor valor y la mejor acción
32     best_value = float('-inf')
33     best_action = None
34
35     # Recorre todas las acciones legales para Pacman
36     for action in gameState.getLegalActions(agentIndex):
37         # Generar el estado sucesor
38         successorState = gameState.generateSuccessor(agentIndex, action)
39         # Calcular el valor del sucesor usando minimax con el siguiente agente
40         _, successor_value = self.minimax(successorState, agentIndex + 1, depth)
41         # Actualiza el valor máximo si se encuentra un mejor valor
42         if successor_value > best_value:
43             best_value = successor_value
44             best_action = action
45
46     return best_action, best_value
47
48 def min_value(self, gameState, agentIndex, depth):
49     """
50     Calcula el valor mínimo para los fantasmas (minimizador).
51     """
52     # Inicializar el peor valor y la mejor acción
53     worst_value = float('inf')
54     best_action = None
55
56     # Recorre todas las acciones legales para el fantasma actual
57     for action in gameState.getLegalActions(agentIndex):
58         # Generar el estado sucesor
59         successorState = gameState.generateSuccessor(agentIndex, action)
60
61         # Si es el último fantasma, pasamos a Pacman incrementando la profundidad
62         if agentIndex == gameState.getNumAgents() - 1:
63             # Calcula el valor del sucesor con Pacman y siguiente nivel de profundidad
64             _, successor_value = self.minimax(successorState, 0, depth + 1)
65         else:
66             # Calcula el valor del sucesor con el siguiente fantasma
67             _, successor_value = self.minimax(successorState, agentIndex + 1, depth)
68
69         # Actualiza el valor mínimo si se encuentra un peor valor
70         if successor_value < worst_value:
71             worst_value = successor_value
72             best_action = action
73
74     return best_action, worst_value
75
76

```

Código 2.4: Implementación final del agente Minimax

## Comentarios

Debido a no leer bien el enunciado del ejercicio, no hemos implementado de primeras la opción de que haya más de dos agentes minimizadores, por lo que el algoritmo solo funcionaba con un agente maximizador y otro minimizador. En la implementación final, hemos tenido en cuenta el número de agentes y he modificado la función `min_value` para que, si el agente actual es el último fantasma, pase a Pacman y aumente la profundidad.



```

28     """
29     Calcula el valor máximo para el agente Pacman (maximizador).
30     """
31     # Inicializar el mejor valor y la mejor acción
32     best_value = float('-inf')
33     best_action = None
34
35     # Recorre todas las acciones legales para Pacman
36     for action in gameState.getLegalActions(agentIndex):
37         # Generar el estado sucesor
38         successorState = gameState.generateSuccessor(agentIndex, action)
39         # Calcular el valor del sucesor usando minimax con el siguiente agente
40         _, successor_value = self.minimax(successorState, agentIndex + 1, depth, alpha, beta)
41         # Actualiza el valor máximo si se encuentra un mejor valor
42         if successor_value > best_value:
43             best_value = successor_value
44             best_action = action
45
46         if best_value > beta:
47             return best_action, best_value
48         alpha = max(alpha, best_value)
49
50     return best_action, best_value
51
52 def min_value(self, gameState, agentIndex, depth, alpha, beta):
53     """
54     Calcula el valor mínimo para los fantasmas (minimizador).
55     """
56     # Inicializar el peor valor y la mejor acción
57     worst_value = float('inf')
58     best_action = None
59
60     # Recorre todas las acciones legales para el fantasma actual
61     for action in gameState.getLegalActions(agentIndex):
62         # Generar el estado sucesor
63         successorState = gameState.generateSuccessor(agentIndex, action)
64
65         # Si es el último fantasma, pasamos a Pacman incrementando la profundidad
66         if agentIndex == gameState.getNumAgents() - 1:
67             # Calcula el valor del sucesor con Pacman y siguiente nivel de profundidad
68             _, successor_value = self.minimax(successorState, 0, depth + 1, alpha, beta)
69         else:
70             # Calcula el valor del sucesor con el siguiente fantasma
71             _, successor_value = self.minimax(successorState, agentIndex + 1, depth, alpha,
beta)
72
73         # Actualiza el valor mínimo si se encuentra un peor valor
74         if successor_value < worst_value:
75             worst_value = successor_value
76             best_action = action
77
78         if worst_value < alpha:
79             return best_action, worst_value
80         beta = min(beta, worst_value)
81
82     return best_action, worst_value
83

```

Código 2.5: Implementación final del agente Alpha-Beta

## Comentarios

En este caso, la implementación es prácticamente igual a la del algoritmo Minimax, con la única diferencia de que se han añadido los parámetros `alpha` y `beta` a las funciones `max_value` y `min_value` para realizar la poda junto con las condiciones de corte. De esta forma, si el valor de un nodo es mayor que el valor de `beta` en el caso de un nodo maximizador o menor que `alpha` en el caso de un nodo minimizador, se poda la rama.

## 2.4. Expectimax

### Descripción

El algoritmo Expectimax es una variante del algoritmo Minimax que se utiliza cuando los oponentes no toman siempre la mejor decisión posible. En lugar de minimizar el valor de los nodos de los oponentes, el algoritmo Expectimax multiplicará el valor de los nodos de los oponentes por la probabilidad de que tomen una determinada acción. En este caso, se asume que las acciones son equiprobables, por lo que la probabilidad de que un oponente tome una acción es  $1/n$ , donde  $n$  es el número de acciones legales.

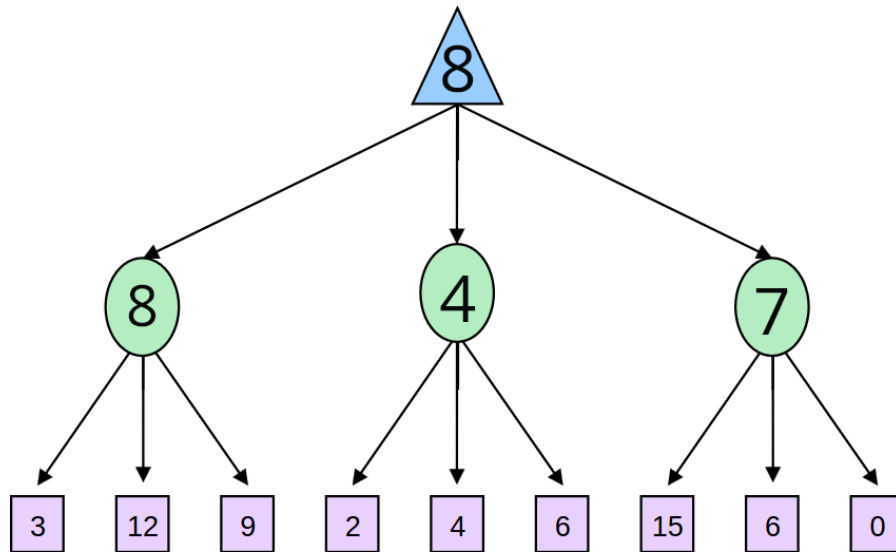


Figura 2.4: Ejemplo de árbol de búsqueda Expectimax

Respecto al coste tanto en tiempo como en espacio, el algoritmo Expectimax es un DFS igual que el Minimax, por lo que su coste en tiempo es  $O(b^m)$  y en espacio  $O(bm)$ .

### Primera implementación

```
1 class ExpectimaxAgent(MultiAgentSearchAgent):
2     """
3     Implementacion del algoritmo Expectimax.
4     """
5
6     def getAction(self, gameState):
7         return self.expectimax(gameState, agentIndex=0, depth=0)
8
9     def expectimax(self, gameState, agentIndex, depth):
10        """
11        Función expectimax que devuelve la mejor acción y su valor para el agente actual.
12        """
13        # Si el estado es terminal (gana o pierde) o alcanzamos la profundidad máxima, evaluamos
14        # el estado
15        if gameState.isWin() or gameState.isLose() or depth == self.depth:
16            return None, self.evaluationFunction(gameState)
17
18        if agentIndex == 0: # Pacman - Maximizador
19            return self.max_value(gameState, agentIndex, depth)
20        else: # Fantasmas - Minimizadores
21            return self.exp_value(gameState, agentIndex, depth)
22
23    def max_value(self, gameState, agentIndex, depth):
24        """
25        Calcula el valor máximo para el agente Pacman (maximizador).
```



```

25     """
26     # Inicializar el mejor valor y la mejor acción
27     best_value = float('-inf')
28     best_action = None
29
30     # Recorre todas las acciones legales para Pacman
31     for action in gameState.getLegalActions(agentIndex):
32         # Generar el estado sucesor
33         successorState = gameState.generateSuccessor(agentIndex, action)
34         # Calcular el valor del sucesor usando expectimax con el siguiente agente
35         _, successor_value = self.expectimax(successorState, agentIndex + 1, depth)
36         # Actualiza el valor máximo si se encuentra un mejor valor
37         if successor_value > best_value:
38             best_value = successor_value
39             best_action = action
40
41     return best_action, best_value
42
43 def exp_value(self, gameState, agentIndex, depth):
44     """
45     Calcula el valor esperado para los fantasmas (minimizador).
46     """
47     # Inicializar el valor esperado y la mejor acción
48     expected_value = 0
49     best_action = None
50
51     # Recorre todas las acciones legales para el fantasma actual
52     for action in gameState.getLegalActions(agentIndex):
53         # Generar el estado sucesor
54         successorState = gameState.generateSuccessor(agentIndex, action)
55
56         # Si es el último fantasma, pasamos a Pacman incrementando la profundidad
57         if agentIndex == gameState.getNumAgents() - 1:
58             # Calcula el valor del sucesor con Pacman y siguiente nivel de profundidad
59             _, successor_value = self.expectimax(successorState, 0, depth + 1)
60         else:
61             # Calcula el valor del sucesor con el siguiente fantasma
62             _, successor_value = self.expectimax(successorState, agentIndex + 1, depth)
63
64         # Actualiza el valor esperado con el valor del sucesor
65         expected_value += successor_value / len(gameState.getLegalActions(agentIndex))
66
67     return best_action, expected_value
68

```

Código 2.6: Implementación inicial del agente Expectimax

## Implementación final

```

1 class ExpectimaxAgent(MultiAgentSearchAgent):
2     """
3     Implementacion del algoritmo Expectimax.
4     """
5
6     def getAction(self, gameState):
7         best_action, _ = self.expectimax(gameState, agentIndex=0, depth=0)
8         return best_action
9
10    def expectimax(self, gameState, agentIndex, depth):
11        """
12        Función expectimax que devuelve la mejor acción y su valor para el agente actual.
13        """
14        # Si el estado es terminal (gana o pierde) o alcanzamos la profundidad máxima, evaluamos
15        # el estado
16        if gameState.isWin() or gameState.isLose() or depth == self.depth:
17            return None, self.evaluationFunction(gameState)
18
19        if agentIndex == 0: # Pacman - Maximizador
20            return self.max_value(gameState, agentIndex, depth)

```

```

20         else:                                # Fantasmas - Minimizadores
21             return self.exp_value(gameState, agentIndex, depth)
22
23     def max_value(self, gameState, agentIndex, depth):
24         """
25         Calcula el valor máximo para el agente Pacman (maximizador).
26         """
27         # Inicializar el mejor valor y la mejor acción
28         best_value = float('-inf')
29         best_action = None
30
31         # Recorre todas las acciones legales para Pacman
32         for action in gameState.getLegalActions(agentIndex):
33             # Generar el estado sucesor
34             successorState = gameState.generateSuccessor(agentIndex, action)
35             # Calcular el valor del sucesor usando expectimax con el siguiente agente
36             _, successor_value = self.expectimax(successorState, agentIndex + 1, depth)
37             # Actualiza el valor máximo si se encuentra un mejor valor
38             if successor_value > best_value:
39                 best_value = successor_value
40                 best_action = action
41
42         return best_action, best_value
43
44     def exp_value(self, gameState, agentIndex, depth):
45         """
46         Calcula el valor esperado para los fantasmas (minimizador).
47         """
48         # Inicializar el valor esperado y la mejor acción
49         expected_value = 0
50         best_action = None
51
52         # Recorre todas las acciones legales para el fantasma actual
53         actions = gameState.getLegalActions(agentIndex)
54         for action in actions:
55             # Generar el estado sucesor
56             successorState = gameState.generateSuccessor(agentIndex, action)
57
58             # Si es el último fantasma, pasamos a Pacman incrementando la profundidad
59             if agentIndex == gameState.getNumAgents() - 1:
60                 # Calcula el valor del sucesor con Pacman y siguiente nivel de profundidad
61                 _, successor_value = self.expectimax(successorState, 0, depth + 1)
62             else:
63                 # Calcula el valor del sucesor con el siguiente fantasma
64                 _, successor_value = self.expectimax(successorState, agentIndex + 1, depth)
65             # Actualiza el valor esperado con el valor del sucesor
66             expected_value += successor_value / len(actions)
67
68         return best_action, expected_value
69

```

Código 2.7: Implementación final del agente Expectimax

## Comentarios

En esta implementación hubo un error anecdótico prácticamente en el que al copiar el código de Minimax como base no copie la función `getAction()` correctamente y al implementarla de memoria la hice mal. Más allá de ello, la implementación se basa en cambiar la función `min_value` por `exp_value` y en vez de devolver el valor mínimo de los nodos sucesores, se devuelve la media de los valores. De esta forma se tiene en cuenta que los oponentes no siempre toman la mejor decisión posible.

## 2.5. Función de Evaluación

### Descripción

Este ejercicio, consiste en mejorar la función de evaluación del agente reflex. La función de evaluación asigna un valor numérico a cada estado, y el agente selecciona la acción que maximiza este valor. Para mejorar la implementación previa únicamente se han añadido más factores a tener en cuenta en la evaluación de los estados. Para asignar un valor a cada estado, la función de evaluación considera varios factores, como la distancia a la comida, la proximidad a los fantasmas y la cantidad de comida restante.

### Primera implementación

```
1 def betterEvaluationFunction(currentGameState):
2     """
3     Función de evaluación para Pacman que considera múltiples factores del estado de juego.
4     """
5
6     # Obtener el estado actual de Pacman
7     pacmanPos = currentGameState.getPacmanPosition()
8
9     # Obtener la comida restante y convertirla a una lista de posiciones
10    food = currentGameState.getFood().asList()
11
12    # Obtener las posiciones de los fantasmas y sus estados (asustados o no)
13    ghostStates = currentGameState.getGhostStates()
14    ghostPositions = [ghost.getPosition() for ghost in ghostStates]
15    scaredTimes = [ghostState.scaredTimer for ghostState in ghostStates]
16
17    # Obtener las pelets de poder restantes
18    capsules = currentGameState.getCapsules()
19
20    # Obtener el puntaje actual del juego
21    score = currentGameState.getScore()
22
23    # 1. Distancia a la comida: Minimizar la distancia a la comida
24    if food:
25        minFoodDist = min([manhattanDistance(pacmanPos, foodPos) for foodPos in food])
26        # Dar un peso inversamente proporcional a la distancia a la comida
27        score += 1.0 / (minFoodDist + 1) # Sumar al score, +1 para evitar división por 0
28
29    # 2. Distancia a los fantasmas: Maximizar la distancia a los fantasmas (si no están asustados)
30    for i, ghostPos in enumerate(ghostPositions):
31        ghostDist = manhattanDistance(pacmanPos, ghostPos)
32
33        if scaredTimes[i] > 0: # Fantasma asustado
34            # Acercarse a los fantasmas asustados para ganar puntos al comérselos
35            score += 10.0 / (ghostDist + 1) # Dar un peso a la proximidad a fantasmas asustados
36        else: # Fantasma no asustado
37            # Alejarse de los fantasmas si están demasiado cerca
38            if ghostDist > 0:
39                score -= 10.0 / ghostDist # Penalizar por estar cerca de un fantasma peligroso
40
41    # 3. Comida restante: Cuanta menos comida quede, mejor es el estado
42    score -= 4.0 * len(food) # Penalizar más comida restante
43
44    # 4. Cápsulas de poder: Incentivar estar cerca de las pelets de poder
45    if capsules:
46        minCapsuleDist = min([manhattanDistance(pacmanPos, capsule) for capsule in capsules])
47        score += 5.0 / (minCapsuleDist + 1) # Dar un peso inverso a la distancia a las pelets
48        score -= 10 * len(capsules) # Penalizar si quedan muchas pelets sin recoger
49
50    # Devolver la evaluación final ajustada por todos los factores
51    return score
52
```

Código 2.8: Implementación inicial de la función de evaluación

## Implementación final

```
1 def betterEvaluationFunction(currentGameState):
2     """
3     Función de evaluación mejorada para Pacman que incentiva la comida cercana y evita la
4     inactividad.
5     """
6
7     # Obtener el estado actual de Pacman
8     pacmanPos = currentGameState.getPacmanPosition()
9
10    # Obtener la comida restante y convertirla a una lista de posiciones
11    food = currentGameState.getFood().asList()
12
13    # Obtener las posiciones de los fantasmas y sus estados (asustados o no)
14    ghostStates = currentGameState.getGhostStates()
15    ghostPositions = [ghost.getPosition() for ghost in ghostStates]
16    scaredTimes = [ghostState.scaredTimer for ghostState in ghostStates]
17
18    # Obtener las pelets de poder restantes
19    capsules = currentGameState.getCapsules()
20
21    # Obtener el puntaje actual del juego
22    score = currentGameState.getScore()
23
24    # Inicializar la evaluación con el puntaje actual
25    score = score
26
27    # 1. Incentivar comer comida cercana
28    if food:
29        minFoodDist = min([manhattanDistance(pacmanPos, foodPos) for foodPos in food])
30        # Aumentar el peso de la proximidad a la comida
31        score += 10.0 / (minFoodDist + 1)
32
33    # 2. Distancia a los fantasmas: Maximizar la distancia a los fantasmas (si no están asustados)
34    for i, ghostPos in enumerate(ghostPositions):
35        ghostDist = manhattanDistance(pacmanPos, ghostPos)
36
37        if scaredTimes[i] > 0: # Fantasma asustado
38            # Incentivar acercarse a los fantasmas asustados para ganar puntos al comérselos
39            score += 20.0 / (ghostDist + 1)
40        else: # Fantasma no asustado
41            if ghostDist > 0:
42                # Aumentar la penalización por estar cerca de fantasmas no asustados
43                score -= 15.0 / ghostDist
44
45    # 3. Comida restante: Penalizar más fuerte la cantidad de comida restante
46    score -= 5.0 * len(food)
47
48    # 4. Cápsulas de poder: Incentivar la proximidad a las cápsulas y penalizar su cantidad
49    # restante
50    if capsules:
51        minCapsuleDist = min([manhattanDistance(pacmanPos, capsule) for capsule in capsules])
52        score += 8.0 / (minCapsuleDist + 1)
53        score -= 200 * len(capsules) # Penalizar si quedan muchas cápsulas sin recoger
54
55    return score
```

Código 2.9: Implementación final de la función de evaluación

## Comentarios

En este caso, ambas implementaciones son iguales salvo en los pesos asignados a los factores de evaluación. De hecho ambas dan la maxima puntuacion en el autograder. En la implementación final se han aumentado los pesos de la proximidad a la comida y a los fantasmas asustados, y se han disminuido los pesos de la cantidad de comida restante y de las cápsulas de poder. De esta forma hemos conseguido evitar que Pacman se quede inactivos durante el juego y que se acerque a los fantasmas asustados para ganar puntos.

<b>Primera Implementación</b>	<b>Implementación Final</b>	<b>% de Mejora</b>
1084.0	1366.0	25.99 %
1201.0	1183.0	-1.50 %
638.0	1338.0	109.38 %
890.0	1204.0	35.28 %
1096.0	1367.0	24.72 %
1104.0	1358.0	23.05 %
1303.0	1377.0	5.68 %
1175.0	1182.0	0.60 %
1199.0	1373.0	14.52 %
1287.0	1342.0	4.27 %

Cuadro 2.1: Comparación de puntuaciones entre la primera implementación y la implementación final

Como se puede apreciar, en la mayoría de casos la implementación final ha mejorado la puntuación respecto a la primera implementación notablemente.

# 3. Resultados

## 3.1. Casos de prueba

### 3.1.1. Agente Reflex

```
1 python pacman.py -p ReflexAgent -l testClassic
2 Pacman emerges victorious! Score: 564
3 Average Score: 564.0
4 Scores:          564.0
5 Win Rate:        1/1 (1.00)
6 Record:          Win
7
```

Código 3.1: Resultados del agente Reflex

### 3.1.2. Minimax

```
1 python pacman.py -p MinimaxAgent -l trappedClassic -a depth=3
2 Pacman died! Score: -501
3 Average Score: -501.0
4 Scores:        -501.0
5 Win Rate:      0/1 (0.00)
6 Record:        Loss
7
```

Código 3.2: Resultados del agente Minimax

### 3.1.3. Podado Alpha-Beta

```
1 python pacman.py -p AlphaBetaAgent -a depth=3 -l smallClassic
2 Pacman emerges victorious! Score: 1101
3 Average Score: 1101.0
4 Scores:          1101.0
5 Win Rate:        1/1 (1.00)
6 Record:          Win
7
```

Código 3.3: Resultados del agente Alpha-Beta



### 3.1.4. Expectimax

```
1 python pacman.py -p ExpectimaxAgent -l minimaxClassic -a depth=3
2 Pacman emerges victorious! Score: 511
3 Average Score: 511.0
4 Scores:          511.0
5 Win Rate:        1/1 (1.00)
6 Record:          Win
7
8 python pacman.py -p AlphaBetaAgent -l trappedClassic -a depth=3 -q -n 10
9 Pacman died! Score: -501
10 Pacman died! Score: -501
11 Pacman died! Score: -501
12 Pacman died! Score: -501
13 Pacman died! Score: -501
14 Pacman died! Score: -501
15 Pacman died! Score: -501
16 Pacman died! Score: -501
17 Pacman died! Score: -501
18 Pacman died! Score: -501
19 Average Score: -501.0
20 Scores:          -501.0, -501.0, -501.0, -501.0, -501.0, -501.0, -501.0, -501.0, -501.0, -501.0
21 Win Rate:        0/10 (0.00)
22 Record:          Loss, Loss, Loss, Loss, Loss, Loss, Loss, Loss, Loss, Loss
23
24 python pacman.py -p ExpectimaxAgent -l trappedClassic -a depth=3 -q -n 10
25 Pacman emerges victorious! Score: 532
26 Pacman emerges victorious! Score: 532
27 Pacman died! Score: -502
28 Pacman died! Score: -502
29 Pacman emerges victorious! Score: 532
30 Pacman died! Score: -502
31 Pacman died! Score: -502
32 Pacman emerges victorious! Score: 532
33 Pacman died! Score: -502
34 Pacman emerges victorious! Score: 532
35 Average Score: 15.0
36 Scores:          532.0, 532.0, -502.0, -502.0, 532.0, -502.0, -502.0, 532.0, -502.0, 532.0
37 Win Rate:        5/10 (0.50)
38 Record:          Win, Win, Loss, Loss, Win, Loss, Loss, Win, Loss, Win
39
```

Código 3.4: Resultados del agente Expectimax

## 3.2. Autograder

```
1 Starting on 10-26 at 17:50:23
2
3 Question q1
4 =====
5
6 Pacman emerges victorious! Score: 1238
7 Pacman emerges victorious! Score: 1244
8 Pacman emerges victorious! Score: 1239
9 Pacman emerges victorious! Score: 1235
10 Pacman emerges victorious! Score: 1233
11 Pacman emerges victorious! Score: 1241
12 Pacman emerges victorious! Score: 1246
13 Pacman emerges victorious! Score: 1242
14 Pacman emerges victorious! Score: 1239
15 Pacman emerges victorious! Score: 1242
16 Average Score: 1239.9
17 Scores: 1238.0, 1244.0, 1239.0, 1235.0, 1233.0, 1241.0, 1246.0, 1242.0, 1239.0, 1242.0
18 Win Rate: 10/10 (1.00)
19 Record: Win, Win, Win, Win, Win, Win, Win, Win, Win, Win
20 *** PASS: test_cases/q1/grade-agent.test (4 of 4 points)
21 *** 1239.9 average score (2 of 2 points)
22 *** Grading scheme:
23 *** < 500: 0 points
24 *** >= 500: 1 points
25 *** >= 1000: 2 points
26 *** 10 games not timed out (0 of 0 points)
27 *** Grading scheme:
28 *** < 10: fail
29 *** >= 10: 0 points
30 *** 10 wins (2 of 2 points)
31 *** Grading scheme:
32 *** < 1: fail
33 *** >= 1: 0 points
34 *** >= 5: 1 points
35 *** >= 10: 2 points
36
37 ### Question q1: 4/4 ###
38
39
40 Question q2
41 =====
42
43 *** PASS: test_cases/q2/0-eval-function-lose-states-1.test
44 *** PASS: test_cases/q2/0-eval-function-lose-states-2.test
45 *** PASS: test_cases/q2/0-eval-function-win-states-1.test
46 *** PASS: test_cases/q2/0-eval-function-win-states-2.test
47 *** PASS: test_cases/q2/0-lecture-6-tree.test
48 *** PASS: test_cases/q2/0-small-tree.test
49 *** PASS: test_cases/q2/1-1-minmax.test
50 *** PASS: test_cases/q2/1-2-minmax.test
51 *** PASS: test_cases/q2/1-3-minmax.test
52 *** PASS: test_cases/q2/1-4-minmax.test
53 *** PASS: test_cases/q2/1-5-minmax.test
54 *** PASS: test_cases/q2/1-6-minmax.test
55 *** PASS: test_cases/q2/1-7-minmax.test
56 *** PASS: test_cases/q2/1-8-minmax.test
57 *** PASS: test_cases/q2/2-1a-vary-depth.test
58 *** PASS: test_cases/q2/2-1b-vary-depth.test
59 *** PASS: test_cases/q2/2-2a-vary-depth.test
60 *** PASS: test_cases/q2/2-2b-vary-depth.test
61 *** PASS: test_cases/q2/2-3a-vary-depth.test
62 *** PASS: test_cases/q2/2-3b-vary-depth.test
63 *** PASS: test_cases/q2/2-4a-vary-depth.test
64 *** PASS: test_cases/q2/2-4b-vary-depth.test
65 *** PASS: test_cases/q2/2-one-ghost-3level.test
66 *** PASS: test_cases/q2/3-one-ghost-4level.test
67 *** PASS: test_cases/q2/4-two-ghosts-3level.test
68 *** PASS: test_cases/q2/5-two-ghosts-4level.test
```

```

69 *** PASS: test_cases/q2/6-tied-root.test
70 *** PASS: test_cases/q2/7-1a-check-depth-one-ghost.test
71 *** PASS: test_cases/q2/7-1b-check-depth-one-ghost.test
72 *** PASS: test_cases/q2/7-1c-check-depth-one-ghost.test
73 *** PASS: test_cases/q2/7-2a-check-depth-two-ghosts.test
74 *** PASS: test_cases/q2/7-2b-check-depth-two-ghosts.test
75 *** PASS: test_cases/q2/7-2c-check-depth-two-ghosts.test
76 *** Running MinimaxAgent on smallClassic 1 time(s).
77 Pacman died! Score: 84
78 Average Score: 84.0
79 Scores:      84.0
80 Win Rate:    0/1 (0.00)
81 Record:      Loss
82 *** Finished running MinimaxAgent on smallClassic after 0.7934041023254395 seconds.
83 *** Won 0 out of 1 games. Average score: 84.0 ***
84 *** PASS: test_cases/q2/8-pacman-game.test
85
86 ### Question q2: 5/5 ###
87
88
89 Question q3
90 =====
91
92 *** PASS: test_cases/q3/0-eval-function-lose-states-1.test
93 *** PASS: test_cases/q3/0-eval-function-lose-states-2.test
94 *** PASS: test_cases/q3/0-eval-function-win-states-1.test
95 *** PASS: test_cases/q3/0-eval-function-win-states-2.test
96 *** PASS: test_cases/q3/0-lecture-6-tree.test
97 *** PASS: test_cases/q3/0-small-tree.test
98 *** PASS: test_cases/q3/1-1-minmax.test
99 *** PASS: test_cases/q3/1-2-minmax.test
100 *** PASS: test_cases/q3/1-3-minmax.test
101 *** PASS: test_cases/q3/1-4-minmax.test
102 *** PASS: test_cases/q3/1-5-minmax.test
103 *** PASS: test_cases/q3/1-6-minmax.test
104 *** PASS: test_cases/q3/1-7-minmax.test
105 *** PASS: test_cases/q3/1-8-minmax.test
106 *** PASS: test_cases/q3/2-1a-vary-depth.test
107 *** PASS: test_cases/q3/2-1b-vary-depth.test
108 *** PASS: test_cases/q3/2-2a-vary-depth.test
109 *** PASS: test_cases/q3/2-2b-vary-depth.test
110 *** PASS: test_cases/q3/2-3a-vary-depth.test
111 *** PASS: test_cases/q3/2-3b-vary-depth.test
112 *** PASS: test_cases/q3/2-4a-vary-depth.test
113 *** PASS: test_cases/q3/2-4b-vary-depth.test
114 *** PASS: test_cases/q3/2-one-ghost-3level.test
115 *** PASS: test_cases/q3/3-one-ghost-4level.test
116 *** PASS: test_cases/q3/4-two-ghosts-3level.test
117 *** PASS: test_cases/q3/5-two-ghosts-4level.test
118 *** PASS: test_cases/q3/6-tied-root.test
119 *** PASS: test_cases/q3/7-1a-check-depth-one-ghost.test
120 *** PASS: test_cases/q3/7-1b-check-depth-one-ghost.test
121 *** PASS: test_cases/q3/7-1c-check-depth-one-ghost.test
122 *** PASS: test_cases/q3/7-2a-check-depth-two-ghosts.test
123 *** PASS: test_cases/q3/7-2b-check-depth-two-ghosts.test
124 *** PASS: test_cases/q3/7-2c-check-depth-two-ghosts.test
125 *** Running AlphaBetaAgent on smallClassic 1 time(s).
126 Pacman died! Score: 84
127 Average Score: 84.0
128 Scores:      84.0
129 Win Rate:    0/1 (0.00)
130 Record:      Loss
131 *** Finished running AlphaBetaAgent on smallClassic after 0.6842935085296631 seconds.
132 *** Won 0 out of 1 games. Average score: 84.0 ***
133 *** PASS: test_cases/q3/8-pacman-game.test
134
135 ### Question q3: 5/5 ###
136
137
138 Question q4
139 =====

```

```

140
141 *** PASS: test_cases/q4/0-eval-function-lose-states-1.test
142 *** PASS: test_cases/q4/0-eval-function-lose-states-2.test
143 *** PASS: test_cases/q4/0-eval-function-win-states-1.test
144 *** PASS: test_cases/q4/0-eval-function-win-states-2.test
145 *** PASS: test_cases/q4/0-expectimax1.test
146 *** PASS: test_cases/q4/1-expectimax2.test
147 *** PASS: test_cases/q4/2-one-ghost-3level.test
148 *** PASS: test_cases/q4/3-one-ghost-4level.test
149 *** PASS: test_cases/q4/4-two-ghosts-3level.test
150 *** PASS: test_cases/q4/5-two-ghosts-4level.test
151 *** PASS: test_cases/q4/6-1a-check-depth-one-ghost.test
152 *** PASS: test_cases/q4/6-1b-check-depth-one-ghost.test
153 *** PASS: test_cases/q4/6-1c-check-depth-one-ghost.test
154 *** PASS: test_cases/q4/6-2a-check-depth-two-ghosts.test
155 *** PASS: test_cases/q4/6-2b-check-depth-two-ghosts.test
156 *** PASS: test_cases/q4/6-2c-check-depth-two-ghosts.test
157 *** Running ExpectimaxAgent on smallClassic 1 time(s).
158 Pacman died! Score: 84
159 Average Score: 84.0
160 Scores:      84.0
161 Win Rate:    0/1 (0.00)
162 Record:      Loss
163 *** Finished running ExpectimaxAgent on smallClassic after 1.030266284942627 seconds.
164 *** Won 0 out of 1 games. Average score: 84.0 ***
165 *** PASS: test_cases/q4/7-pacman-game.test
166
167 ### Question q4: 5/5 ###
168
169
170 Question q5
171 =====
172
173 Pacman emerges victorious! Score: 1366
174 Pacman emerges victorious! Score: 1183
175 Pacman emerges victorious! Score: 1338
176 Pacman emerges victorious! Score: 1204
177 Pacman emerges victorious! Score: 1367
178 Pacman emerges victorious! Score: 1358
179 Pacman emerges victorious! Score: 1377
180 Pacman emerges victorious! Score: 1182
181 Pacman emerges victorious! Score: 1373
182 Pacman emerges victorious! Score: 1342
183 Average Score: 1309.0
184 Scores:      1366.0, 1183.0, 1338.0, 1204.0, 1367.0, 1358.0, 1377.0, 1182.0, 1373.0, 1342.0
185 Win Rate:    10/10 (1.00)
186 Record:      Win, Win, Win, Win, Win, Win, Win, Win, Win, Win
187 *** PASS: test_cases/q5/grade-agent.test (6 of 6 points)
188 ***      1309.0 average score (2 of 2 points)
189 ***      Grading scheme:
190 ***          < 500:  0 points
191 ***          >= 500:  1 points
192 ***          >= 1000: 2 points
193 ***      10 games not timed out (1 of 1 points)
194 ***      Grading scheme:
195 ***          < 0:  fail
196 ***          >= 0:  0 points
197 ***          >= 10:  1 points
198 ***      10 wins (3 of 3 points)
199 ***      Grading scheme:
200 ***          < 1:  fail
201 ***          >= 1:  1 points
202 ***          >= 5:  2 points
203 ***          >= 10: 3 points
204
205 ### Question q5: 6/6 ###
206
207
208 Finished at 17:50:33
209
210 Provisional grades

```

```
211 =====
212 Question q1: 4/4
213 Question q2: 5/5
214 Question q3: 5/5
215 Question q4: 5/5
216 Question q5: 6/6
217 -----
218 Total: 25/25
219
220 Your grades are NOT yet registered. To register your grades, make sure
221 to follow your instructor's guidelines to receive credit on your project.
222
```

Código 3.5: Resultados del Autograder