**Universidad de los Andes**

**Facultad de ingeniería**

**Departamento de ingeniería de sistemas**

**Reinforcement learning**

**05/04/2022**

**Alumno: Pablo José Cortés Sanabria**

1. **En este ejercicio vamos a probar el algorítmo de Q-learning como un representante de los métodos off-policy. Nuestro objetivo, es evaluar el algoritmo sobre distintos ambientes. Para cada uno de los ambientes deben ejecutar un agente de Q-learning en el ambiente, evaluar su ejecución y validar la efectividad del aprendizaje del agente entrenado sobre el ambiente.**

Para la implementación del algoritmo Q-learning, se creo la clase Q-learning(), que cuenta con los siguientes métodos:

* \_\_init\_\_(): El método constructor de la clase, en que se asignan los valores de épsilon, gamma, alfa, el ambiente sobre el que se ejecutan acciones (pero no se tiene acceso a los valores de las recompensas), y un diccionario Q, que hace las veces de q-table.
* Choose\_action(estado): Este método, dado un estado pasado como argumento de la función, devuelve la acción a ejecutar, escogiendo con probabilidad 1-epsilon la acción con mayor valor para el estado dado, y con probabilidad épsilon la cualquier otra acción aleatoriamente.
* Q\_max(estado): Devuelve el valor del máximo Q-valor partiendo del estado dado
* Action\_function(estado1, accion1, recompensa, estado2): implementa el calculo del q\_valor de la acción según el algoritmo de q-learning de la ilustración 1.
* Episodio(): Ejecuta un episodio, partiendo de un estado al azar, y tomando acciones hasta llegar a un estado terminal
* Política\_optima(episodios): Ejecuta tantos episodios como se le asignen al argumento, para encontrar la política optima. Al final imprime en consola la política.

En líneas generales, se utilizo la misma clase Q\_learning() para solucionar los 3 problemas, con algunas ligeras modificaciones. En las ilustraciones 2, 3 y 4 se aprecia el código de la clase Q\_learning().

Texto

Descripción generada automáticamente

Ilustración . Seudocódigo del algoritmo q-learning

Texto

Descripción generada automáticamente

Ilustración . Codigo de la clase q-learning

Texto

Descripción generada automáticamente

Ilustración . Código para la clase q-learning

Interfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación, Correo electrónico

Descripción generada automáticamente

Ilustración . Código para la clase q-learning

1. **Gridworld**

En el caso del gridworld, se dejó igual el código de la clase board(), que define el ambiente, y que se ha venido trabajando en los últimos talleres. Ejecutándolo para un valor de gamma de 0.5, épsilon de 0.5, y una tasa de aprendizaje de 0.1, 10000 episodios fueron suficientes para asegurar la convergencia. En la ilustración 5 se observa la política final a la que se llega.

Interfaz de usuario gráfica, Tabla

Descripción generada automáticamente

Ilustración . Política a la que se llega luego de 10000 episodios para el algoritmo de Q-learning

A continuación se muestra la Q-tabla como la imprime en consola al ejecutar el comando my\_q\_learning.Q (este código queda en el archivo de soporte jupyter)

{(0, 0): {'up': 9.48957947232869e-05,

'right': 0.00022018298072055522,

'left': 9.806380082722474e-05,

'down': 0.00021157740040293635,

'Salir': 9.129563802800712e-05},

(0, 1): {'up': 0.00021237361406328708,

'right': 0.0004399155115879336,

'left': 0.00010357431447429443,

'down': 0.0004372467429794357,

'Salir': 0.00021797053291094872},

(0, 2): {'up': 0.00043672377729085047,

'right': 0.0008780383405352086,

'left': 0.0002194882536043033,

'down': 0.0008776932537400849,

'Salir': 0.00043725495198889026},

(0, 3): {'up': 0.0008663845984074619,

'right': 0.0017348642168138178,

'left': 0.0004350904194538982,

'down': 0.0017508644375678524,

'Salir': 0.0008594583970889892},

(0, 4): {'up': 0.0017385789363417762,

'right': 0.003480360328061483,

'left': 0.0008533318637376513,

'down': 0.003511003548176027,

'Salir': 0.001713183733548466},

(0, 5): {'up': 0.0035166762197569503,

'right': 0.0017160940191386764,

'left': 0.0017273151540033627,

'down': 0.007061876594725253,

'Salir': 0.003499597329254517},

(0, 6): {'up': 0.0017315958791514166,

'right': 0.000865059416392316,

'left': 0.0035153417184285145,

'down': 0.003518011417624765,

'Salir': 0.0017435067731809578},

(0, 7): {'up': 0.0008247102157194139,

'right': 0.0003983774632835506,

'left': 0.0017641609722403456,

'down': 0.0016389299556163488,

'Salir': 0.0008145716653501152},

(0, 8): {'up': 0.0004223107741684271,

'right': 0.0008555130160071078,

'left': 0.000820397445908336,

'down': 0.0008875574783599795,

'Salir': 0.0003792705096779458},

(0, 9): {'up': 0.0008113706237651596,

'right': 0.0008550483436713136,

'left': 0.00041489370920323786,

'down': 0.0017720338601959797,

'Salir': 0.000852016663132665},

(1, 0): {'up': 0.00010828770809528168,

'right': 0.0004397407044081459,

'left': 0.00021732817213043223,

'down': 0.00010874271886039849,

'Salir': 0.00021825865320135166},

(1, 1): {'up': 0.0002196128210288488,

'right': 0.0008763574102836275,

'left': 0.00021901854585750202,

'down': 0.0004394046500259295,

'Salir': 0.000438680047708254},

(1, 2): {'up': 0.00043967831194440926,

'right': 0.0017498389065890186,

'left': 0.0004411625030162016,

'down': 0.0008779615003778475,

'Salir': 0.0008769457910542891},

(1, 3): {'up': 0.0008776960311938217,

'right': 0.003509101046127003,

'left': 0.0008771531665836297,

'down': 0.001758163364216051,

'Salir': 0.0017548488128151015},

(1, 4): {'up': 0.0017584788824320974,

'right': 0.0070513503441511135,

'left': 0.001756451815291934,

'down': 0.0035105465187114586,

'Salir': 0.003508780117080484},

(1, 5): {'up': 0.0035410208011511504,

'right': 0.0035243404175042095,

'left': 0.0035227210533832496,

'down': 0.014146295339063643,

'Salir': 0.00703604044562812},

(1, 6): {'up': 0.0017567314239665627,

'right': 0.001760716350437735,

'left': 0.0070458822094038144,

'down': 0.003514819591887033,

'Salir': 0.0035172925260628972},

(1, 7): {'up': 0.0008419992322042478,

'right': 0.0008774525442100983,

'left': 0.0035277561692817322,

'down': 0.0016828392364073462,

'Salir': 0.0016903495019326958},

(1, 8): {'up': 0.00042971788010974575,

'right': 0.0017737872678710669,

'left': 0.0017329821110388362,

'down': 0.0008716353632570101,

'Salir': 0.0008666615638598035},

(1, 9): {'up': 0.0008797570438753641,

'right': 0.0017701710825889893,

'left': 0.0008820827606374879,

'down': 0.003535952018686609,

'Salir': 0.0017720705091312594},

(2, 0): {'up': 0.00022066639722350366,

'right': 0.00010778718259538496,

'left': 0.00010832146041310605,

'down': 5.299393871421892e-05,

'Salir': 0.00010914809057348242},

(2, 5): {'up': 0.007039608334707091,

'right': 0.01407999279921344,

'left': 0.014110195101201256,

'down': 0.028356820049391496,

'Salir': 0.014095006414463596},

(2, 9): {'up': 0.0017695227816852076,

'right': 0.0035380063697768287,

'left': 0.0035387881907731045,

'down': 0.007065145035293193,

'Salir': 0.0035394968972600016},

(3, 0): {'up': 0.00011047883844983905,

'right': 2.6702405597211026e-05,

'left': 5.142695229517114e-05,

'down': 2.344131056579927e-05,

'Salir': 5.339545039867866e-05},

(3, 1): {'up': 2.472598220488905e-05,

'right': 1.2298260536335354e-05,

'left': 5.475420320843596e-05,

'down': 1.342722534861404e-05,

'Salir': 2.4876838041902414e-05},

(3, 2): {'up': 1.1708454934442984e-05,

'right': 2.2346810436329563e-05,

'left': 2.202607212110074e-05,

'down': 2.7559718625970103e-05,

'Salir': 1.2380084993037393e-05},

(3, 3): {'up': 1.9488227147798438e-05,

'right': 2.5814357949968505e-05,

'left': 1.1569375031074283e-05,

'down': 5.5516729931586936e-05,

'Salir': 2.2694289673318305e-05},

(3, 5): {'up': 0.01406780762313892,

'right': 0.056843482574870714,

'left': 0.028212290101731218,

'down': -0.35061466446357115,

'Salir': 0.028138527422360407},

(3, 6): {'up': 0.0566060919024754,

'right': 0.028223821947958444,

'left': 0.028179484846913017,

'down': 0.11371631279680307,

'Salir': 0.05674124016063514},

(3, 7): {'up': 0.028244367560379045,

'right': 0.014156989826781726,

'left': 0.05616162901567987,

'down': 0.05676521646065772,

'Salir': 0.028342037856286452},

(3, 8): {'up': 0.014178852523639436,

'right': 0.007079888284626982,

'left': 0.02814062788780003,

'down': 0.028394270146058588,

'Salir': 0.01414613622040976},

(3, 9): {'up': 0.0035259920095667544,

'right': 0.007065328680730683,

'left': 0.014167868941491264,

'down': 0.014098874734581539,

'Salir': 0.007071763685958539},

(4, 0): {'up': 5.4932131378897556e-05,

'right': 1.3510546785841286e-05,

'left': 2.0658545804579383e-05,

'down': 1.1462948171406139e-05,

'Salir': 1.816813780464395e-05},

(4, 1): {'up': 2.368827615440831e-05,

'right': 2.750707737143012e-05,

'left': 2.1254612409998672e-05,

'down': 2.65132340789529e-05,

'Salir': 1.2213939807455958e-05},

(4, 2): {'up': 1.357169831411727e-05,

'right': 5.4758244201971687e-05,

'left': 1.3425088119993345e-05,

'down': 5.5436489992585354e-05,

'Salir': 2.7298427806561544e-05},

(4, 3): {'up': 2.6856377027349728e-05,

'right': 5.493613069857236e-05,

'left': 2.692991417566803e-05,

'down': 0.0001108069262145929,

'Salir': 5.44875790591607e-05},

(4, 5): {'Salir': -0.767296707652749},

(4, 6): {'up': 0.05656856486132843,

'right': 0.05662478894090093,

'left': -0.34281789063511764,

'down': 0.22657952975659587,

'Salir': 0.11350267224387714},

(4, 7): {'up': 0.028261721261052444,

'right': 0.02829365445674333,

'left': 0.11371345736841128,

'down': 0.11374680882199449,

'Salir': 0.05647140044035156},

(4, 8): {'up': 0.014141877439853463,

'right': 0.01411171109713032,

'left': 0.05689884056135915,

'down': 0.05668376793476751,

'Salir': 0.028290725523660354},

(4, 9): {'up': 0.006985562582151825,

'right': 0.013977977831563047,

'left': 0.028235262673563844,

'down': 0.02732913150324851,

'Salir': 0.01401661819241727},

(5, 0): {'up': 2.1845830301628052e-05,

'right': 2.3243164524859778e-05,

'left': 1.2672600776052885e-05,

'down': 2.747699849480646e-05,

'Salir': 1.2215666119380433e-05},

(5, 1): {'up': 1.33020358931453e-05,

'right': 5.405773589622021e-05,

'left': 1.3201428697790342e-05,

'down': 5.5419503928542516e-05,

'Salir': 2.6190554816896877e-05},

(5, 2): {'up': 2.7392475854307995e-05,

'right': 0.00011059827248968347,

'left': 2.7146527579088744e-05,

'down': 0.0001099882767045245,

'Salir': 5.4658286444097734e-05},

(5, 3): {'up': 5.5316101788804914e-05,

'right': 0.00011079789719951381,

'left': 5.5167684102744324e-05,

'down': 0.00022025441169973926,

'Salir': 0.00011036203082283023},

(5, 5): {'Salir': 0.8171729732872257},

(5, 6): {'up': 0.11345810064253706,

'right': 0.11356981048322157,

'left': 0.45081790233595703,

'down': 0.11369521777745216,

'Salir': 0.22683647672086707},

(5, 7): {'up': 0.0566374378226778,

'right': 0.056571276708504446,

'left': 0.2262588544123877,

'down': 0.05694636225350598,

'Salir': 0.1142533483706927},

(5, 8): {'up': 0.028241260664018362,

'right': 0.028225855044530977,

'left': 0.11394479000536291,

'down': 0.02828098344731628,

'Salir': 0.05643236144450111},

(5, 9): {'up': 0.013902920485593516,

'right': 0.027584811564101076,

'left': 0.056185499014671146,

'down': 0.013843526767344207,

'Salir': 0.027679558323708872},

(6, 0): {'up': 1.3280641585516072e-05,

'right': 5.5470965637840396e-05,

'left': 2.6578684715183903e-05,

'down': 5.330508581951034e-05,

'Salir': 2.7145442338081306e-05},

(6, 1): {'up': 2.734483684918748e-05,

'right': 0.00011088864860766042,

'left': 2.7365727244264476e-05,

'down': 0.00010903106903031457,

'Salir': 5.4993620174562373e-05},

(6, 2): {'up': 5.541916977638576e-05,

'right': 0.00022058457536850966,

'left': 5.502633597287106e-05,

'down': 0.0002205809761473008,

'Salir': 0.00010974648207268311},

(6, 3): {'up': 0.00011072630342355852,

'right': 0.00022134281745511827,

'left': 0.00011108839227911875,

'down': 0.0004397698740889148,

'Salir': 0.00022123162918703525},

(6, 5): {'up': 0.4414617645726209,

'right': 0.11086871185730952,

'left': 0.22141163292182572,

'down': -0.3297966060061438,

'Salir': 0.21755318027325632},

(6, 6): {'up': 0.22740907863374138,

'right': 0.05630500719636792,

'left': 0.21662179648928714,

'down': -0.32892556067741685,

'Salir': 0.11189078625787226},

(6, 7): {'up': 0.1139605397989457,

'right': 0.02831075407427656,

'left': 0.11259417729292617,

'down': 0.028451732492966047,

'Salir': 0.056832733435882604},

(6, 8): {'up': 0.05610177323955018,

'right': 0.014142050565283901,

'left': 0.05712166708464542,

'down': 0.014122651390389502,

'Salir': 0.028165754341484363},

(6, 9): {'up': 0.028039761302430598,

'right': 0.014087559842163158,

'left': 0.02827949732012553,

'down': 0.007042549232885584,

'Salir': 0.014055610937121241},

(7, 0): {'up': 2.6123187422123073e-05,

'right': 0.00011017818723450386,

'left': 5.20044185002756e-05,

'down': 0.00010826626719980357,

'Salir': 5.099193290276577e-05},

(7, 1): {'up': 5.50286811845873e-05,

'right': 0.0002182609508031137,

'left': 5.372139759487844e-05,

'down': 0.0002211033524278046,

'Salir': 0.0001088281240363194},

(7, 2): {'up': 0.00011039497259500403,

'right': 0.00044029075714592774,

'left': 0.00010906610576763285,

'down': 0.00043684168088322674,

'Salir': 0.00021941740039941105},

(7, 3): {'up': 0.00022133907825230788,

'right': 0.0004411033494025397,

'left': 0.00022090955894717992,

'down': 0.0008800746189541666,

'Salir': 0.0004406889187792744},

(7, 5): {'Salir': -0.6982625012942597},

(7, 6): {'Salir': -0.6921487341520719},

(7, 7): {'up': 0.05722241301477191,

'right': 0.014149572417935236,

'left': -0.3421609537811467,

'down': 0.014218423343580323,

'Salir': 0.028338913666714996},

(7, 8): {'up': 0.028160122295315112,

'right': 0.00700678992216191,

'left': 0.028477695008567946,

'down': 0.007006026284584035,

'Salir': 0.014070930549699628},

(7, 9): {'up': 0.014085976965281499,

'right': 0.007028918449775139,

'left': 0.014076791537204302,

'down': 0.0034715022255051428,

'Salir': 0.006982270094612482},

(8, 0): {'up': 5.2568779304969645e-05,

'right': 0.00022125675702785644,

'left': 0.00010859352894708139,

'down': 5.170439043240087e-05,

'Salir': 0.00010539224110238267},

(8, 1): {'up': 0.00010948379708462357,

'right': 0.00044051904538128386,

'left': 0.0001097560308755354,

'down': 0.00010950024155996189,

'Salir': 0.00022072941440743975},

(8, 2): {'up': 0.00022035926983263976,

'right': 0.000880528229798821,

'left': 0.00021952198015094915,

'down': 0.0002202236416145043,

'Salir': 0.0004407320807254339},

(8, 3): {'up': 0.0004407683162274785,

'right': 0.0017641459031069089,

'left': 0.00044106389484224506,

'down': 0.0004412264301188614,

'Salir': 0.0008829256878673101},

(8, 4): {'up': 0.0017641878079821761,

'right': 0.0035375357430683842,

'left': 0.0008828454826126497,

'down': 0.0008826618160457794,

'Salir': 0.00176365836572235},

(8, 5): {'up': -0.353896971087962,

'right': 0.00710167681852892,

'left': 0.0017621920858750455,

'down': 0.0017677363756538622,

'Salir': 0.0035343908626892357},

(8, 6): {'up': -0.32171397439944266,

1. 'right': 0.01428196971527742,
2. 'left': 0.003532277368607334,
3. 'down': 0.003535188390903122,
4. 'Salir': 0.0070700422793036},

(8, 7): {'up': 0.02861785562294383,

'right': 0.007083578580872653,

'left': 0.0070817475531055095,

'down': 0.007063135545187982,

'Salir': 0.01421490195743708},

(8, 8): {'up': 0.014114043739806528,

'right': 0.0034932983128708765,

'left': 0.014226163033378482,

'down': 0.003457831210506771,

'Salir': 0.0069125309815290265},

(8, 9): {'up': 0.007051900723609076,

'right': 0.0033819847928058494,

'left': 0.006784178013157586,

'down': 0.0015935131352644467,

'Salir': 0.0032736333985287154},

(9, 0): {'up': 0.00010544425543750246,

'right': 0.00011013984638868586,

'left': 4.988105998932311e-05,

'down': 4.801567794614793e-05,

'Salir': 4.98424992410322e-05},

(9, 1): {'up': 0.00022153880900233883,

'right': 0.00021763280873834725,

'left': 5.4094825742817846e-05,

'down': 0.0001080587542869093,

'Salir': 0.0001087728995386426},

(9, 2): {'up': 0.00043355922798813133,

'right': 0.0004405470527752072,

'left': 0.00010823186453191055,

'down': 0.0002194815903230704,

'Salir': 0.0002162259223357873},

(9, 3): {'up': 0.0008794464000275522,

'right': 0.0008787946394484774,

'left': 0.00022036539173567738,

'down': 0.0004409040897879092,

'Salir': 0.00044100239945044756},

(9, 4): {'up': 0.001762355772036987,

'right': 0.001744189117490725,

'left': 0.00043807625823542287,

'down': 0.0008821733479366705,

'Salir': 0.0008776537300307827},

(9, 5): {'up': 0.0035270795354916517,

'right': 0.003483012875082666,

'left': 0.0008749735573029308,

'down': 0.0017559145846897364,

'Salir': 0.001746935369003654},

(9, 6): {'up': 0.0070817440753244984,

'right': 0.006999102468954519,

'left': 0.0017344496655207025,

'down': 0.0034810529220903525,

'Salir': 0.003452002231439398},

(9, 7): {'up': 0.014192262968849886,

'right': 0.003521885729826809,

'left': 0.003521504925163667,

'down': 0.007035313713861296,

'Salir': 0.007068184750325682},

(9, 8): {'up': 0.006950340824543896,

'right': 0.001739433720182808,

'left': 0.007063382614110537,

'down': 0.0035162231480375546,

'Salir': 0.0034254838139066513},

(9, 9): {'up': 0.0033113372615739076,

'right': 0.0015501808819279154,

'left': 0.0035357152745012018,

'down': 0.001522893725914746,

'Salir': 0.001559634111441393}}

In [ ]:



​

## 3. Laberinto de cuartos

## En este caso, se modificó el código de la clase board para adaptarlo al ambiente de cuartos, como una malla de 11x11 casillas, y una serie de bloques obstáculos usados para simular las paredes divisorias de los cuartos. En la ilustración 6 se observa la geometría generada con la clase board():

## Imagen que contiene Interfaz de usuario gráfica Descripción generada automáticamente

Ilustración . Laberinto de cuartos

En este caso, con un epsilo de 0.5, un gamma de 0.2 y una tasa de aprendizaje de 0.1, 10000 episodios son suficientes para garantizar la convergencia. En la ilustración 7 se observa la política optima a la que se llega con el algoritmo de q-learning.

Tabla

Descripción generada automáticamente con confianza baja

Ilustración . Política optima para el problema del laberinto de cuartos. En este caso, None representa las paredes divisorias.

A continuación, se muestra la Q-tabla. En el archivo de soporte de jupyter se encuentra el código para generarla.

{(0, 0): {'up': 0.0075997425297958535,

'right': 0.039020979904278386,

'left': 0.007545975777449102,

'down': 0.0015247918904541075,

'Salir': 0.007546816662292821},

(0, 1): {'up': 0.0385647794322783,

'right': 0.1989809900781906,

'left': 0.0076600076121073925,

'down': 0.007642852248957364,

'Salir': 0.038681098760550515},

(0, 2): {'Salir': 0.9999775721841317},

(0, 3): {'up': 0.03802248324568407,

'right': 0.007586778206573332,

'left': 0.19573287713353987,

'down': 0.007621463061393392,

'Salir': 0.037758806418384354},

(0, 4): {'up': 0.007493969875333403,

'right': 0.007523688105145304,

'left': 0.038013393222615134,

'down': 0.0014939724892191874,

'Salir': 0.007539532913355006},

(0, 6): {'up': 4.6829882905935945e-07,

'right': 9.685244673326741e-08,

'left': 4.6665752222277266e-07,

'down': 2.448374374624336e-06,

'Salir': 4.73425360264035e-07},

(0, 7): {'up': 9.721657444800018e-08,

'right': 1.9438448353909866e-08,

'left': 4.831913786034648e-07,

'down': 4.903454064660606e-07,

'Salir': 9.746355181877495e-08},

(0, 8): {'up': 1.9260759943448235e-08,

'right': 3.79058464180162e-09,

'left': 9.82278514562868e-08,

'down': 9.727680557601627e-08,

'Salir': 1.9188110326751656e-08},

(0, 9): {'up': 3.623416264743315e-09,

'right': 6.737274837424079e-10,

'left': 1.9595199051665865e-08,

'down': 1.8909791971401767e-08,

'Salir': 3.738052687529254e-09},

(0, 10): {'up': 5.98479093441499e-10,

'right': 6.037618419314654e-10,

'left': 3.882334482960302e-09,

'down': 3.2263645805982577e-09,

'Salir': 5.704551498124958e-10},

(1, 0): {'up': 0.007631528196109209,

'right': 0.007756063906078403,

'left': 0.0015283486798455172,

'down': 0.0003055360435512911,

'Salir': 0.0015323499941062718},

(1, 1): {'up': 0.03935693283106829,

'right': 0.03855604205430459,

'left': 0.0015365115670678063,

'down': 0.0015368135758967363,

'Salir': 0.0077030089277603025},

(1, 2): {'up': 0.1993373694724696,

'right': 0.007682367483741212,

'left': 0.007728636514953347,

'down': 0.007688201228341481,

'Salir': 0.03887617176503549},

(1, 3): {'up': 0.037889883427645606,

'right': 0.0015268698829429058,

'left': 0.03951034439434423,

'down': 0.0015298930065218304,

'Salir': 0.007743488382985183},

(1, 4): {'up': 0.007576298223036327,

'right': 0.0015256091528003768,

'left': 0.007690687115397411,

'down': 0.0003061831434904728,

'Salir': 0.001524433297772641},

(1, 6): {'up': 4.886567968704244e-07,

'right': 4.89763715492214e-07,

'left': 2.4464949607389885e-06,

'down': 1.2219696904101585e-05,

'Salir': 2.4395747660141777e-06},

(1, 7): {'up': 9.81181952001318e-08,

'right': 9.781224128391399e-08,

'left': 2.445972039525776e-06,

'down': 2.44647955883249e-06,

'Salir': 4.906385930149385e-07},

(1, 8): {'up': 1.94004315821684e-08,

'right': 1.9266931580830547e-08,

'left': 4.90097931652122e-07,

'down': 4.872966153529295e-07,

'Salir': 9.757709977259918e-08},

(1, 9): {'up': 3.7358694341142164e-09,

'right': 3.5974296965052942e-09,

'left': 9.808133522714802e-08,

'down': 9.56074698794329e-08,

'Salir': 1.8737105112601332e-08},

(1, 10): {'up': 6.084711350382045e-10,

'right': 3.3739301725833995e-09,

'left': 1.9477541131817438e-08,

'down': 1.5652528712570503e-08,

'Salir': 3.1520515763950676e-09},

(2, 0): {'up': 0.0015406964091667634,

'right': 0.0015293356811502711,

'left': 0.0003053686535074886,

'down': 6.091515078664898e-05,

'Salir': 0.00030607062503584315},

(2, 1): {'up': 0.0077413671046521314,

'right': 0.007626799763758369,

'left': 0.0003047431076523849,

'down': 0.0003063890975833104,

'Salir': 0.0015309035463807656},

(2, 2): {'up': 0.03942672959071107,

'right': 0.0015353617243848156,

'left': 0.0015365670886074456,

'down': 0.0015153408876804652,

'Salir': 0.007597975710781568},

(2, 3): {'up': 0.007825026845585108,

'right': 0.00030665495004568964,

'left': 0.007596257362869997,

'down': 0.0003056817324900441,

'Salir': 0.0015373135940466235},

(2, 4): {'up': 0.0015253834284224687,

'right': 6.122436046425767e-05,

'left': 0.001549608383258414,

'down': 6.112476895156593e-05,

'Salir': 0.0003063245574788427},

(2, 5): {'up': 6.118732055103587e-05,

'right': 1.2235109179424935e-05,

'left': 0.00030680337210524844,

'down': 6.114362310261353e-05,

'Salir': 6.113988788400732e-05},

(2, 6): {'up': 2.4493873326907405e-06,

'right': 2.451103481453402e-06,

'left': 6.11494138085823e-05,

'down': 2.4507085159668883e-06,

'Salir': 1.2237152279275027e-05},

(2, 7): {'up': 4.908642119049826e-07,

'right': 4.904229200678023e-07,

'left': 1.2216152294683796e-05,

'down': 4.900930506001612e-07,

'Salir': 2.448569562857344e-06},

(2, 8): {'up': 9.807386715715807e-08,

'right': 9.807776336234509e-08,

'left': 2.4453946695989687e-06,

'down': 9.778923788261138e-08,

'Salir': 4.899720441729999e-07},

(2, 9): {'up': 1.9204406890628424e-08,

'right': 1.8803637822194157e-08,

'left': 4.897656069232978e-07,

'down': 1.8912288279346453e-08,

'Salir': 9.704402015070329e-08},

(2, 10): {'up': 3.0813048425905793e-09,

'right': 1.4452929389505466e-08,

'left': 9.799424832350475e-08,

'down': 3.4046897036404356e-09,

'Salir': 1.4224841337272837e-08},

(3, 0): {'up': 0.0003070553385284251,

'right': 0.0003028624425131617,

'left': 6.0268837120297844e-05,

'down': 1.1982322605453905e-05,

'Salir': 5.968457770745639e-05},

(3, 1): {'up': 0.0015420082305830818,

'right': 0.0015130367952074935,

'left': 6.070589501517849e-05,

'down': 6.080476688806169e-05,

'Salir': 0.00030296218935111974},

(3, 2): {'up': 0.0077043170557514465,

'right': 0.00030587902727652046,

'left': 0.0003068753278846005,

'down': 0.0003023938995708528,

'Salir': 0.001513695294151747},

(3, 3): {'up': 0.0015360375429932995,

'right': 6.113227971136247e-05,

'left': 0.001515268329939621,

'down': 6.116229458612465e-05,

'Salir': 0.00030645317294833446},

(3, 4): {'up': 0.0003060191142244894,

'right': 6.0980737219332593e-05,

'left': 0.0003051753685298973,

'down': 1.21886979044554e-05,

'Salir': 6.104115753365593e-05},

(3, 6): {'up': 1.2231047114670726e-05,

'right': 4.874782479991053e-07,

'left': 2.438020621752073e-06,

'down': 4.803405451777982e-07,

'Salir': 2.4314340469302524e-06},

(3, 7): {'up': 2.444663255664844e-06,

'right': 9.803816432719754e-08,

'left': 2.4386382101286873e-06,

'down': 9.712458799057698e-08,

'Salir': 4.886023079061699e-07},

(3, 8): {'up': 4.894241399766176e-07,

'right': 1.949259655156932e-08,

'left': 4.894411639222309e-07,

'down': 1.9511168513052845e-08,

'Salir': 9.79107401897888e-08},

(3, 9): {'up': 9.729383982005799e-08,

'right': 3.8581108378047376e-09,

'left': 9.800523281616133e-08,

'down': 3.864417120578535e-09,

'Salir': 1.9502750565869657e-08},

(3, 10): {'up': 1.7002715286585073e-08,

'right': 3.593674457931724e-09,

'left': 1.9579157123165023e-08,

'down': 7.238486583762272e-10,

'Salir': 3.6612206982410936e-09},

(4, 0): {'up': 6.128398922941604e-05,

'right': 5.564239245665895e-05,

'left': 1.1199245262094182e-05,

'down': 1.0671079674496687e-05,

'Salir': 1.1363673514123904e-05},

(4, 1): {'up': 0.0003066506751339015,

'right': 0.00030221923242089324,

'left': 1.1886266522381595e-05,

'down': 6.080681401802112e-05,

'Salir': 5.9490079499182514e-05},

(4, 2): {'up': 0.0015187804987142708,

'right': 6.114712606111981e-05,

'left': 6.103972353957501e-05,

'down': 6.054667221074227e-05,

'Salir': 0.00030217095832506583},

(4, 3): {'up': 0.00030530809614065567,

'right': 1.2032764547172556e-05,

'left': 0.00030092175240381433,

'down': 6.0598029305656905e-05,

'Salir': 6.026391574825778e-05},

(4, 4): {'up': 6.112557468104336e-05,

'right': 1.1790491298043291e-05,

'left': 5.6057796826922027e-05,

'down': 1.182122919539737e-05,

'Salir': 1.1546331018199106e-05},

(4, 6): {'up': 2.452427781855982e-06,

'right': 8.767493932128557e-08,

'left': 4.530639607023813e-07,

'down': 4.218998635241938e-07,

'Salir': 4.432896800599558e-07},

(4, 7): {'up': 4.896465769046743e-07,

'right': 1.8790091397642804e-08,

'left': 4.663257273334062e-07,

'down': 9.248007916461614e-08,

'Salir': 9.346311920553762e-08},

(4, 8): {'up': 9.80386986450322e-08,

'right': 3.880685870144562e-09,

'left': 9.776238663768531e-08,

'down': 3.861924561453889e-09,

'Salir': 1.9523092981738e-08},

(4, 9): {'up': 1.961120407012941e-08,

'right': 7.335555163916085e-10,

'left': 1.9123255571201373e-08,

'down': 3.8366297964333214e-09,

'Salir': 3.717522152157504e-09},

(4, 10): {'up': 3.5257876602791586e-09,

'right': 6.137429840557695e-10,

'left': 3.900303203126747e-09,

'down': 6.624427433862227e-10,

'Salir': 6.227900154151686e-10},

(5, 2): {'up': 0.000302361248744209,

'right': 6.04744653225973e-05,

'left': 6.047206284215748e-05,

'down': 1.2099497158794266e-05,

'Salir': 6.054941599924109e-05},

(5, 8): {'up': 1.9632890206170796e-08,

'right': 3.908199761154615e-09,

'left': 3.88087829293122e-09,

'down': 7.709605265323732e-10,

'Salir': 3.8823159364437524e-09},

(6, 0): {'up': 4.846690212508207e-07,

'right': 2.4182773574956254e-06,

'left': 4.854259766226239e-07,

'down': 9.670475096492744e-08,

'Salir': 4.849764561788728e-07},

(6, 1): {'up': 2.4215471419582478e-06,

'right': 1.2055772137521546e-05,

'left': 4.87045234023981e-07,

'down': 4.869030692040297e-07,

'Salir': 2.4208324071128656e-06},

(6, 2): {'up': 6.037339681737501e-05,

'right': 2.4220779718287932e-06,

'left': 2.4131688232292055e-06,

'down': 2.4159768690565743e-06,

'Salir': 1.2076846612311439e-05},

(6, 3): {'up': 2.429973277216728e-06,

'right': 4.833835828000805e-07,

'left': 1.2052623584497211e-05,

'down': 4.864433812443275e-07,

'Salir': 2.4256707157031768e-06},

(6, 4): {'up': 4.853920889412335e-07,

'right': 4.821057493632875e-07,

'left': 2.4151347924194896e-06,

'down': 9.697391926934237e-08,

'Salir': 4.843090182623535e-07},

(6, 6): {'up': 2.7612551614261768e-11,

'right': 1.391360415768716e-10,

'left': 2.934994551856614e-11,

'down': 1.5705490004781052e-10,

'Salir': 2.8135018674099146e-11},

(6, 7): {'up': 1.302975562940108e-10,

'right': 7.795715551761514e-10,

'left': 2.6362724816481156e-11,

'down': 2.7239580206816073e-11,

'Salir': 1.4076945180842263e-10},

(6, 8): {'up': 3.927354628747526e-09,

'right': 1.5397176138879765e-10,

'left': 1.5390314140886207e-10,

'down': 1.5452324712191882e-10,

'Salir': 7.719239123058177e-10},

(6, 9): {'up': 1.5146792529242914e-10,

'right': 2.9453802676109596e-11,

'left': 7.823965711221791e-10,

'down': 3.000308691853561e-11,

'Salir': 1.5336990916515907e-10},

(6, 10): {'up': 2.4417493255323143e-11,

'right': 2.312606021620852e-11,

'left': 1.5459744050529117e-10,

'down': 5.050877761979502e-12,

'Salir': 2.7527244178066146e-11},

(7, 0): {'up': 4.866493221616616e-07,

'right': 4.789570229253177e-07,

'left': 9.612242576735847e-08,

'down': 1.8975427124853798e-08,

'Salir': 9.547978801609592e-08},

(7, 1): {'up': 2.4178354140928567e-06,

'right': 2.4170791617672948e-06,

'left': 9.761979890895543e-08,

'down': 9.759999652525634e-08,

'Salir': 4.870045547355469e-07},

(7, 2): {'up': 1.2055438314255487e-05,

'right': 4.866191056967436e-07,

'left': 4.875587755592889e-07,

'down': 4.863278662594419e-07,

'Salir': 2.426103750074057e-06},

(7, 3): {'up': 2.4157506231057495e-06,

'right': 9.759970911266166e-08,

'left': 2.4152405111488676e-06,

'down': 9.747836954930835e-08,

'Salir': 4.861843260092104e-07},

(7, 4): {'up': 4.851930718054328e-07,

'right': 9.768584107843996e-08,

'left': 4.851592313754549e-07,

'down': 1.9580473382639798e-08,

'Salir': 9.777191559963443e-08},

(7, 6): {'up': 3.031398595961258e-11,

'right': 3.092972238675006e-11,

'left': 1.563842957683326e-10,

'down': 7.839739582676531e-10,

'Salir': 1.5642695894973826e-10},

(7, 7): {'up': 1.3827941238857164e-10,

'right': 1.4175900866248151e-10,

'left': 1.5709374090125723e-10,

'down': 1.4977591985982615e-10,

'Salir': 2.9530449207536844e-11},

(7, 8): {'up': 7.803385705179025e-10,

'right': 2.9666362024515546e-11,

'left': 3.0086074053555755e-11,

'down': 2.7546998674964885e-11,

'Salir': 1.5060134568778654e-10},

(7, 9): {'up': 1.554951153333876e-10,

'right': 5.295435825499777e-12,

'left': 1.493545508139958e-10,

'down': 5.847942727553611e-12,

'Salir': 3.005271901780512e-11},

(7, 10): {'up': 2.5867278678460394e-11,

'right': 5.1760832804160064e-12,

'left': 3.092544315433694e-11,

'down': 8.638928623540356e-13,

'Salir': 4.684690742219856e-12},

(8, 0): {'up': 9.47929957414369e-08,

'right': 9.77173809514948e-08,

'left': 1.852781073708085e-08,

'down': 3.6760118143077726e-09,

'Salir': 1.8583177974913613e-08},

(8, 1): {'up': 4.855476009009023e-07,

'right': 4.855678880250378e-07,

'left': 1.9545203679264393e-08,

'down': 1.953616614885518e-08,

'Salir': 9.730870040322975e-08},

(8, 2): {'up': 2.4091594039751725e-06,

'right': 9.769461620158063e-08,

'left': 9.7732722669801e-08,

'down': 9.77832578025133e-08,

'Salir': 4.87302393208844e-07},

(8, 3): {'up': 4.8509432998479e-07,

'right': 1.952142825309502e-08,

'left': 4.839148402256902e-07,

'down': 1.9388574934118564e-08,

'Salir': 9.736886271311426e-08},

(8, 4): {'up': 9.730076650516397e-08,

'right': 3.919169442088987e-09,

'left': 9.724952195651248e-08,

'down': 3.912350356333256e-09,

'Salir': 1.958681973571653e-08},

(8, 5): {'up': 3.923273114345307e-09,

'right': 7.854775048950663e-10,

'left': 1.94970467425987e-08,

'down': 3.918516644314861e-09,

'Salir': 3.91442107168711e-09},

(8, 6): {'up': 1.5720925420205682e-10,

'right': 1.568907355180384e-10,

'left': 3.9075831543760316e-09,

'down': 1.5721786128131231e-10,

'Salir': 7.851473945104356e-10},

(8, 7): {'up': 3.0694318838083116e-11,

'right': 3.1204536472162255e-11,

'left': 7.836058679206474e-10,

'down': 3.0692506343956425e-11,

'Salir': 1.553988030653138e-10},

(8, 8): {'up': 1.542349517462149e-10,

'right': 5.99269050685857e-12,

'left': 1.5715174507443663e-10,

'down': 6.089962707051414e-12,

'Salir': 3.0500821595893695e-11},

(8, 9): {'up': 2.928493055251391e-11,

'right': 1.1537257858369372e-12,

'left': 3.137760711647222e-11,

'down': 1.151354034301048e-12,

'Salir': 5.917587161209431e-12},

(8, 10): {'up': 4.580111176812182e-12,

'right': 9.549191451778238e-13,

'left': 6.205213507475635e-12,

'down': 1.1821563017713602e-13,

'Salir': 1.0061221612636182e-12},

(9, 0): {'up': 1.907589247371689e-08,

'right': 1.9570486258299933e-08,

'left': 3.7855222402797715e-09,

'down': 7.195391461262594e-10,

'Salir': 3.828776597944452e-09},

(9, 1): {'up': 9.763682422259473e-08,

'right': 9.700959982576441e-08,

'left': 3.853191867327891e-09,

'down': 3.8080173360706125e-09,

'Salir': 1.9445149242358428e-08},

(9, 2): {'up': 4.851366865628454e-07,

'right': 1.9426180828080114e-08,

'left': 1.911744095713029e-08,

'down': 1.9062627566415015e-08,

'Salir': 9.654417032303889e-08},

(9, 3): {'up': 9.768116345973425e-08,

'right': 3.867338586274961e-09,

'left': 9.666792871148288e-08,

'down': 3.68165719616914e-09,

'Salir': 1.9224380670377565e-08},

(9, 4): {'up': 1.9560575436257572e-08,

'right': 3.852937346907734e-09,

'left': 1.898788707483004e-08,

'down': 7.563410281050512e-10,

'Salir': 3.736828688267024e-09},

(9, 6): {'up': 7.83120165635309e-10,

'right': 3.1090667601546805e-11,

'left': 1.5686993210181573e-10,

'down': 3.116892152013889e-11,

'Salir': 1.5662088630606503e-10},

(9, 7): {'up': 1.5609303933696914e-10,

'right': 6.232551517028354e-12,

'left': 1.5694692061652321e-10,

'down': 6.201457194906024e-12,

'Salir': 3.1061033814947434e-11},

(9, 8): {'up': 3.111154988958316e-11,

'right': 1.2291385880571228e-12,

'left': 3.142338532645048e-11,

'down': 1.2205815437928758e-12,

'Salir': 6.169983238216042e-12},

(9, 9): {'up': 6.101199930732393e-12,

'right': 2.3878220590842603e-13,

'left': 6.2767908748080146e-12,

'down': 2.4144560425156106e-13,

'Salir': 1.1952601724140153e-12},

(9, 10): {'up': 9.58911409981917e-13,

'right': 1.7658032234343252e-13,

'left': 1.2389181227888265e-12,

'down': 2.7096943602218416e-14,

'Salir': 2.0321517729316562e-13},

(10, 0): {'up': 3.89366400888204e-09,

'right': 3.3988157411576915e-09,

'left': 6.287212563109396e-10,

'down': 5.88319990602846e-10,

'Salir': 5.70794513212518e-10},

(10, 1): {'up': 1.958290193413525e-08,

'right': 1.7285879400117504e-08,

'left': 6.385947674399593e-10,

'down': 3.556246965273572e-09,

'Salir': 3.250335434193144e-09},

(10, 2): {'up': 9.752946625018272e-08,

'right': 3.3882443842658564e-09,

'left': 3.4718423634094375e-09,

'down': 1.8527291269882158e-08,

'Salir': 1.6727176232979666e-08},

(10, 3): {'up': 1.9532811499026658e-08,

'right': 6.399366217631953e-10,

'left': 1.7731479706277713e-08,

'down': 2.878518378535283e-09,

'Salir': 3.1178277734193897e-09},

(10, 4): {'up': 3.918556451300055e-09,

'right': 6.619032265453253e-10,

'left': 3.10059330557224e-09,

'down': 7.084349089788636e-10,

'Salir': 5.735873796862623e-10},

(10, 6): {'up': 1.5703613481384275e-10,

'right': 5.875475278602808e-12,

'left': 2.920699637712034e-11,

'down': 3.001251566101124e-11,

'Salir': 2.7895455720322114e-11},

(10, 7): {'up': 3.1335989213299006e-11,

'right': 1.04682493098265e-12,

'left': 3.013175082036146e-11,

'down': 5.915700371882286e-12,

'Salir': 5.363488488984007e-12},

(10, 8): {'up': 6.209523716886732e-12,

'right': 2.310520941409345e-13,

'left': 5.5436750371909245e-12,

'down': 1.1687679978310976e-12,

'Salir': 1.1405602803015998e-12},

(10, 9): {'up': 1.2472800191411463e-12,

'right': 4.533704572273469e-14,

'left': 1.1653555166421554e-12,

'down': 2.331197180149169e-13,

'Salir': 2.1907678259912781e-13},

(10, 10): {'up': 2.0040812691459937e-13,

'right': 2.853067946846721e-14,

'left': 2.4648294780182585e-13,

'down': 3.903671063005525e-14,

'Salir': 3.503262769570542e-14}}

In [ ]:



​

## 4. Taxi

## Para el caso del taxi, se definió un estado del sistema como una tupla conformada por las coordenadas de a casilla donde se encuentra el taxi, y adicionalmente un parámetro para conocer el estado del pasajero, cero si el pasajero se encuentra fuera del taxi, 1 si este abordo.

## Adicionalmente se definieron como atributos del ambiente el punto de recogida y el punto de entrega, con las respectivas recompensas. En la ilustración 8 se observa la modificación realizada al método constructor de la clase board():

## Texto, Carta Descripción generada automáticamente

Ilustración . Método constructor de la clase board para el problema del taxi

Se modificó también la Q-tabla, para almacenar los estados con la nueva estructura (x,y,pasajero). El código que genera la Q-tabla se muestra en la ilustración 9.

Interfaz de usuario gráfica, Texto, Aplicación

Descripción generada automáticamente

Ilustración . Método constructor de la clase q-learning(), modificado para almacenar estados (x,y,pasajero)

Como ejemplo, se definió el punto de recogida en Y, y el punto de entrega en G, de acuerdo con la ilustración 10.

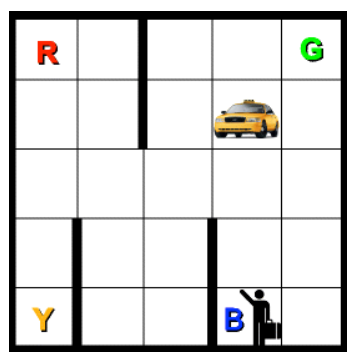


Ilustración . Tablero para el problema del taxi

Para un épsilon de 0.5 un gamma de 1, y una tasa de aprendizaje de 0.0001, 1000 episodios son suficientes para garantizar la convergencia. En la ilustración 11 se observa la política optima a la que se llega usando el algoritmo de q-learning

Interfaz de usuario gráfica, Texto

Descripción generada automáticamente

Ilustración . Política optima. El primer tablero corresponde al caso antes de recoger al pasajero, el tablero inferior al caso cuando el pasajero esta dentro del taxi.

A continuación, se muestra la Q-tabla generada; en el archivo de soporte de jupyter se encuentra el código para generarla.

{(0, 0, 0): {'up': 1.643050067988063e-12,

'right': 1.0048110166248763e-14,

'left': 1.8295501923307757e-12,

'down': 3.3295384199062896e-09,

'recoger': -0.7559401881677899,

'dejar': -0.7928444149947901},

(0, 0, 1): {'up': 2.1129703197723347e-20,

'right': 6.211345870459234e-19,

'left': 3.367983221518936e-20,

'down': 2.137343283463483e-16,

'recoger': -0.20390278562553765,

'dejar': -0.19508188827201306},

(0, 1, 0): {'up': 3.890526073455753e-15,

'right': 4.675277646879841e-15,

'left': 1.002871960564367e-12,

'down': 3.16050915224744e-11,

'recoger': -0.7697965758291392,

'dejar': -0.7476163729861213},

(0, 1, 1): {'up': 3.2779798823707883e-18,

'right': 4.2673011583006026e-19,

'left': 8.837056613516195e-21,

'down': 1.145701921547474e-14,

'recoger': -0.14691747482453243,

'dejar': -0.1557817028150161},

(0, 2, 0): {'up': 9.058354879155134e-17,

'right': 1.0247730347611781e-18,

'left': 8.211762369597657e-17,

'down': 5.110693750743289e-13,

'recoger': -1.016588296175876,

'dejar': -1.038123708221635},

(0, 2, 1): {'up': 4.0997476785602986e-07,

'right': 0.0002501138302904079,

'left': 3.05317170093397e-07,

'down': 1.6295231792378483e-08,

'recoger': -0.06578555060088898,

'dejar': -0.06479218087334275},

(0, 3, 0): {'up': 3.740409630010145e-20,

'right': 4.084971993008341e-22,

'left': 5.281118935419054e-17,

'down': 4.024100105621414e-15,

'recoger': -1.0084991816244602,

'dejar': -0.9733620987762851},

(0, 3, 1): {'up': 0.00018719290160334063,

'right': 0.024505109320582887,

'left': 1.12780623579025e-06,

'down': 3.719476270316906e-06,

'recoger': -0.2037498511689246,

'dejar': -0.2027349505575942},

(0, 4, 0): {'up': 4.13605411149125e-22,

'right': 7.300259341827101e-22,

'left': 1.6758298391422064e-19,

'down': 4.272446851129083e-18,

'recoger': -1.0828234821425258,

'dejar': -1.050662182983925},

(0, 4, 1): {'up': 0.005105266697472933,

'right': 0.004887237985800729,

'left': 0.00017155928555641234,

'down': 6.449346697673362e-05,

'recoger': -0.1804527939787698,

'dejar': 0.4758355322072677},

(1, 0, 0): {'up': 4.042731314408222e-12,

'right': 3.9932084308374056e-11,

'left': 1.885114924899196e-09,

'down': 1.5697573101501814e-06,

'recoger': -0.22445402888007254,

'dejar': -0.251788638463655},

(1, 0, 1): {'up': 1.1671412836610958e-19,

'right': 1.44616081342521e-14,

'left': 2.811315217616993e-16,

'down': 3.5649279699878096e-13,

'recoger': -0.10049666242498281,

'dejar': -0.07770045933568338},

(1, 1, 0): {'up': 1.4157875247514263e-14,

'right': 2.2372258355868868e-11,

'left': 1.764125909902277e-09,

'down': 3.100269140077674e-08,

'recoger': -0.2254315855588759,

'dejar': -0.224454030963228},

(1, 1, 1): {'up': 6.076890194913923e-18,

'right': 1.738737189010317e-14,

'left': 1.6776195759370036e-16,

'down': 2.6936531675332945e-11,

'recoger': -0.09059171218195217,

'dejar': -0.06777270034663833},

(1, 2, 0): {'up': 3.7707907204198635e-16,

'right': 1.379591906070129e-15,

'left': 2.1972179719395812e-13,

'down': 3.9338711239276305e-10,

'recoger': -0.26445371409869806,

'dejar': -0.2556873398386976},

(1, 2, 1): {'up': 1.1005918155324402e-06,

'right': 1.6924890048630954e-05,

'left': 6.217869266799543e-08,

'down': 9.107632796951482e-10,

'recoger': -0.19704271457996925,

'dejar': -0.21663000820926914},

(1, 3, 0): {'up': 1.7032745253484682e-18,

'right': 4.6879140175669105e-18,

'left': 3.564765449425349e-13,

'down': 2.8784865280727694e-12,

'recoger': -0.2508137215208081,

'dejar': -0.2517886401486559},

(1, 3, 1): {'up': 0.0007316137399069047,

'right': 5.255596564976638e-05,

'left': 7.680832778547522e-08,

'down': 1.2944129631975227e-08,

'recoger': -0.1793770778767659,

'dejar': -0.18723025254216377},

(1, 4, 0): {'up': 1.3856233983360213e-21,

'right': 3.071533994807027e-18,

'left': 5.188891554950198e-15,

'down': 1.1338241602884458e-15,

'recoger': -0.21565163901328208,

'dejar': -0.24301086162074173},

(1, 4, 1): {'up': 0.008783366490734272,

'right': 2.2112475357167462e-05,

'left': 1.281449429286749e-06,

'down': 5.767267038708054e-08,

'recoger': -0.07370962893158049,

'dejar': -0.06179020993583502},

(2, 0, 0): {'up': 7.499668570533136e-09,

'right': 2.2693472819027082e-08,

'left': 1.282418326743885e-06,

'down': 0.00020896411862018763,

'recoger': -0.2751561705508955,

'dejar': -0.2634786746533389},

(2, 0, 1): {'up': 9.517612239461626e-16,

'right': 1.200519569238744e-10,

'left': 4.003641290782161e-13,

'down': 7.3876475330193e-15,

'recoger': -0.2595844802828063,

'dejar': -0.26542726872708594},

(2, 1, 0): {'up': 1.0834089127697984e-10,

'right': 3.246625256759303e-10,

'left': 5.393603125415658e-06,

'down': 1.3506682792395016e-10,

'recoger': -0.24203504033420953,

'dejar': -0.24593764437071336},

(2, 1, 1): {'up': 8.691005445215395e-14,

'right': 6.563650216929651e-09,

'left': 3.7754184893426455e-13,

'down': 7.940664895315056e-14,

'recoger': -0.282934613664652,

'dejar': -0.24301086159477903},

(2, 2, 0): {'up': 9.059762191657356e-13,

'right': 1.991218902111882e-12,

'left': 9.176709494465168e-08,

'down': 1.1992909928566857e-12,

'recoger': -0.20586190687928227,

'dejar': -0.20390278535525588},

(2, 2, 1): {'up': 3.3234917641279225e-07,

'right': 1.9851120244501647e-08,

'left': 1.6589937787985768e-11,

'down': 3.1959348947695275e-12,

'recoger': -0.20879985357590722,

'dejar': -0.18723442170756655},

(2, 3, 0): {'up': 3.093708730962974e-15,

'right': 3.2896165034822295e-15,

'left': 9.355522511149564e-10,

'down': 5.3582488105687696e-15,

'recoger': -0.13903146051034296,

'dejar': -0.16365432162089186},

(2, 3, 1): {'up': 4.447473578838412e-06,

'right': 4.252756016247949e-08,

'left': 3.3583011662380576e-10,

'down': 3.5075965735726314e-12,

'recoger': -0.03494056260007198,

'dejar': -0.0518676168090018},

(2, 4, 0): {'up': 1.5826998630010463e-18,

'right': 5.371759174138833e-16,

'left': 2.229503734652144e-12,

'down': 2.5844918300346113e-18,

'recoger': -0.07472317403627325,

'dejar': -0.07968482002082004},

(2, 4, 1): {'up': 3.2537488201398365e-05,

'right': 1.6855533645828002e-08,

'left': 3.22795859815512e-09,

'down': 1.4833603917651118e-11,

'recoger': -0.024969994855562862,

'dejar': -0.02397239879905316},

(3, 0, 0): {'up': 1.399029475612283e-06,

'right': 3.9194705018191035e-05,

'left': 4.44039834843405e-05,

'down': 0.005252840867826942,

'recoger': -0.2361368158225462,

'dejar': -0.24393401678120066},

(3, 0, 1): {'up': 2.027972662106928e-12,

'right': 4.437256191979822e-15,

'left': 7.36146596851236e-15,

'down': 9.649405553279857e-17,

'recoger': -0.2508137215208032,

'dejar': -0.23324850399109465},

(3, 1, 0): {'up': 3.620860192197902e-08,

'right': 3.072010207741382e-13,

'left': 3.6623173574318015e-11,

'down': 3.798659278668816e-14,

'recoger': -0.05882922461754719,

'dejar': -0.05385714769323165},

(3, 1, 1): {'up': 2.381610239766984e-11,

'right': 6.824930320172594e-13,

'left': 1.9531407734279448e-14,

'down': 1.1580604716614703e-17,

'recoger': -0.052862433967443216,

'dejar': -0.05982334171289218},

(3, 2, 0): {'up': 4.122119207197471e-10,

'right': 3.380252823836848e-13,

'left': 2.731070316200764e-11,

'down': 5.168167226267834e-16,

'recoger': -0.07373054709046502,

'dejar': -0.06181127764243893},

(3, 2, 1): {'up': 1.1201416161911912e-09,

'right': 5.828563716204767e-13,

'left': 8.365654014493243e-15,

'down': 1.271613087668704e-16,

'recoger': -0.044901141750430536,

'dejar': -0.03693347763344378},

(3, 3, 0): {'up': 4.482524529159537e-12,

'right': 1.0406793344232045e-17,

'left': 4.18818131981153e-15,

'down': 5.2897518120536394e-18,

'recoger': -0.09356423739597493,

'dejar': -0.06677937828448167},

(3, 3, 1): {'up': 3.463983411495871e-09,

'right': 6.281952168992047e-12,

'left': 8.286371862578098e-13,

'down': 3.860058214642297e-17,

'recoger': -0.005998500199860423,

'dejar': -0.00499900009942332},

(3, 4, 0): {'up': 6.044727587179353e-16,

'right': 2.26325760570324e-18,

'left': 9.927233067406731e-15,

'down': 9.475470634830442e-22,

'recoger': -0.025967525985056573,

'dejar': -0.02497002298735531},

(3, 4, 1): {'up': 3.074888092448382e-08,

'right': 3.367084123870047e-12,

'left': 2.411881650683539e-13,

'down': 6.734937317887945e-16,

'recoger': -0.005998500197173102,

'dejar': -0.005998500195371351},

(4, 0, 0): {'up': 2.878653622339508e-05,

'right': 0.0008713240546958325,

'left': 0.0009701117429507349,

'down': 0.0009542743144816482,

'recoger': 0.0951671064414541,

'dejar': -0.19707738762437593},

(4, 0, 1): {'up': 2.953779460838186e-14,

'right': 7.480261656098809e-17,

'left': 9.353865306725463e-17,

'down': 9.301965253907421e-17,

'recoger': -0.26055852183516093,

'dejar': -0.26348006210510544},

(4, 1, 0): {'up': 5.5988679225894875e-11,

'right': 1.5436479280488536e-16,

'left': 7.450775069160447e-15,

'down': 1.1560937703449296e-14,

'recoger': -0.014989504548631571,

'dejar': -0.02995654057257627},

(4, 1, 1): {'up': 1.8873063655727504e-14,

'right': 6.33548745375194e-18,

'left': 1.670753396199772e-18,

'down': 3.389185789928376e-18,

'recoger': -0.0149895045486353,

'dejar': -0.01199340219950508},

(4, 2, 0): {'up': 6.355915918509115e-13,

'right': 1.6130623163047042e-16,

'left': 1.6772172892035465e-14,

'down': 1.193368361008583e-16,

'recoger': -0.027962232739534628,

'dejar': -0.01998101139515637},

(4, 2, 1): {'up': 3.704102578833615e-13,

'right': 7.219672552899752e-18,

'left': 1.0026935131837652e-18,

'down': 5.0159505076047973e-17,

'recoger': -0.003999400039998997,

'dejar': -0.0039994000399989965},

(4, 3, 0): {'up': 8.884759248667294e-15,

'right': 2.0177714039103158e-21,

'left': 2.6678982723401876e-18,

'down': 3.3802729398121048e-18,

'recoger': -0.03593707134113268,

'dejar': -0.028959436516260866},

(4, 3, 1): {'up': 1.6265734505706716e-13,

'right': 2.6310714720353727e-16,

'left': 6.714006055039431e-18,

'down': 7.784747438926675e-20,

'recoger': -0.0009999999999999838,

'dejar': 0},

(4, 4, 0): {'up': 1.6655483667445577e-18,

'right': 1.5919833469706914e-21,

'left': 8.315351703280227e-18,

'down': 1.0174803506871178e-21,

'recoger': -0.016986406797620618,

'dejar': -0.02197691539268763},

(4, 4, 1): {'up': 7.888097338492149e-12,

'right': 1.4236513049752143e-18,

'left': 8.757362823292056e-19,

'down': 2.95875361861543e-16,

'recoger': -0.002999700009999987,

'dejar': -0.005998500199984501}}

In [ ]:



​