

# Actividad 3 - Incendio forestal

Exactas Programa

Verano 2019

La idea es modelar la dinámica de un bosque. La dinámica consta de que crezcan árboles y que por medio de incendios, estos mueran. Para ello usaremos el modelo de incendio forestal propuesto por Bak y col. en 1990 y Drossel y Schwabl en 1992.

Representaremos un bosque como una grilla de  $n$  celdas en una dimensión (numeradas del 0 al  $n - 1$ ). Cada celda puede estar en tres estados posibles:

- 0** representa una posición vacía;
- 1** representa un árbol; y
- 1** representa un árbol quemado.

Inicialmente todas las celdas del bosque están vacías. En la dinámica se suceden cuatro momentos o épocas:

1. **Época primaveral o de brotes:** Cada celda vacía tiene probabilidad  $p$  de que le brote un árbol.
2. **Época de caída de rayos:** con probabilidad  $f$  caen rayos en el bosque y si había un árbol donde cayó un rayo, este árbol se quema (por lo que el bosque resultante tendrá lugares vacíos, árboles vivos y árboles quemados).
3. **Época de incendios:** se propaga el incendio todo lo posible. Cada árbol quemado propaga el fuego a los árboles vecinos vivos inmediatos (el de la derecha y el de la izquierda). Nota: la propagación termina cuando no queda ningún árbol quemado que pueda propagar el fuego.
4. **Época de limpieza:** se tiran abajo los árboles quemados y esas celdas pasan a estar vacías nuevamente.

La implementación de las cuatro etapas, cada una con su regla, cierra un ciclo anual, al fin del cual se cuenta la cantidad de árboles que sobrevivieron ese año. Desarrollemos algunas funciones que pueden ser útiles para implementar el modelo.

1. Represente el estado del bosque mediante una lista denominada `bosque` de  $n$  elementos ( $n = 10$  por ejemplo), donde cada elemento representa una celda. Llamemos *bosque vacío* a un bosque que sólo tenga celdas vacías, *bosque limpio* a un bosque que sólo tenga celdas vacías y árboles vivos, *bosque quemado* a un bosque que tenga celdas vacías, árboles vivos y árboles quemados. Genere un bosque de cada tipo.
2. Implemente la función `brotes(bosque, p)` que a partir de un bosque y de un valor real  $p$  genere un árbol en cada celda vacía con probabilidad  $p$  de dicho bosque. Corra la función `brotes` empezando con un bosque vacío de  $n = 10$  celdas y probabilidad  $p = 0,6$ . ¿Cuántos árboles brotaron en total? Si corre nuevamente la función sobre el mismo bosque inicial, ¿cuántos árboles brotaron? Pruebe correr la función con un bosque limpio y con uno vacío.

Idea: construir una función `suceso_aleatorio(prob)` que genera un número al azar y devuelve `True` ó `False` de manera de satisfacer la probabilidad indicada como parámetro.

3. Construya la función `cuantos(bosque, tipo_celda)` que devuelve la cantidad de celdas que hay en el bosque de la categoría `tipo_celda`. Por ejemplo `cuantos(bosque, 1)` devuelve la cantidad de árboles vivos, `cuantos(bosque, -1)` devuelve la cantidad de árboles quemados y `cuantos(bosque, 0)`, la cantidad de celdas vacías.

Ayuda: explore la función `una_lista.count(0)` cuando se aplica a la lista `una_lista`.

4. Implemente la función `rayos(bosque, f)` que realiza la caída de rayos en un bosque con probabilidad  $f$ . Suponga que en cada celda hay una probabilidad  $f$  de que caiga un rayo, si en la celda había un árbol y cayó un rayo, entonces el árbol se quema (la celda pasa del estado 1 al estado -1), si la celda estaba vacía y cayó un rayo, no pasa nada (sigue en estado 0). Pruebe correr la función con diferentes bosques con  $n = 100$  celdas (por ejemplo un bosque completamente lleno de árboles y un bosque limpio que tenga la mitad de las celdas ocupadas por árboles). ¿Qué fracción de árboles resultan quemados?
5. Implemente la función `propagacion(bosque)` que realiza la fase de propagación de incendios en un bosque. Luego de aplicar esta función en el bosque no queda ningún árbol vivo que sea vecino de un árbol quemado. Pruebe correrla para los siguientes bosques:

- estado del `b_1` = [1, 1, 1, -1, 0, 0, 0, -1, 1, 0]
- estado del `b_2` = [-1, 1, 1, -1, 1, 1, 0, 0, -1, 1]

6. Implemente la función `limpieza(bosque)` que reemplaza los árboles quemados por celdas vacías.
7. Implemente el programa de incendio forestal para un  $p$  y  $f$  fijos repitiendo varias veces ( $n\_rep = 50$ ) la dinámica anual del bosque, y calcule la cantidad de árboles que sobreviven (la producción) en promedio sobre todos los pasos de tiempo.

- Genere un bosque vacío de  $n = 100$  celdas.
- En cada paso de tiempo  $t$  desde 1 hasta  $n\_rep$  implemente la dinámica del bosque:
  - a) **Primavera:** haga brotar árboles con probabilidad  $p$  en el bosque, obtenga un bosque limpio.
  - b) **Rayos:** simule que caen rayos con probabilidad  $f$  sobre un bosque limpio (si la celda donde cayó un rayo estaba ocupada por un árbol, el árbol se quema), obteniendo un bosque quemado.
  - c) **Propagación incendio:** simule la propagación del fuego a partir del bosque quemado que resulta de 2), obteniendo un bosque quemado en su máximo alcance.
  - d) **Limpieza:** los árboles quemados pasan a estar vacíos (las celdas en estado -1 vuelven al estado 0), obteniendo un bosque limpio nuevamente.
- Cuente y registre la cantidad de árboles que sobreviven en el bosque obtenido y vuelva a la *primavera* con el bosque actual.

8. ¿Cuál es el valor óptimo de  $p$  (el que da lugar a una producción máxima de árboles) para una probabilidad  $f = 0,02$  de caída de rayos? Para eso, corra el programa de incendio forestal para diferentes valores de  $p$ , variando  $p$  de 0 a 1 como se mencionó en la clase. Graficar este análisis.

9. (optativo\*) **Dinámica evolutiva.** En esta versión del modelo se permite que haya una heterogeneidad en el bosque: no todas las celdas tienen la misma probabilidad de hacer brotar árboles. Cada celda usa su propio valor de  $p$  para hacer brotar árboles y en cada paso de tiempo  $t$ , después de la propagación del incendio y antes de la época de limpieza, cada celda en la que había un árbol en la época de primavera modifica su valor de  $p$ :

- si el árbol sobrevivió entonces  $p$  de la celda aumenta en 0,05.
- si el árbol no sobrevivió, entonces  $p$  de la celda disminuye en 0,05.

Las celdas donde no había árbol mantienen su valor de  $p$ . En un bosque de  $n = 100$  celdas, inicialice un valor de  $p$  para cada celda; por ejemplo,  $p = 0,5$  para cada celda, o un número al azar entre 0 y 1 para cada celda. Guarde la información en una lista *pes*. Simule la dinámica de propagación de incendios evolutiva con una probabilidad de caída de rayos fija de  $f = 0,1$ . Compare los resultados obtenidos con la dinámica simple. Por ejemplo, evalúe la distribución final de  $p$  para la grilla de celdas. Grafique la cantidad de árboles que sobrevive en cada año en función del tiempo. ¿Cuál es la producción promedio en cada caso?

10. (optativo\*\*) **Otras dinámicas.** Suponga que cada árbol vivo representa a una persona sana y cada árbol quemado a una persona enferma. La propagación del fuego es ahora la propagación de la enfermedad y agregue la siguiente regla: después de la propagación, elegimos al azar dos lugares  $i$  y  $j$  y si en uno de los lugares había una persona sana y en el otro una enferma, la persona sana se contagia, luego se vuelve propagar la enfermedad. Simule la propagación de la enfermedad y evalúe el valor óptimo de probabilidad de  $p$  que hace que se maximice la cantidad de personas sanas, con un valor de  $f$  fijo en  $f = 0,02$  (probabilidad de enfermarse).