

NETLOGO.
ESTUDIO DE UNA HERRAMIENTA
(AGENTES, SIMULACIÓN, ANÁLISIS
DE DATOS)

**INTELIGENCIA AMBIENTAL Y
SISTEMAS MULTIAGENTE 2024**

MARTA DE CASTRO LEIRA

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1. Introducción | 3 |
| 2. Funcionamiento de NetLogo | 3 |
| 3. Descripción del Modelo | 4 |
| 3.1. Objetivos | 4 |
| 3.2. Propiedades de los agentes | 5 |
| 3.3. Procedimientos principales | 5 |
| 3.3.1. Configuración inicial | 5 |
| 3.3.2. Ejecución de simulaciones | 6 |
| 3.3.3. Interacción de ciudadanos | 6 |
| 3.4. Lógica del modelo | 6 |
| 3.5. Elección de Variables y Reglas | 6 |
| 4. Controles y elementos en la interfaz | 6 |
| 4.1. Botones | 7 |
| 4.2. Deslizadores | 7 |
| 4.3. Monitores | 7 |
| 4.4. Gráficos | 7 |
| 5. Experimentos | 8 |
| 5.1. Prueba 1 | 8 |
| 5.2. Prueba 2 | 9 |
| 6. Comparación de experimentos | 11 |
| 7. Discusión y líneas futuras | 11 |
| 8. Bibliografía | 15 |
| 9. Código | 13 |

1. INTRODUCCIÓN

Este informe analiza cómo puede utilizarse una simulación de NetLogo para comprender las prácticas de reciclaje de una ciudad. Esta herramienta modela un sistema eficaz de gestión de residuos que evalúa la interacción entre los ciudadanos y los contenedores.



La simulación que se llevará a cabo mostrará cómo las decisiones individuales afectan al sistema metropolitano de reciclaje en su conjunto. Esto es posible gracias a que permite la exploración de múltiples escenarios y factores. Esto facilita la identificación de técnicas que fomenten el reciclaje y mejoren la sostenibilidad urbana.

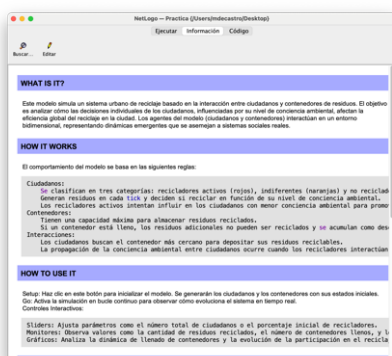
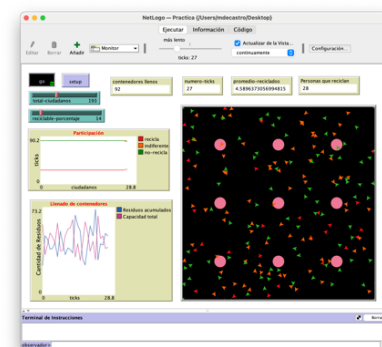
2. FUNCIONAMIENTO DE NETLOGO

NetLogo permite modelar y simular sistemas complejos de manera visual e interactiva, lo que facilita la comprensión de sus dinámicas y comportamientos emergentes. Todo esto se basa en agentes: *turtles* (tortugas), *patches* (parches) y *links* (enlaces), que actúan de acuerdo con reglas preprogramadas que representan comportamientos tanto individuales como de grupo.

Los parches son donde se producen las interacciones y conforman la cuadrícula bidimensional del entorno de NetLogo. Por otra parte, las tortugas son los agentes móviles que realizan acciones, y los enlaces permiten establecer relaciones duraderas entre los agentes, aunque no se utilizan en este proyecto.

NetLogo está estructurado en tres áreas principales que facilitan su uso y análisis:

1. **Ejecutar:** Es el panel interactivo donde se controlan las simulaciones. Aquí se encuentran los botones, monitores, gráficos y visualizaciones que muestran el estado del sistema en tiempo real.



2. **Información:** Esta sección contiene una descripción del modelo, su propósito, y las instrucciones necesarias para comprender su funcionamiento y su forma de interactuar con él. Es útil tanto para los desarrolladores como para los usuarios que ejecutan el modelo.

3. **Código:** aquí se escribe y edita el código del modelo. Utilizando un lenguaje de programación sencillo y accesible, se diseñan las reglas que rigen el comportamiento de los agentes y el entorno.



El funcionamiento general incluye las siguientes etapas clave:

1. **Configuración del modelo:** se definen los agentes, el entorno y las reglas de interacción utilizando el editor de código.
2. **Ejecución de simulaciones:** una vez configurado, el modelo se ejecuta desde la sección «Ejecutar». Los agentes interactúan en el entorno según las reglas programadas y el comportamiento global surge de las interacciones individuales.
3. **Exploración de escenarios:** NetLogo permite modificar los parámetros iniciales, como la proporción de ciudadanos recicladores o la capacidad de los contenedores. Esto facilita la simulación de diferentes escenarios y el análisis de su impacto en el sistema.
4. **Análisis de resultados:** durante la ejecución, NetLogo genera datos visuales en forma de gráficos y monitores en tiempo real. En este proyecto, por ejemplo, se puede observar la cantidad de contenedores llenos, el porcentaje de ciudadanos recicladores y las tendencias de participación a lo largo del tiempo.

3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En este caso, la simulación que se realizará con la aplicación NetLogo es un modelo de reciclaje que examina cómo responden los habitantes de una ciudad a esta práctica. Los participantes del modelo son los ciudadanos y los contenedores, cuyas interacciones permiten examinar la influencia de las elecciones personales y de la distribución de los contenedores en los niveles de reciclado. La flexibilidad de NetLogo permite ajustar el modelo para observar cómo cambios en el comportamiento individual pueden tener un gran impacto en el sistema global.

3.1. Objetivos

1. Modelar el comportamiento de reciclaje de los ciudadanos: examinar cómo influye la conciencia medioambiental de los ciudadanos en sus decisiones individuales y colectivas de reciclaje.
2. Examinar cómo se distribuyen los residuos reciclados: identificar la cantidad de residuos que realmente se reciclan y cómo esto se relaciona con el nivel de participación de los ciudadanos.

3. Evaluar la eficacia del sistema de reciclaje: determinar cómo la capacidad y disponibilidad de los contenedores afectan a la cantidad de residuos reciclados.
4. Medir la participación ciudadana: examinar cómo afectan los distintos niveles de conocimiento de los ciudadanos al reciclaje en general y a la dinámica de reciclaje de la ciudad.



3.2. Propiedades de los agentes

Las características específicas de los agentes de la simulación son las siguientes:

- **Ciudadanos**
 - Recicla: variable booleana que indica si el ciudadano recicla o no.
 - Nivel de conciencia: define su predisposición a reciclar y puede cambiar con el tiempo.
- **Contenedores**
 - Capacidad: capacidad máxima de almacenamiento.
 - Residuos acumulados: residuos almacenados en este momento.

3.3. Procedimientos principales

En esta sección se explican los procedimientos básicos que permiten que el modelo de simulación alcance sus objetivos. Cada paso, desde la configuración inicial hasta la interacción entre residentes y contenedores, representa una faceta distinta del comportamiento y la dinámica del reciclaje. A continuación, se describen en profundidad cada una de ellas:

3.3.1. Configuración inicial (*Setup*)

El proceso de configuración establece el entorno y los componentes esenciales del modelo, y los inicializa antes de que comience la simulación:

1. Se establecen las métricas requeridas, incluida la producción de basura, el reciclaje y las tasas de participación.
2. Creación de agentes:
 - Ciudadanos: verdes (sin conciencia de reciclaje), naranjas (conciencia media) y rojos (recicladores activos)
 - Contenedores: se colocan en las zonas designadas y tienen distintas capacidades para contener la basura reciclable.

3. Se habilitan gráficos para hacer un seguimiento en tiempo real y se configura un archivo CSV para capturar los datos durante la simulación.

3.3.2. Ejecución de simulaciones (go)

El proceso go lleva a cabo las dinámicas principales de la simulación y representa las interacciones entre los ciudadanos y los contenedores:

1. La cantidad de residuos que genera un ciudadano es aleatoria.
2. En función de su concienciación, los ciudadanos deciden si reciclan o no.
3. Intentan reciclar en contenedores cercanos, teniendo en cuenta su capacidad disponible.
4. Tras cada interacción, se actualizan los totales de residuos reciclados, la participación en el reciclaje y la cantidad de contenedores llenos.
5. Los resultados se exportan a un archivo CSV y se representan en un gráfico en tiempo real para analizar tendencias.

3.3.3. Interacción entre ciudadanos (interactuar-con-ciudadanos)

Con esta función se añade un componente social al modelo, que simula cómo los ciudadanos que reciclan (de color rojo) conciencian progresivamente a su entorno. El contador de conversiones y las estadísticas de participación se actualizan cuando un ciudadano que no recicla (naranja o verde) alcanza un nivel de concienciación de 1 y su estado cambia a activo (rojo).

3.4. Lógica del modelo

La lógica que rige el comportamiento de los ciudadanos está vinculada a su nivel de conciencia y a la decisión de reciclar.

- Nivel de conciencia: define la probabilidad de que un ciudadano recicle. Este nivel varía según la categoría del ciudadano y puede aumentar con las interacciones.
- Categorías de ciudadanos:
 - Rojos: siempre reciclan un porcentaje fijo de los residuos generados.
 - Naranjas: tienen una conciencia intermedia y reciclan según su nivel de conciencia, el cual puede aumentar con interacciones.
 - Verdes: no reciclan inicialmente, pero pueden convertirse en *rojos* si aumentan su nivel de conciencia.

Los ciudadanos intentan reciclar en el contenedor más cercano. Si el contenedor está lleno, los residuos no se reciclan, lo que afecta los resultados globales.

3.5. Elección de Variables y Reglas

La selección de variables y reglas en este modelo responde a la necesidad de representar de forma sencilla, pero efectiva, los factores clave que influyen en el reciclaje urbano. A continuación, se explican las razones detrás de esta elección:

Variables seleccionadas

- **Nivel de conciencia:** Es un factor crucial en la decisión de reciclar, ya que refleja cómo la percepción ambiental de los ciudadanos afecta su comportamiento individual y colectivo. Además, permite modelar cómo las interacciones sociales pueden modificar esta conciencia con el tiempo.
- **Capacidad de los contenedores:** Representa la limitación física del sistema de reciclaje y su impacto en la eficacia general. Esta variable es fundamental para evaluar si el sistema puede manejar los volúmenes de residuos generados.
- **Tasas de reciclaje y residuos generados:** Reflejan la interacción real entre los ciudadanos y el sistema, permitiendo observar el balance entre generación y reciclaje de residuos.

Justificación de las reglas actuales

- **Aumento del nivel de conciencia:** El nivel de conciencia puede incrementarse gracias a las interacciones sociales entre los ciudadanos, lo que refleja un fenómeno de aprendizaje colectivo observado en estudios de comportamiento social. Esto fomenta una adopción progresiva del reciclaje.
- **Comportamiento según categorías de ciudadanos:** Dividir a los ciudadanos en recicladores activos (rojos), indiferentes (naranjas) y no recicladores (verdes) permite simular distintos niveles de compromiso inicial y sus efectos en el sistema.
- **Reglas de saturación de contenedores:** La capacidad limitada de los contenedores añade una restricción realista que impulsa la necesidad de optimizar su distribución.

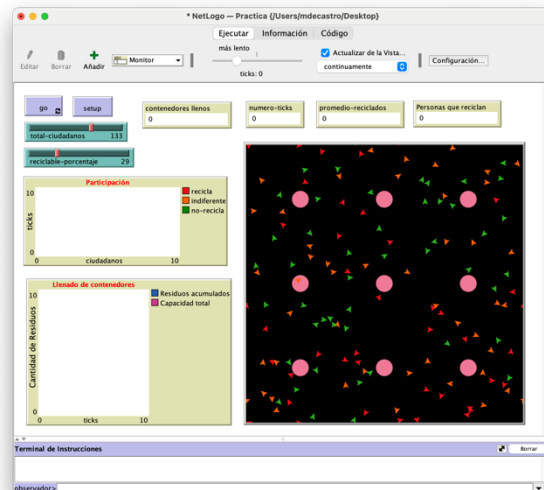
Esta sección justifica cómo las variables y reglas seleccionadas permiten un análisis integral del reciclaje en un entorno urbano, proporcionando una base sólida para la simulación y el análisis.

4. CONTROLES Y ELEMENTOS EN LA INTERFAZ

El modelo incluye varios controles y elementos interactivos que facilitan la configuración, ejecución y análisis de la simulación:

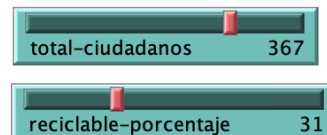
4.1. Botones:

1. **Setup:** este botón pone en marcha la simulación al crear los ciudadanos y contenedores en el espacio, establecer las variables iniciales y configurar los archivos para la exportación de datos. Este botón activa directamente la función de Setup.
2. **Go:** activa la simulación en bucle y permite observar la evolución del sistema en tiempo real.



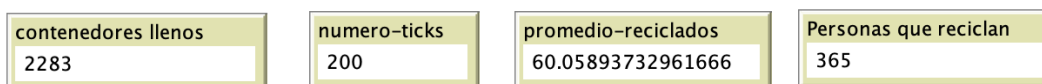
4.2. Deslizadores:

1. **Total de ciudadanos:** regula el número total de ciudadanos durante la simulación.
2. **Porcentaje reciclable:** indica la proporción inicial de personas que pueden reciclar sobre el total de ciudadanos.



4.3. Monitores:

1. **Contenedores llenos:** esta cifra representa la cantidad de contenedores con un nivel de capacidad del 0, lo que significa que no pueden admitir más residuos.
2. **Ticks:** indica cuántas iteraciones han pasado desde que comenzó la simulación.
3. **Promedio de reciclados:** indica la cantidad media de residuos que se reciclan por persona.
4. **Personas que reciclan:** muestra el número total de ciudadanos que reciclan en este momento.



4.4. Gráficos:

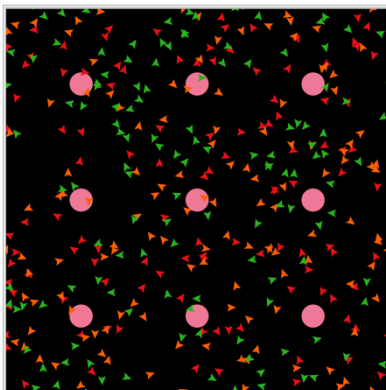
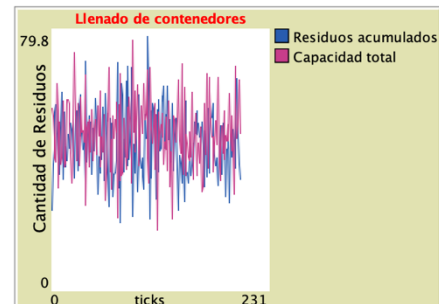
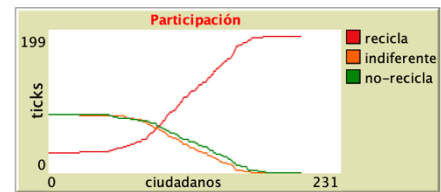
Gráfico de participación: muestra cuánta gente recicla.

- **Línea roja (recicla):** muestra la cantidad de ciudadanos que reciclan.
- **Línea naranja (indiferente):** representa a los ciudadanos con conciencia intermedia.
- **Línea verde (no recicla):** indica el número de ciudadanos que no reciclan.

Gráfico de llenado de contenedores: muestra la relación entre la capacidad de los contenedores y la producción de basura.

- Línea azul (Residuos acumulados): representa la cantidad total de basura acumulada en los contenedores durante la simulación.
- Línea morada (Capacidad total): representa la capacidad total de los contenedores.

Permite comparar el volumen de basura acumulada con la capacidad disponible.



El movimiento y la distribución de los agentes se muestran en el espacio bidimensional de la interfaz. Los ciudadanos se simbolizan con triángulos rojos, naranjas y verdes, y los contenedores, con círculos rosas.

5. EXPERIMENTOS DE PRUEBA

5.1. Prueba 1: baja participación en el reciclaje

En esta primera simulación, solo participa inicialmente el 10 % de la población (10 ciudadanos que reciclan). La simulación se ejecuta durante 200 ticks, lo que es suficiente para observar cómo cambia el comportamiento de los grupos de ciudadanos.

- **Activos:** al principio eran 10 ciudadanos, pero al final aumentaron hasta 23. Esto sugiere que, aunque el reciclaje se extendió, la escasa implicación inicial ralentizó el ritmo del cambio.
- **Indiferentes:** este grupo, que se mantuvo alto durante la simulación, representa a la gran mayoría de personas que no reciclaron por completo.
- **No recicladores:** se mantuvieron como un grupo significativo, lo que indica una resistencia al cambio.

Por otra parte, se registraron 488 contenedores llenos durante la simulación. El sistema de reciclaje no pudo gestionar eficazmente el volumen de residuos reciclables generados, debido al bajo compromiso inicial de los ciudadanos con esta práctica. La escasa participación provocó que la capacidad de los contenedores se agotara rápidamente, dejando residuos reciclables sin procesar y generando una saturación constante en el sistema.

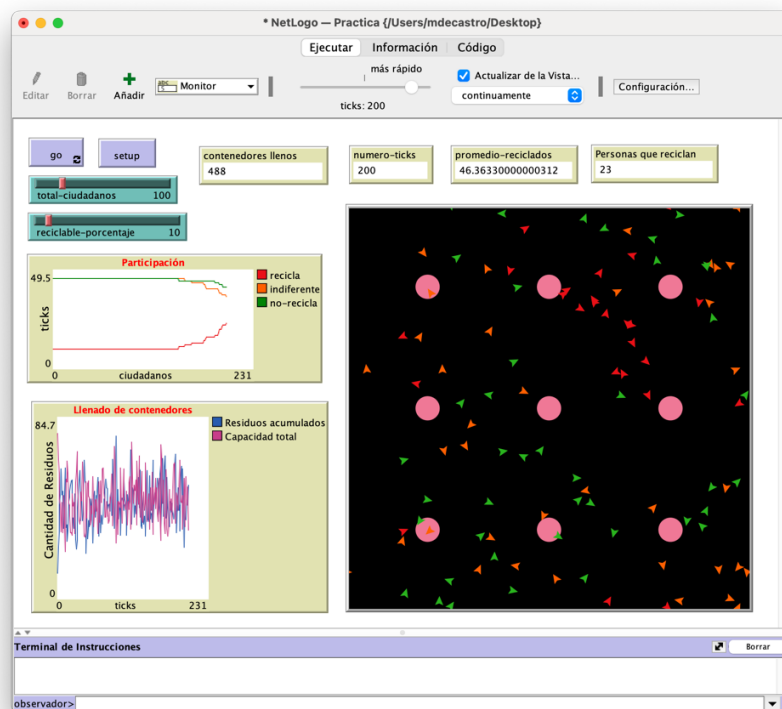
El rendimiento del reciclaje es bajo, con una media de 46,36 residuos reciclados por cada ciudadano.

Gráfica de llenado de contenedores:

- Los residuos acumulados (azul) y la capacidad total (rosa) están muy cercanos, lo que indica que el sistema opera al límite de su capacidad.

Gráfica de participación:

- La curva roja (activos) muestra un aumento lento y limitado, mientras que las curvas naranja y verde (indiferentes, no recicladores) se mantienen altas y hacia el final descienden ligeramente.



La alta cantidad de contenedores llenos refleja una gestión ineficiente de los residuos, ya que la falta de participación impidió que los recicladores se hicieran cargo de la generación total de residuos. Los avances significativos se vieron obstaculizados por la baja tasa de inicio de los ciudadanos activos y la resistencia al cambio de los no recicladores, a pesar de que algunos ciudadanos sí modificaron su actitud hacia el reciclaje.

Con un 10% de recicladores al inicio, no fue posible generar un cambio significativo en la dinámica del reciclaje. En conclusión, esta simulación pone de manifiesto lo crucial que es contar con un nivel de compromiso inicial suficiente para garantizar la sostenibilidad y eficacia del sistema de reciclaje.

5.2. Prueba 2: alta participación en el reciclaje

En esta simulación, el 80% de los ciudadanos (80 de 100) son ciudadanos que reciclan, lo que indica un gran compromiso inicial. Esto nos permite evaluar el rendimiento del sistema de reciclaje en circunstancias óptimas. La simulación se repitió durante 200 ticks.

- **Activos:** se comenzó con 80 recicladores (80%) y se finalizó con 100 recicladores (100%), lo que demuestra que todos los ciudadanos habían adoptado plenamente el reciclaje.
- **Indiferentes y no recicladores:** estos grupos desaparecieron por completo a lo largo del experimento, lo que sugiere que todos los ciudadanos se sumaron al reciclaje.

Durante la simulación, se registraron 625 contenedores llenos, lo que indica una intensa actividad de reciclaje a lo largo del tiempo. Esta cifra evidencia el uso constante del sistema para gestionar los residuos generados.

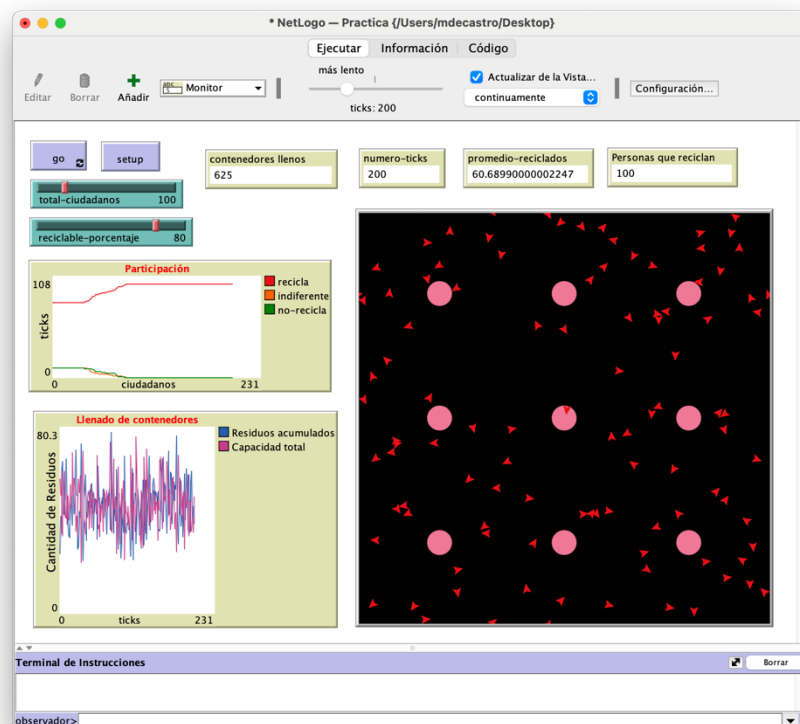
La cantidad media de basura reciclada por habitante fue de 60,68, lo que indica una gestión eficiente y eficaz del reciclaje.

Gráfica de llenado de contenedores:

- Muestra fluctuaciones constantes entre los residuos acumulados (azul) y la capacidad total (rosa), manteniéndose ambas líneas muy cercanas entre sí.

Gráfica de participación:

- La curva del reciclador (roja) muestra un cambio completo hacia el reciclaje, alcanzando rápidamente el 100%, mientras que las curvas del no reciclador (verde) y del indiferente (naranja) caen hasta cero.



Debido a la influencia social y al alto porcentaje inicial de recicladores, el reciclaje se convirtió rápidamente en la norma entre la población. El sistema gestionaba eficazmente una gran cantidad de residuos y mantenía constante el flujo de reciclaje, incluso cuando había muchos contenedores llenos. La propagación del

comportamiento deseado se garantizó prácticamente gracias a la masa crítica inicial de recicladores.

Una alta participación inicial es esencial para la sostenibilidad del sistema de reciclaje, como demuestra el hecho de que el 80 % de los recicladores alcanzaran una participación total en el reciclaje al final de la simulación.

6. COMPARACIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

En los estudios realizados se comprobó que los distintos niveles de compromiso inicial repercuten en la dinámica del reciclaje, el comportamiento de los ciudadanos y la eficacia del sistema de gestión de residuos.

Con una participación inicial del 10 % en la Prueba 1, el reciclaje aumentó ligeramente, de 10 a 23 ciudadanos que reciclan, pero la mayoría de la gente siguió mostrando indiferencia o no reciclando. Debido a los desequilibrios entre la producción de residuos y la capacidad de gestión, el sistema se volvió ineficaz, con 488 cubos de basura llenos y una media de 46,36 residuos reciclados por habitante.

En la Prueba 2, el 100 % de los ciudadanos recicló después de que inicialmente participara el 80 %. El sistema mantuvo una media de 60,68 residuos reciclados por habitante y gestionó eficazmente grandes cantidades de residuos con 625 contenedores de basura llenos.

En general, se puede concluir que el grado de participación inicial es esencial para la eficacia del reciclaje. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de poner en práctica políticas públicas que aumenten la concienciación ambiental desde el principio, refuercen la implicación ciudadana y garanticen la sostenibilidad del sistema de gestión de residuos.

7. DISCUSIÓN Y LÍNEAS FUTURAS

Discusión

Como demostró la simulación, la participación ciudadana es esencial para el reciclaje en una ciudad. A medida que aumenta el número de ciudadanos activos (recicladores), también lo hace la cantidad de residuos reciclados, lo que repercute directamente en el número de contenedores llenos y en la eficiencia del sistema.

En relación con los objetivos planteados se llegó a lo siguiente:

1. **Comportamiento de reciclaje:** la decisión de reciclar depende de la influencia social y de los niveles iniciales de conciencia.
2. **Distribución de residuos reciclados:** una mayor participación inicial genera un aumento significativo de la basura reciclada.
3. **Eficiencia del sistema:** la capacidad y disponibilidad de los contenedores son fundamentales para evitar la saturación y maximizar el reciclaje.

4. **Participación ciudadana:** niveles iniciales altos impulsan una adopción rápida y generalizada del reciclaje.

La simulación pone de manifiesto la necesidad de promover el reciclaje entre los ciudadanos, promulgando leyes que aumenten la concienciación de los no recicladores y de los ciudadanos apáticos. Para fomentar un cambio de comportamiento, es crucial establecer recompensas para los recicladores y sanciones para los que no reciclan.

Líneas Futuras

Entre las propuestas de las líneas futuras se incluyen diversas ideas para enriquecer el modelo y sus aplicaciones, abordando tanto aspectos técnicos como sociales. Una posible ampliación del modelo sería incorporar variables adicionales, como edad, educación e ingresos, que podrían influir significativamente en el comportamiento de reciclaje. Por ejemplo, los ciudadanos más jóvenes pueden ser más propensos a reciclar debido a una mayor exposición a campañas ambientales, mientras que las personas mayores podrían requerir incentivos específicos para adoptar este comportamiento. Asimismo, un nivel educativo más alto podría correlacionarse con una mayor conciencia ambiental y disposición a reciclar, mientras que los ingresos podrían influir en la capacidad de los ciudadanos para participar activamente en programas de reciclaje.

Otra propuesta sería dividir el entorno de simulación en barrios con diferente densidad poblacional. Esto permitiría analizar cómo varía la efectividad del sistema en áreas urbanas densas en comparación con zonas rurales. Al ajustar las capacidades de los contenedores y el comportamiento de los ciudadanos según la densidad poblacional, se podría evaluar la distribución más eficiente de los recursos.

Además, sería interesante explorar la implementación de un sistema de recompensas. Este sistema podría incluir incentivos como puntos canjeables, descuentos en servicios públicos u otros beneficios similares para los ciudadanos que reciclen activamente. Aunque esta funcionalidad no se programe en el modelo actual, podría ser una línea futura relevante para estudiar cómo las recompensas influyen en el comportamiento de reciclaje a largo plazo. Por último, se propone realizar análisis más avanzados, como correlaciones entre variables, estudios de sensibilidad para identificar los factores más influyentes y simulaciones con diferentes parámetros iniciales. Esto permitiría evaluar el impacto de las políticas públicas y enriquecer la sección de discusión con resultados más detallados.

Cabe señalar que el código exporta los datos de forma descriptiva en un archivo CSV para facilitar el análisis de los resultados en el futuro. En este archivo se incluyen las siguientes variables importantes: «Tick», que lleva la cuenta del número de ciclos desde que comenzó la simulación; «Total Reciclado» y «Total Residuos», que muestran la cantidad total de basura reciclada y generada; «Promedio Reciclados», que calcula la eficacia del reciclaje de cada ciudadano;

«Participación Total», que incluye el número de ciudadanos que reciclan; «Convertidos», que muestra cómo afectan las interacciones sociales al cambio de comportamiento, y «Contenedores Llenos».

| datos-reciclaje | | | | | | |
|-----------------|----------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|
| Tick | Total Residuos | Total Reciclados | Promedio Reciclados | Participación Total | Contenedores Llenos | Convertidos |
| 0 | 200 | 47.99999999999997 | 0.2399999999999985 | 140 | 1 | 0 |
| 1 | 400 | 96.82999999999957 | 0.4841499999999786 | 140 | 7 | 0 |
| 2 | 600 | 146.46 | 0.7323000000000001 | 140 | 11 | 0 |
| 3 | 800 | 196.79000000000164 | 0.9839500000000082 | 140 | 15 | 0 |
| 4 | 1000 | 247.99000000000314 | 1.2399500000000157 | 140 | 21 | 0 |
| 5 | 1200 | 300.17000000000473 | 1.5008500000000238 | 140 | 28 | 0 |

La simulación en NetLogo muestra que es fundamental empezar con un buen nivel de participación en el reciclaje para que el sistema funcione correctamente. Si más personas reciclan desde el principio, es más probable que otros se unan y que el sistema pueda manejar los residuos de forma más eficiente. Esto pone de manifiesto la importancia de crear campañas que motiven a la gente a reciclar y mejorar los contenedores para que todo sea más sostenible a largo plazo.

8. BIBLIOGRAFÍA

NetLogo Official Documentation. Disponible en:

<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

Wilensky, U. (1999). *NetLogo*. Disponible en:

<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>

NetLogo Models Library: Urban Suite - Recycling. Disponible en:

<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/UrbanSuite-Recycling>

Morán-Zabala, J. P., et al. (2024). *A simulation-based optimization model for quality control in solid waste collection process*. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/383661832_A_simulation-based_optimization_model_for_quality_control_in_solid_waste_collection_processes

8. ANEXO CODIGO:

```
; Definición de variables globales
globals [
  total-residuos
  total-reciclados
  total-participacion-roja
  total-participacion-naranja
  total-participacion-verde
  total-residuos-contenedores
  promedio-reciclados
  participacion-total
  total-convertidos
  contenedores-llenos
]

turtles-own [
  recicla?
  nivel-conciencia
]

breed [contenedores contenedor]
breed [ciudadanos ciudadano]

contenedores-own [
  capacidad
  residuos-acumulados
]

; Inicializar el modelo
to setup
  clear-all
  set total-residuos 0
  set total-reciclados 0
  set total-participacion-roja 0
  set total-participacion-naranja 0
  set total-participacion-verde 0
  set total-residuos-contenedores 0
  set promedio-reciclados 0
  set total-convertidos 0

  let porcentaje-reciclables reciclable-porcentaje / 100
  let num-ciudadanos-rojos total-ciudadanos * porcentaje-reciclables

  let num-ciudadanos-verdes (total-ciudadanos - num-ciudadanos-rojos) / 2
  let num-ciudadanos-naranjas (total-ciudadanos - num-ciudadanos-rojos) / 2

; Crear ciudadanos recicladores (rojos)
create-ciudadanos num-ciudadanos-rojos [
  setxy random-xcor random-ycor
  set color red
  set recicla? true
  set total-participacion-roja total-participacion-roja + 1
]
```



```

; Crear ciudadanos no recicladores (naranjas y verdes)
create-ciudadanos num-ciudadanos-naranjas [
  setxy random-xcor random-ycor
  set color orange
  set recicla? false
  set total-participacion-naranja total-participacion-naranja + 1
]

create-ciudadanos num-ciudadanos-verdes [
  setxy random-xcor random-ycor
  set color green
  set recicla? false
  set total-participacion-verde total-participacion-verde + 1
]

; Crear contenedores con menor capacidad
let posiciones [
  [-10 10][ 10 10][-10 0][ 10 0]
  [-10 -10][ 10 -10][ 0 10][ 0 -10]
  [ 0 0]
]

foreach posiciones [posicion ->
  create-contenedores 1 [
    setxy item 0 posicion item 1 posicion
    set shape "circle"
    set size 2
    set color pink
    set capacidad random 10 + 5 ; Capacidad reducida entre 5 y 15
    set residuos-acumulados 0
  ]
]

; Inicializar archivo de exportación
file-open "/Users/mdecastro/Desktop/datos-reciclaje.csv"
file-print "Tick,Total Residuos,Total Reciclados,Promedio Reciclados,Participación
Total,Contenedores Llenos,Convertidos"
reset-ticks
end

; Procedimiento principal de simulación
to go
  ask ciudadanos [
    let residuos-generados random 0.1 + 1 ; Genera entre 1 y 3 residuos
    set total-residuos total-residuos + residuos-generados

    let reciclables 0
    ifelse recicla? [
      set reciclables residuos-generados * 0.3 ; 30% de residuos reciclables
    ] [
      set reciclables residuos-generados * (nivel-conciencia * 0.5 + 0.1) ; Menor tasa de
      reciclaje
    ]
  ]

```

```

set total-reciclados total-reciclados + reciclables

let contenedor-cercano min-one-of contenedores [distance myself]

ask contenedor-cercano [
  ifelse (capacidad - reciclables) >= 0 [
    set capacidad capacidad - reciclables
    set residuos-acumulados residuos-acumulados + reciclables
  ] [
    ; Incrementa el contador de contenedores llenos
    set contenedores-llenos contenedores-llenos + 1

    ; Vaciar el contenedor y reiniciar la capacidad
    set residuos-acumulados 0
    set capacidad random 10 + 5 ; Reiniciar capacidad con un rango reducido
  ]
]

right random 50
forward 1
]

set promedio-reciclados total-reciclados / total-ciudadanos
set participacion-total count ciudadanos with [recicla?]

; Exportar datos en cada tick
file-print (word ticks "," total-residuos "," total-reciclados "," promedio-reciclados ","
participacion-total "," total-residuos-contenedores "," total-convertidos)

set-current-plot "Participación"
set-current-plot-pen "recicla"
plot total-participacion-roja
set-current-plot-pen "indiferente"
plot total-participacion-naranja
set-current-plot-pen "no-recicla"
plot total-participacion-verde

; Calcular residuos acumulados y capacidad total
let residuos-acumulados-totales sum [residuos-acumulados] of contenedores
let capacidad-total-contenedores sum [capacidad] of contenedores

; Actualizar el gráfico "Llenado de contenedores"
set-current-plot "Llenado de contenedores"
set-current-plot-pen "Residuos acumulados"
plot residuos-acumulados-totales
set-current-plot-pen "Capacidad total"
plot capacidad-total-contenedores

; Incrementar conciencia más lentamente
interactuar-con-ciudadanos

if ticks >= 200 [ ; Detener simulación en 100 ticks
  file-close

```

```

    stop
  ]
  tick
end

to interactuar-con-ciudadanos
  ask ciudadanos [
    if recicla? [
      ask ciudadanos in-radius 2 [
        if not recicla? [
          set nivel-conciencia nivel-conciencia + 0.02 ; Incremento más lento
          if nivel-conciencia >= 1 [
            ; Antes de cambiar el estado, ajustar la participación según el color actual
            if color = orange [
              set total-participacion-naranja total-participacion-naranja - 1
            ]
            if color = green [
              set total-participacion-verde total-participacion-verde - 1
            ]

            ; Cambiar el estado del ciudadano
            set recicla? true
            set color red

            ; Incrementar los ciudadanos rojos
            set total-participacion-roja total-participacion-roja + 1
            set total-convertidos total-convertidos + 1
          ]
        ]
      ]
    ]
  ]
end

```