

Aplicación de agentes reactivos simples en la simulación de árboles pertenecientes a ecosistemas colombianos

Application of simple reactive agents in the simulation of trees belonging to Colombian ecosystems

Jairo Andrés Villarraga-Morales^{1*}

Luz Deicy Alvarado-Nieto¹

RESUMEN

En este artículo se presenta el modelamiento y la simulación del proceso fotosintético realizado por el cedro negro, para esto, se tomaron en cuenta funciones básicas durante la fotosíntesis. El modelamiento y simulación se llevan a cabo mediante el uso de agentes reactivos simples “técnica propia de la inteligencia artificial” y el lenguaje de programación Java. Como resultado, se evidenció el papel que desempeña el cedro negro en regulación del proceso hidrológico y disminución del dióxido de carbono presente en el ambiente.

Palabras clave: Agentes reactivos simples, inteligencia artificial, simulación.

ABSTRACT

In this article is described the modeling and simulation of the photosynthetic process performed by a tree, In particular the black cedar, for this reason is necessary take into account the basic functions performed during the photosynthesis. The modeling and simulation are performed using simple reactive agents "own technique of artificial intelligence" and the programming language Java. Resulted, the role of a tree in the regulation of the hydrological process and the reduction of carbon dioxide present in the atmosphere is evident.

Keywords: Simple reactive agents, artificial intelligence, simulation.

¹ Universidad Distrital Bogotá, Colombia.

* Correo de contacto: javillarragam@correo.udistrital.edu.co

INTRODUCCIÓN

Colombia es un territorio rico en recursos naturales con gran diversidad de ecosistemas, tiene aproximadamente 60% de los páramos existentes a nivel mundial (GREENPEACE, 2015), además posee parte de la selva amazónica, llamada “El Pulmón del mundo” por su importante papel en la purificación del aire (Stafford, 2011). Sin embargo, anualmente se talan miles de hectáreas de árboles con el fin de destinar los suelos a actividades agrícolas o industriales, lo cual impacta de forma negativa sobre el medio ambiente (IDEAM, 2015). La degradación de ecosistemas es un punto preocupante en la actualidad, por ello es necesario crear una cultura de cuidado hacia el medio ambiente, especialmente en la población infantil.

En este sentido, al interior del Grupo de Complejidad de la Universidad Distrital, en Bogotá, Colombia, actualmente se desarrolla un aplicativo lúdico que busca simular diversos tipos de ambientes, con los cuales los niños pueden interactuar e identificar el papel que desempeña cada elemento del ecosistema. Por lo tanto, es de vital importancia simular dichos componentes, sus características y funcionalidades más relevantes.

Los agentes reactivos simples proporcionan herramientas necesarias para la simulación de ecosistemas, ya que permiten generar interacción de diversos componentes debido a que están conformados por sensores (encargados de captar los estímulos propiciados por el entorno), actuadores (componentes que transfieren información del agente hacia el entorno) y reglas de comportamiento (normas sobre las cuales se rige el agente), facilitando así, para el caso que se presenta en este documento, la representación de los elementos y comportamientos de una planta real.

EL PROCESO DE FOTOSÍNTESIS EN PLANTAS QUE POSEEN HOJAS

Al modelar una planta basándose en la arquitectura de los agentes reactivos simples es necesario: identificar qué órganos son estimulados por el entorno (sensores), cuáles generan respuestas (actuadores) y qué reglas de comportamiento regirán al agente planta, de tal manera que se logre simular el proceso de fotosíntesis.

La siguiente figura corresponde al modelamiento de una planta como agente reactivo simple:

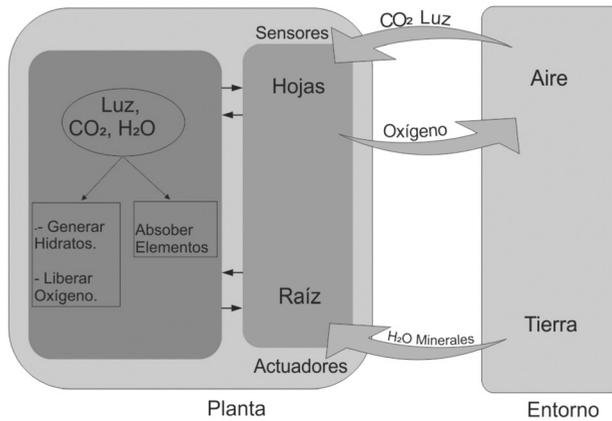


Figura 1. Modelo de una planta en el proceso de fotosíntesis. Elaboración propia
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 1 es posible identificar los elementos de la planta que actúan como sensores en el proceso de fotosíntesis, estos son:

- Hojas: absorben elementos como la luz solar y el dióxido de carbono contenidos en el aire (CONAFOR 2012).
- Raíz: se encarga de proveer agua y sales minerales presentes en el suelo a la planta de agua (Sáenz Guarín, 2012).

Además se puede observar que las hojas actúan como elementos ejecutores, pues liberan el oxígeno resultante del proceso de fotosíntesis y el agua por medio de los estomas que poseen (Sabaté, 2010).

Teniendo en cuenta que para la realización de la fotosíntesis son necesarios elementos como luz, agua y dióxido de carbono, los cuales son manipulados por la planta para posteriormente generar carbohidratos (Ocampo Fernández 2014), se establecen las siguientes reglas de comportamiento:

- En las hojas:
 1. Si las hojas reciben luz, agua y dióxido de carbono: descomponer el agua almacenando el hidrógeno que esta posee y liberar el oxígeno al ambiente; liberar agua al ambiente para evitar sequedad; almacenar dióxido de carbono y generar glucosa.
 2. Si reciben luz, pero no poseen dióxido de carbono o agua: absorber el elemento faltante.
 3. Si no reciben luz: no realizar fotosíntesis.

- En la raíz:
 1. Si el árbol tiene capacidad para almacenar agua: absorber agua del suelo.
 2. En caso contrario: no absorber agua.

Para la generación de glucosa se tiene en cuenta la ecuación (1), que corresponde a la fórmula general de la fotosíntesis (Ocampo Fernández, 2014):



MODELAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DEL AGENTE PLANTA EN JAVA

Considerando sensores, actuadores y reglas de comportamiento identificadas anteriormente, se generan los siguientes esquemas de las clases, que modelarán la implementación del agente en el lenguaje de programación Java.

Planta
- tamañoTallo: double - capacidadAgua: double - agua: double - tallo: String - raiz(capAbsorRaiz): Raiz - temperatura: double - aumentoAbsorcion: double - hojas(cantHojas,largoHoja,molesDioxido,molesAgua,porcentajeFotosintesis): ArrayList<Hojas>
+ Planta(double, double, String, double, double, double, double, double, int, double, double):void + generarFotosintesis(double,Aire):void + absorberAgua(suelo):void

Figura 2. Clase planta. Elaboración propia
Fuente: elaboración propia.

La Figura 2 representa la clase Planta con sus respectivos atributos y métodos, los cuales se describen a continuación:

- Planta: método constructor que contiene las características más importantes de dicha clase: tamaño del tallo, cantidad de hojas que posee, raíz, tallo (si es de tipo herbáceo o leñoso) y temperatura.

$$\text{capaAg} = \text{capaAg} * \text{tamTallo} * 55.56 \tag{2}$$

La ecuación (2) corresponde a la capacidad de la planta para almacenar agua, la cual se determina por el tamaño del tallo. La cantidad de agua que puede almacenar la planta está dada en litros, por tanto, se multiplica por 55.56 para realizar la conversión de litros a moles (Temple 2011), ya que los demás elementos, como oxígeno y dióxido de carbono, son manejados bajo la misma unidad de medida para los cálculos y operaciones generadas en el proceso de fotosíntesis.

- **generarFotosíntesis:** este método inicia el proceso de fotosíntesis en las hojas de la planta y además regula la cantidad de agua que ellas absorben, ya que si la temperatura ambiente aumenta se necesitará absorber más agua, en caso contrario, las hojas requerirán atrapar menor cantidad. Finalmente, utiliza la raíz para absorber agua y así llenar la capacidad de almacenamiento que posee la planta.

Hojas
<ul style="list-style-type: none"> - cantidadHojas: int - capacidadAgua: double - capacidadDioxido: double - largoHoja: double - molesAgua: double - molesAguaFotosíntesis: double - molesDioxido: double - porcentajeFotosíntesis: double
<ul style="list-style-type: none"> - + Hojas (double, double, double, double, int) - + absorberAgua(double): double - + aumentarCapacidadAgua(double): void - + disminuirCapacidadAgua(double): void - + evaporarAgua(Aire): void - + generarGlucosa(): int - + generarOxígeno(Aire): void - + realizarEtapasFotosíntesis(Aire): void

Figura 3. Clase hojas. Elaboración propia
Fuente: elaboración propia.

La clase Hojas, representada en la Figura 3, contiene los métodos necesarios para capturar elementos indispensables (agua, dióxido de carbono, luz), realizar el proceso de fotosíntesis y producir la glucosa que posteriormente será almacenada por la clase Planta. A continuación se describen los métodos de la clase Hojas:

- **Hojas:** método constructor que contiene los parámetros necesarios para la creación de un objeto de la clase Hojas, tales como: cantidad, tamaño, moles de dióxido, moles de agua y porcentaje de fotosíntesis (porcentaje del agua absorbida que será utilizada para realizar la fotosíntesis). Los parámetros moles de dióxido, moles de agua y capacidad de agua son multiplicados por la cantidad de hojas con el fin de obtener la capacidad total de absorción de dichos elementos.

$$\text{molesAguaFotosintesis} = \text{capacidadAgua} * \text{porcentajeFotosintesis} \quad (3)$$

La ecuación (3) permite calcular la cantidad de agua que se utilizará para el proceso de fotosíntesis, ya que la restante se evapora hacia el entorno.

- **absorberAgua:** este método recibe como parámetro la cantidad de agua que contiene la planta y de acuerdo a la capacidad total de absorción almacena la requerida por las hojas.
- **realizarEtapasFotosintesis:** método a través del cual se realiza el proceso de fotosíntesis, almacenando tanto las moles de agua y carbono que serán utilizadas para generar glucosa, como las de oxígeno y agua resultantes de la descomposición del dióxido de carbono que serán liberadas al ambiente.
- **generarOxigeno:** recibe como parámetro un objeto de tipo Aire al cual le adicionará el oxígeno liberado tras el proceso de fotosíntesis.
- **evaporarAgua:** al igual que generarOxigeno, este método recibe como parámetro un objeto Aire, el cual almacenará las moles de agua a evaporar.
- **aumentarCapacidadAgua** y **disminuirCapacidadAgua:** aumentarán o disminuirán la cantidad de agua que cada Hoja puede almacenar.

Raíz
- capacidadArbsocion: doublé
- aguaAbsorbida: double
+ Raíz(double)
+ absorberAgua(Suelo, double): int

Figura 4. Clase raíz.
Fuente: elaboración propia

En la Figura 4 se establece el modelo de la clase Raíz, la cual contiene los siguientes atributos: capacidadAbsorcion (cuánta agua puede absorber la raíz) y aguaAbsorbida, que corresponde a la cantidad de agua que la raíz absorbió del suelo. Los métodos que conforman a esta clase son:

- **Raíz:** constructor cuyo parámetro de entrada corresponde a la capacidad que posee la raíz para absorber agua del suelo.

- **absorberAgua:** recibe como parámetros un objeto de tipo Suelo del cual la raíz absorberá el agua requerida por la planta, y un elemento de tipo double que corresponde a la cantidad de agua requerida por la planta.

Suelo
<ul style="list-style-type: none"> - largo: int - ancho: int - humedad: double
<ul style="list-style-type: none"> - + Suelo(double, int, int) - + setHumedad(double): void - + getHumedad(double): double

Figura 5. Clase suelo.

Fuente: elaboración propia

El modelo planteado en la Figura 5 hace referencia a la clase Suelo, conformada por los atributos: largo y ancho que corresponden a las dimensiones del suelo y humedad a la cantidad de agua acumulada.

Aire
<ul style="list-style-type: none"> - co2: double - o2: double - h2o: double - temperatura: double - luz: Boolean
<ul style="list-style-type: none"> - + Aire(double, double, double, boolean, double): void - + getH2o(): double - + getCo2(): double - + getO2(): double - + getLuz(): boolean - + aumentarTemperatura(double): void - + disminuirTemperatura(double): void - + getTemperatura(): double - + disminuirCo2(double): void - + aumentarCo2(double): void - + disminuirO2(double): void - + aumentarO2(double): void - + disminuirH2o(double): void - + aumentarH2o(double): void

Figura 6. Clase aire.

Fuente: elaboración propia

La clase Aire representada en la Figura 6 contiene atributos propios: dióxido de carbono, oxígeno, agua y luz, los cuales pueden ser modificados mediante los métodos aumentar y disminuir de cada elemento o consultados con los métodos getter.

RESULTADOS

Simulando algunas características del cedro negro, el cual pertenece a diversos ecosistemas montañosos colombianos (Ospina Penagos et al, 2003), se genera la siguiente instancia:

Cedro
- aumentoAbsorcion: double = 0.11112
- capacidadAgua: double = 12.5
- cantidadHojas: int = 100
- molesDioxido: double = 0.222224
- molesAgua: double = 0.222224
- porcentajeFotosintesis: double = 0.72
- largoHoja: double = 60.0
- tamañoTallo: double = 1
- tallo: String = "madera"
- temperatura: double = 11.5
- capAbsorRaiz: double = 22.224

Figura 7. Clase cedro.
Fuente: elaboración propia

Tanto la clase Aire como la clase Suelo son representadas en las figuras 8 y 9:

AireContaminado
- co2: double = 1000.0
- O2: double = 5000.0
- h2O: double = 1000.0
- temperatura: double = 11.5
- luz: boolean = true

Figura 8. Instancia de la clase aire.
Fuente: elaboración propia

SueloBosque
- largo: int = 24
- ancho: int = 24
- tipoSuelo: String = "bosque"

Figura 9. Instancia de la clase suelo.
Fuente: elaboración propia.

Aplicando los valores de las clases anteriormente descritas y realizando la simulación para un día en el que sale el sol a las 6:00 a.m. y se oculta a las 6:00 p.m., se obtienen los datos presentados en las tablas 1, 2, 3 y 4:

TABLA 1. VALORES DEL FLUJO DE AGUA ABSORBIDA POR LAS HOJAS DEL CEDRO NEGRO Y LIBERADA AL MEDIO AMBIENTE

Hora	H ₂ O absorbida (moles)	H ₂ O del árbol (moles)	H ₂ O generada (moles)
6	22.224	694.500	6.22271999
7	33.336	683.388	9.3340800
8	44.448	661.164	12.4454399
9	55.560	627.828	15.5568000
10	66.672	583.3800	18.6681600
11	77.7839	527.8200	21.7795199
12	88.8959	461.1480	24.8908799
13	77.7839	405.5880	21.7795199
14	66.672	361.14000	18.6681600
15	55.5599	327.80400	15.5568000
16	44.4479	305.58000	12.445439999
17	33.3359	294.46800	9.33408000
18	22.2239	294.46800	6.22271999

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 1 se puede observar que el agua liberada al ambiente (H₂O generada) corresponde aproximadamente a 28% del agua absorbida por las hojas. Por ejemplo, al tomar los valores correspondientes a la hora 17 en la Tabla 1 y multiplicar 33.3359×0.28 se obtiene 9.33405, lo cual es un resultado aproximado a 9.33408, mas no exacto, debido al error de redondeo que poseen los valores.

TABLA 2. VALORES DEL O₂ Y GLUCOSA GENERADOS TRAS EL PROCESO DE FOTOSÍNTESIS REALIZADO POR LAS HOJAS DEL CEDRO NEGRO.

Hora	Temperatura (°C)	CO ₂ absorbido (moles)	O ₂ generado (moles)	Glucosa (moles)
6	11.5	16.00128	16.00128	2
7	12.5	24.00192	24.00192	6
8	13.5	32.00256	32.00256	12
9	14.5	40.00320	40.00320	18
10	15.5	48.00384	48.00384	26
11	16.5	56.004479	56.004479	36
12	17.5	64.0051199	64.0051199	46
13	16.5	56.004479	56.004479	56
14	15.5	48.00384	48.00384	64
15	14.5	40.00319	40.00319	70
16	13.5	32.002559	32.002559	76
17	12.5	24.001919	24.001919	80
18	11.5	16.001279	16.001279	82

Fuente: elaboración propia.

Al analizar la Tabla 2 se evidencia el aumento o disminución del proceso de fotosíntesis en función de la temperatura ambiente.

TABLA 3. VALORES DEL CO₂, O₂ Y H₂O PRESENTES EN EL AIRE.

Hora	O ₂ (moles)	CO ₂ (moles)	H ₂ O (moles)
6	5016.00128	983.99872	1006.22272
7	5040.0032	959.9968	1015.5568
8	5072.00576	927.99424	1028.00224
9	5112.00896	887.99104	1043.55904
10	5160.0128	839.9872	1062.2272
11	5216.01728	783.982720	1084.00672
12	5280.0224	719.9776	1108.8976
13	5336.026879	663.97312	1130.67712
14	5384.03072	615.96928	1149.34528
15	5424.03392	575.96608	1164.90208
16	5456.03648	543.96352	1177.34752
17	5480.03839	519.9616	1186.6816
18	5496.03968	503.96032	1192.90432

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 3 contiene datos correspondientes a elementos, oxígeno y dióxido de carbono presentes en el aire. En ella se observa una relación entre el CO₂ y el O₂, ya que si se resta cualquier valor de la columna O₂ (x₁) con el valor inmediatamente anterior de la misma columna (x₂) y a su vez, esta diferencia es restada al valor de la columna CO₂ ubicado en la fila anterior (y₂) se obtiene el valor de la columna CO₂, correspondiente a la fila del valor actual de la columna O₂ (y₁). Del anterior análisis se genera la siguiente ecuación:

$$y_1 = y_2 - (x_1 - x_2) \quad (4)$$

Por ejemplo, al tomar los valores 5040.0032, 5016.00128, 983.99872 y reemplazarlos en la Ecuación (4) se obtiene el siguiente resultado:

$$\begin{aligned} y_1 &= 983.99872 - (5040.0032 - 5016.00128) \\ y_1 &= 983.99872 - (24.00192) \\ y_1 &= 959.9968 \end{aligned}$$

Este resultado muestra que y₁ es igual al valor correspondiente en la fila 2 de la columna CO₂.

TABLA 4. CANTIDAD DE AGUA PRESENTE EN EL SUELO.

Hora	H ₂ O (moles)
6	3866.976
7	3844.752
8	3822.528
9	3800.30399
10	3778.07999
11	3755.85599
12	3733.631999
13	3711.407999
14	3689.1839999
15	3666.959999
16	3644.735999
17	3622.511999
18	3600.287999

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 4 corresponde a la cantidad de agua que contiene el suelo, la cual disminuye a medida que pasa el tiempo debido al agua absorbida por el cedro negro.

CONCLUSIONES

Durante la simulación se mostró de forma sencilla el ciclo completo de la fotosíntesis, donde se evidencia cómo los árboles absorben, procesan y liberan agua desde y hacia el ambiente, lo que los convierte en reguladores del ciclo hídrico presente en todos los ecosistemas del planeta.

De igual forma, se corroboró el papel que las plantas desempeñan como entes purificadores del aire, capturando el dióxido presente en el ambiente para descomponerlo y posteriormente liberar oxígeno, elemento indispensable para los seres vivos.

El uso de agentes reactivos simples permitió simular la interacción de los componentes que hacen parte de la planta con el entorno que la rodea, lo que conllevó a la emergencia de comportamientos complejos no programados, como la purificación del aire y el papel de los árboles en el ciclo hídrico.

Este primer acercamiento a la simulación de elementos y comportamiento de un árbol permiten evidenciar que sí es posible usar agentes reactivos simples para simular ecosistemas, obteniendo resultados cercanos a la realidad.

La posibilidad de presentar, de manera lúdica a las nuevas generaciones, el conocimiento de las estrechas relaciones que existen entre los elementos pertenecientes a un ecosistema y los posibles resultados de alterar dichos elementos, puede convertirse en una herramienta que contribuya a concientizar acerca del cuidado del medio ambiente.

REFERENCIAS

- CONAFOR (2012), “La Fotosíntesis”. [En línea], disponible en: <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Fotosintesis.pdf> (consultado el 5 Febrero 2015).
- GREENPEACE (2015), “Greenpeace convoca a los colombianos a ‘Aduenarse de los páramos’”. [En línea], disponible en: <http://www.greenpeace.org/colombia/es/Noticias/Greenpeace-convoca-a-los-colombianos-a-Aduenarse-de-los-paramos/> (consultado el 12 Febrero 2016).
- IDEAM (2015), “Monitoreo y seguimiento del estado de la calidad de los suelos”. [En línea], disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/monitoreo-seguimiento-estado-calidad-suelos> (consultado el 10 Febrero 2015).
- Ocampo Fernández, N. (2014), “Fotosíntesis”. [En línea], disponible en: http://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Lectura/bachillerato/documentos/2014/LECT110.pdf (consultado el 10 Febrero 2016).
- Ospina Penagos, C. M., Hernández Restrepo, R. J. & Aristizabal Valencia, F. A. & O. (2003), *El cedro negro, una especie promisoriosa de la zona cafetera*. Cenicafé, p. 40.
- Red Agrícola (2014), “La raíz es el cerebro de la planta” (Darwin) Manejos y productos para potenciar el desarrollo radicular. [En línea], disponible en: <http://www.redagricola.com/>

- reportajes/frutales/la-raiz-es-el-cerebro-de-la-planta-darwin-manejos-y-productos-para-potenciar-el- (consultado el 9 Febrero 2016).
- Sabaté, S. (2010), “Los bosques y la evapotranspiración”. [En línea], disponible en: https://aca.web.gen.cat/cat/aca/documents/es/publicacions/impactes_hidrologics/capitol9_lowress.pdf (consultado el 7 Febrero 2016).
- Sáenz Guarín, J. E. (2012), “La fotosíntesis, concepciones, ideas alternativas y analogías. Unidad didáctica dirigida a estudiantes de los ciclos 3 y 4 de educación básica del colegio José María Carbonell”. [En línea], disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/7577/1/jorgeenrique_saenzguarin.2012.pdf (consultado el 9 Febrero 2016).
- Stafford, E. (2011), “Caminando el Amazonas. Londres: Penguin Books. Temple, V. J., 2011. University of PNG School of Medicine and Health Sciences Biochemistry and Molecular Biology”. [En línea], disponible en: <http://www.victorjtemple.com/MBBS%20PBL%20Acid%20Bases%20Buffers%20Gastric%20Acid.pdf> (consultado el 8 Febrero 2016).
- UNAD (2013), “Lección 3: Ecosistemas boscosos”. [En línea], disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201030/Contenidoline/leccin_3_ecosistemas_boscosos.html (consultado el 2 Febrero 2016).