

Laboratorio 7

Integrantes:

- Francis Aguilar - 22243
- Diego García - 22404
- Angela García - 22869

enlace al repositorio: <https://github.com/angelargd8/lab7-modsim>

Teoría

Parte 1

1. Describa con sus propias palabras la diferencia fundamental entre una Entidad de DES y un Agente de MBA. ¿Por qué esta diferencia hace que cada paradigma sea adecuado para tipos de problemas distintos? Proporcione un ejemplo de un problema de modelado para cada uno

La diferencia entre una entidad en DES es que está pasiva y sigue un flujo de procesos controlado por eventos del sistema, mientras que un MBA es autónomo, toma decisiones y puede interactuar con otros agentes de forma independiente. Y en DES, la importancia está en la secuencia temporal de eventos y eficiencia de los procesos, un ejemplo puede ser una línea de producción o un sistema de colas. Mientras que en AMB se estudian comportamientos emergentes a partir de las interacciones individuales, un ejemplo es la propagación de una epidemia o el tráfico peatonal. DES es ideal para sistemas estructurados y predecibles, mientras que MBA es para sistemas complejos, adaptativos y descentralizados.

2. Explique por qué las colas son una consecuencia inevitable en la mayoría de los sistemas modelados con DES. ¿Qué tipo de información valiosa podemos extraer al analizar la longitud de una cola y el tiempo de espera en ella a lo largo de una simulación?

Las colas son una consecuencia inevitable en la mayoría de los sistemas modelados con DES porque los recursos disponibles para atender las entidades suelen ser limitados, mientras que las llegadas y los tiempos de servicio pueden variar de una forma impredecible. Cuando la demanda llega a superar la capacidad del sistema, las entidades deben esperar, creando una cola. Al analizar la longitud de la cola y el tiempo de espera promedio, esto permite evaluar el desempeño del sistema, identificando los cuellos de botella y medir la eficiencia en la atención. Esta información es importante para lograr tomar decisiones de mejora, como ajustar la cantidad de servidores, optimizar procesos o equilibrar la carga de

trabajo. De esta manera, buscando reducir los tiempos de espera y aumentar la satisfacción de los usuarios.

3. En clase se mencionaron los recursos móviles, estáticos y portátiles. Describa un escenario (diferente al hospital) que involucre los tres tipos de recursos. Identifique qué elementos serían cada tipo de recurso y cómo interactuarían.

Un escenario podría ser un aeropuerto, los recursos móviles serían los vehículos de traslado interno, como autobuses o tractores de equipaje que se van moviendo entre las terminales y pistas. Los recursos estáticos podrían ser las puertas de embarque y las bandas de equipaje que tienen una ubicación fija y sirven como puntos donde las entidades reciben un servicio específico. Y los recursos portátiles podrían ser los escáneres de seguridad y los radios de comunicación usados por el personal, que no se mueven solos, sino que son transportados y usados por los agentes humanos para cumplir sus tareas. Estos recursos interactúan de forma coordinada, porque los pasajeros pasan por estaciones estáticas como los puntos de control y estos son atendidas por los trabajadores que usan equipos portátiles. Finalmente son transportados en vehículos móviles hacia su avión, mostrando como la gestión eficiente de los tres tipos de recursos es importante para el flujo continuo del sistema.

4. Imagine que está modelando la propagación de una enfermedad en una ciudad (un problema clásico de MBA). Ahora, quieras añadir el proceso de vacunación en centros de salud. ¿Cómo podría combinar MBA y DES? ¿Qué parte del modelo sería MBA y cuál DES? ¿Qué información pasaría de un modelo a otro?

En un modelo de propagación de enfermedad de una ciudad, el MBA sería ideal para poder representar los individuos de la población ya que cada agente puede tener comportamientos y estados propios e interactuar con otros agentes de manera autónoma, determinando así la dinámica de contagio. Por otro lado, DES se usaría para modelar el proceso de vacunación en los centros de salud, donde las personas llegan, esperan en una cola, son atendidas por un recurso como el personal médico y luego se retiran. Entonces, la información que se intercambiaría entre ambos modelos llegaría a ser bidireccional, desde el MBA al DES se transferiría el flujo de agentes que deciden asistir a vacunarse, mostrando la demanda en los centros de salud. Y de DES hacia MBA, el resultado del proceso, qué agentes fueron vacunados y en qué momento, se incorporaría al estado de los individuos dentro del modelo basado en agentes. De esta forma, los dos enfoques se complementan, ya que el AMB captura la interacción social y el comportamiento individual, mientras que el DES representa la manera de la logística y eficiencia del proceso de vacunación.

Parte 2

1. Imagine que usted ha sido contratado para modelar el sistema de tráfico de una gran ciudad con el fin de evaluar el impacto de un nuevo sistema de metro. ¿Por qué un modelo puramente MBA, DES o DS sería, por sí solo, insuficiente para esta tarea? Describa cómo diseñaría usted un modelo híbrido para este problema, identificando

qué componente del sistema sería modelado con cada paradigma y cómo interactuarían entre sí.

Si solo fuera un modelo MBA, DES o DS, sería insuficiente para evaluar el impacto de un nuevo sistema de metro porque cada paradigma captura solo una parte del problema. El MBA representaría bien el comportamiento individual de los conductores y pasajeros, pero no los procesos operativos del metro ni las dinámicas del tráfico. Mientras, el DES modela con presión los flujos, colas y operaciones del transporte público, pero no logra explicar como es que cambian las decisiones individuales. Y el DS describe las tendencias agregadas del sistema, pero sin detalle espacial ni individual. Por eso, debería de usarse un modelo híbrido donde el MBA represente viajeros y sus decisiones de movilidad, el DES modele las operaciones del metro, buses y semáforos y el DS describa la evolución global de la demanda y la congestión en el tiempo. Y los tres interactuarían compartiendo la información, el MBA generando flujos de pasajeros hacia el DES, este devolvería tiempos y niveles de servicio que actualizarían las decisiones de los agentes y el DS ajustaría las tendencias agregadas de uso del transporte según los resultados observados.

2. En el "Patrón 1: MBA → DES", la transición de un agente a una entidad debe ser fluida. Describa a nivel conceptual y técnico (¿qué información específica se debe transferir?) cómo se realizaría esta transición en una herramienta como AnyLogic, o de forma más abstracta, en un marco de trabajo en Python que combinara las bibliotecas Mesa (para MBA) y SimPy (para DES).

En el "Patrón 1: MBA → DES", la transición fluida entre un agente y una entidad implica que al cambiar de MBA a DES, el agente mantenga su identidad y estado relevante. El agente, por ejemplo como una persona que decide ir a un centro de vacunación se convierte temporalmente en una entidad del sistema de colas del DES para representar su paso por el proceso de servicio. Y herramientas como AnyLogic, implican transferir atributos clave del agente, como la hora de llegada, prioridad, ubicación o estado de salud al objetivo de entidad del bloque DES, para luego devolver los resultados al agente original al terminar el proceso. Y en un marco híbrido Mesa-Simpy, la integración lograría pasando un diccionario o estructura de datos con las propiedades del agente al proceso Simpy que simula la cola o servicio, permitiendo que al completar el evento Simpy devuelva la información actualizada, como la duración éxito o cambio de estado al modelo Mesa, así manteniendo la coherencia de los dos paradigmas.

3. El "Patrón 3: DS dentro de un Agente" es un claro ejemplo de modelado multi-escala. Proponga usted otro escenario (fuera del ámbito biológico), por ejemplo, en economía o sociología, donde este patrón sería de gran utilidad. ¿Qué representaría el agente (MBA) y qué dinámica capturaría su modelo de Dinámica de Sistemas (DS) interno?

Otro escenario, podría ser en la modelación del comportamiento de empresas dentro de un mercado financiero. Un agente del modelo MBA, representaría una empresa individual que

toma decisiones estratégicas, como invertir, producir o ajustar precios, en función de su entorno competitivo. Dentro de cada empresa, un modelo DS capturaría las dinámicas continuas de sus variables internas como flujo de caja, inventario, inversión en innovación o nivel de endeudamiento, a través de tasas y retroalimentaciones. Entonces, así mientras los agentes interactúan en el mercado competencia, cooperación o en variaciones de demanda, cada uno va evolucionando internamente según sus propias dinámicas financiera y operativas. Y este enfoque que es multi-escala permite analizar como decisiones individuales y procesos internos combinan para generar patrones emergentes como crisis económicas, formación de monopolios o ciclos de expansión y recesión.

4. La combinación de paradigmas de modelado presenta desafíos significativos. Desde su perspectiva, ¿cuáles cree usted que son los dos mayores desafíos al construir y validar un modelo híbrido? Considere aspectos como la calibración de parámetros entre los diferentes componentes, la complejidad del software y la validación de los resultados emergentes.

Los mayores desafíos al construir y validar un modelo híbrido es la calibración y coherencia entre paradigmas, ya que cada componente, AMB, DES, DS, opera en escalas temporales a niveles de detalle y unidades distintas. Alinear parámetros, como tasas, probabilidades, tiempos o retroalimentaciones para que representen la misma realidad sin generar algún tipo de inconsistencias requieren datos precisos y un proceso iterativo de ajuste. Y el otro desafío es la validación de los resultados emergentes, pues los comportamientos globales del sistema no siempre pueden contrastar directamente con datos reales o expectativas teóricas, y más cuando surgen de la interacción entre componentes heterogéneos. Además, la complejidad computacional aumenta al integrar distintos marcos o motores de simulación, lo que hace que sea difícil darle seguimiento de errores y la reproducibilidad. Y todas esas dificultades hacen que la creación de los modelos híbridos requieran de un equilibrio que sea realista, simple y trazable de los resultados.

Práctica

Parte 1

Debe construir una simulación de eventos discretos para una clínica simple usando la biblioteca SimPy. El objetivo es modelar un flujo de pacientes de dos etapas (registro y consulta) para analizar el rendimiento del sistema, identificar cuellos de botella y proponer mejoras basadas en datos. El escenario es una clínica tiene un flujo de pacientes que consta de dos pasos secuenciales:

1. Registro: Al llegar, cada paciente debe ser registrado por un recepcionista.
2. Consulta: Después del registro, el paciente es atendido por un médico.

```
In [33]: import simpy
import random
import statistics

NUM RECEPCIONISTAS = 1
NUM MEDICOS = 2
TIEMPO_REGISTRO_PROMEDIO = 2
TIEMPO_CONSULTA_PROMEDIO = 7
# Parámetros de simulación
TASA_LLEGADA_PACIENTES = 1/4 # en promedio, 1 paciente cada 4 minutos
TIEMPO_SIMULACION = 120 # simular 2 horas (120 minutos)

tiempos_de_espera_totales = []

def paciente(env, nombre, recepcionistas, medicos):
    # Tiempo de llegada del paciente
    tiempo_llegada = env.now

    # Proceso de registro
    print(f'{nombre} llega a recepción en tiempo {env.now:.2f}')
    with recepcionistas.request() as req_recepcion:
        yield req_recepcion
        print(f'{nombre} comienza registro en tiempo {env.now:.2f}')
        # servicio de registro estocástico (exponencial)
        tiempo_registro = random.expovariate(1.0 / TIEMPO_REGISTRO_PROMEDIO)
        yield env.timeout(tiempo_registro)
        print(f'{nombre} termina registro en tiempo {env.now:.2f}')

    # Proceso de consulta médica
    print(f'{nombre} espera consulta en tiempo {env.now:.2f}')
    with medicos.request() as req_medico:
        yield req_medico
        print(f'{nombre} comienza consulta en tiempo {env.now:.2f}')
        # servicio de consulta estocástico (normal aproximado)
        tiempo_consulta = max(0.1, random.normalvariate(TIEMPO_CONSULTA_PROMEDIO, 2))
        yield env.timeout(tiempo_consulta)
        print(f'{nombre} termina consulta en tiempo {env.now:.2f}')

    # Calcula y registra el tiempo total en el sistema
    tiempo_total = env.now - tiempo_llegada
    tiempos_de_espera_totales.append(tiempo_total)
    print(f'{nombre} completó su visita. Tiempo total: {tiempo_total:.2f} minutos')
```

```
In [34]: def generador_pacientes(env, recepcionistas, medicos, tasa_llegada=TASA_LLEGADA_PACIENTES):

    i = 0
    while True:
        # tiempo hasta la siguiente llegada (Poisson/exponencial)
        if tasa_llegada <= 0:
            # si la tasa no está definida, evita división por cero: pausa infinita
            # (el llamador debe establecer una tasa positiva antes de ejecutar)
            yield env.timeout(float('inf'))
        intervalo = random.expovariate(tasa_llegada)
        yield env.timeout(intervalo)
        i += 1
```

```
        nombre = f'Paciente {i}'
        env.process(paciente(env, nombre, recepcionistas, medicos))
```

```
In [35]: def simulacion():

    # Inicializar ambiente y recursos
    env = simpy.Environment()
    recepcionistas = simpy.Resource(env, capacity=NUM_RECEPCIONISTAS)
    medicos = simpy.Resource(env, capacity=NUM_MEDICOS)

    # Iniciar el generador de pacientes
    env.process(generador_pacientes(env, recepcionistas, medicos, TASA_LLEGADA_PACIENTES))

    # Ejecutar la simulación
    print("\nIniciando simulación...")
    env.run(until=TIEMPO_SIMULACION)

    # Análisis de resultados
    print("\nAnálisis de Resultados:")
    print(f"Total de pacientes atendidos: {len(tiempo_de_espera_totales)}")
    print(f"Tiempo promedio en clínica: {statistics.mean(tiempo_de_espera_totales)}")
    print(f"Tiempo máximo en clínica: {max(tiempo_de_espera_totales):.2f} minutos")
    print(f"Tiempo mínimo en clínica: {min(tiempo_de_espera_totales):.2f} minutos")
    print(f"Desviación estándar: {statistics.stdev(tiempo_de_espera_totales):.2f}")
```

Preguntas de análisis

Una vez que su script esté completamente funcional, le corresponderá utilizarlo como un laboratorio virtual para investigar y responder a las siguientes preguntas. Para cada interrogante, es fundamental que modifique los parámetros de entrada, ejecute la simulación correspondiente y utilice los resultados numéricos obtenidos para fundamentar rigurosamente sus conclusiones.

- Configure la simulación con los parámetros iniciales (NUM_RECEPCIONISTAS = 1, NUM_MEDICOS = 2) y proceda con su ejecución. Observe detenidamente la traza de eventos que su script imprime en la consola. ¿En qué etapa del proceso (registro o consulta) parece que los pacientes invierten la mayor parte de su tiempo de espera? ¿Cuál es el tiempo promedio total que un paciente permanece en la clínica según este escenario base?**

```
In [36]: NUM_RECEPCIONISTAS = 1
NUM_MEDICOS = 2
tiempo_de_espera_totales = []
simulacion()
```

Iniciando simulación...

Paciente 1 llega a recepción en tiempo 5.39
Paciente 1 comienza registro en tiempo 5.39
Paciente 1 termina registro en tiempo 6.51
Paciente 1 espera consulta en tiempo 6.51
Paciente 1 comienza consulta en tiempo 6.51
Paciente 2 llega a recepción en tiempo 9.52
Paciente 2 comienza registro en tiempo 9.52
Paciente 2 termina registro en tiempo 11.22
Paciente 2 espera consulta en tiempo 11.22
Paciente 2 comienza consulta en tiempo 11.22
Paciente 3 llega a recepción en tiempo 12.82
Paciente 3 comienza registro en tiempo 12.82
Paciente 3 termina registro en tiempo 14.28
Paciente 3 espera consulta en tiempo 14.28
Paciente 1 termina consulta en tiempo 15.19
Paciente 1 completó su visita. Tiempo total: 9.79 minutos
Paciente 3 comienza consulta en tiempo 15.19
Paciente 4 llega a recepción en tiempo 15.19
Paciente 4 comienza registro en tiempo 15.19
Paciente 4 termina registro en tiempo 16.57
Paciente 4 espera consulta en tiempo 16.57
Paciente 2 termina consulta en tiempo 19.71
Paciente 2 completó su visita. Tiempo total: 10.19 minutos
Paciente 4 comienza consulta en tiempo 19.71
Paciente 3 termina consulta en tiempo 22.23
Paciente 3 completó su visita. Tiempo total: 9.41 minutos
Paciente 5 llega a recepción en tiempo 24.53
Paciente 5 comienza registro en tiempo 24.53
Paciente 4 termina consulta en tiempo 24.73
Paciente 4 completó su visita. Tiempo total: 9.53 minutos
Paciente 6 llega a recepción en tiempo 25.12
Paciente 5 termina registro en tiempo 25.19
Paciente 5 espera consulta en tiempo 25.19
Paciente 5 comienza consulta en tiempo 25.19
Paciente 6 comienza registro en tiempo 25.19
Paciente 7 llega a recepción en tiempo 25.50
Paciente 6 termina registro en tiempo 26.68
Paciente 6 espera consulta en tiempo 26.68
Paciente 6 comienza consulta en tiempo 26.68
Paciente 7 comienza registro en tiempo 26.68
Paciente 8 llega a recepción en tiempo 27.62
Paciente 7 termina registro en tiempo 28.65
Paciente 7 espera consulta en tiempo 28.65
Paciente 8 comienza registro en tiempo 28.65
Paciente 8 termina registro en tiempo 31.01
Paciente 8 espera consulta en tiempo 31.01
Paciente 9 llega a recepción en tiempo 33.08
Paciente 9 comienza registro en tiempo 33.08
Paciente 9 termina registro en tiempo 33.08
Paciente 9 espera consulta en tiempo 33.08
Paciente 6 termina consulta en tiempo 33.12
Paciente 6 completó su visita. Tiempo total: 7.99 minutos
Paciente 7 comienza consulta en tiempo 33.12
Paciente 5 termina consulta en tiempo 33.86
Paciente 5 completó su visita. Tiempo total: 9.32 minutos

Paciente 8 comienza consulta en tiempo 33.86
Paciente 10 llega a recepción en tiempo 34.32
Paciente 10 comienza registro en tiempo 34.32
Paciente 8 termina consulta en tiempo 37.01
Paciente 8 completó su visita. Tiempo total: 9.38 minutos
Paciente 9 comienza consulta en tiempo 37.01
Paciente 10 termina registro en tiempo 37.78
Paciente 10 espera consulta en tiempo 37.78
Paciente 7 termina consulta en tiempo 37.85
Paciente 7 completó su visita. Tiempo total: 12.34 minutos
Paciente 10 comienza consulta en tiempo 37.85
Paciente 11 llega a recepción en tiempo 42.79
Paciente 11 comienza registro en tiempo 42.79
Paciente 10 termina consulta en tiempo 43.43
Paciente 10 completó su visita. Tiempo total: 9.11 minutos
Paciente 12 llega a recepción en tiempo 43.90
Paciente 13 llega a recepción en tiempo 44.78
Paciente 11 termina registro en tiempo 44.85
Paciente 11 espera consulta en tiempo 44.85
Paciente 11 comienza consulta en tiempo 44.85
Paciente 12 comienza registro en tiempo 44.85
Paciente 9 termina consulta en tiempo 44.94
Paciente 9 completó su visita. Tiempo total: 11.87 minutos
Paciente 12 termina registro en tiempo 45.32
Paciente 12 espera consulta en tiempo 45.32
Paciente 12 comienza consulta en tiempo 45.32
Paciente 13 comienza registro en tiempo 45.32
Paciente 14 llega a recepción en tiempo 45.55
Paciente 13 termina registro en tiempo 49.58
Paciente 13 espera consulta en tiempo 49.58
Paciente 14 comienza registro en tiempo 49.58
Paciente 14 termina registro en tiempo 49.81
Paciente 14 espera consulta en tiempo 49.81
Paciente 15 llega a recepción en tiempo 51.30
Paciente 15 comienza registro en tiempo 51.30
Paciente 12 termina consulta en tiempo 51.62
Paciente 12 completó su visita. Tiempo total: 7.72 minutos
Paciente 13 comienza consulta en tiempo 51.62
Paciente 15 termina registro en tiempo 54.05
Paciente 15 espera consulta en tiempo 54.05
Paciente 16 llega a recepción en tiempo 54.23
Paciente 16 comienza registro en tiempo 54.23
Paciente 11 termina consulta en tiempo 54.48
Paciente 11 completó su visita. Tiempo total: 11.69 minutos
Paciente 14 comienza consulta en tiempo 54.48
Paciente 16 termina registro en tiempo 55.01
Paciente 16 espera consulta en tiempo 55.01
Paciente 14 termina consulta en tiempo 59.71
Paciente 14 completó su visita. Tiempo total: 14.16 minutos
Paciente 15 comienza consulta en tiempo 59.71
Paciente 13 termina consulta en tiempo 61.35
Paciente 13 completó su visita. Tiempo total: 16.56 minutos
Paciente 16 comienza consulta en tiempo 61.35
Paciente 15 termina consulta en tiempo 65.00
Paciente 15 completó su visita. Tiempo total: 13.70 minutos
Paciente 17 llega a recepción en tiempo 66.44

Paciente 17 comienza registro en tiempo 66.44
Paciente 17 termina registro en tiempo 68.46
Paciente 17 espera consulta en tiempo 68.46
Paciente 17 comienza consulta en tiempo 68.46
Paciente 16 termina consulta en tiempo 70.82
Paciente 16 completó su visita. Tiempo total: 16.59 minutos
Paciente 18 llega a recepción en tiempo 72.10
Paciente 18 comienza registro en tiempo 72.10
Paciente 17 termina consulta en tiempo 75.10
Paciente 17 completó su visita. Tiempo total: 8.66 minutos
Paciente 18 termina registro en tiempo 75.12
Paciente 18 espera consulta en tiempo 75.12
Paciente 18 comienza consulta en tiempo 75.12
Paciente 19 llega a recepción en tiempo 78.95
Paciente 19 comienza registro en tiempo 78.95
Paciente 20 llega a recepción en tiempo 79.88
Paciente 19 termina registro en tiempo 81.11
Paciente 19 espera consulta en tiempo 81.11
Paciente 19 comienza consulta en tiempo 81.11
Paciente 20 comienza registro en tiempo 81.11
Paciente 21 llega a recepción en tiempo 81.57
Paciente 18 termina consulta en tiempo 81.97
Paciente 18 completó su visita. Tiempo total: 9.87 minutos
Paciente 20 termina registro en tiempo 82.45
Paciente 20 espera consulta en tiempo 82.45
Paciente 20 comienza consulta en tiempo 82.45
Paciente 21 comienza registro en tiempo 82.45
Paciente 21 termina registro en tiempo 82.90
Paciente 21 espera consulta en tiempo 82.90
Paciente 22 llega a recepción en tiempo 88.13
Paciente 22 comienza registro en tiempo 88.13
Paciente 22 termina registro en tiempo 88.44
Paciente 22 espera consulta en tiempo 88.44
Paciente 20 termina consulta en tiempo 89.00
Paciente 20 completó su visita. Tiempo total: 9.13 minutos
Paciente 21 comienza consulta en tiempo 89.00
Paciente 19 termina consulta en tiempo 89.12
Paciente 19 completó su visita. Tiempo total: 10.17 minutos
Paciente 22 comienza consulta en tiempo 89.12
Paciente 22 termina consulta en tiempo 94.15
Paciente 22 completó su visita. Tiempo total: 6.02 minutos
Paciente 21 termina consulta en tiempo 94.42
Paciente 21 completó su visita. Tiempo total: 12.85 minutos
Paciente 23 llega a recepción en tiempo 96.11
Paciente 23 comienza registro en tiempo 96.11
Paciente 24 llega a recepción en tiempo 96.12
Paciente 23 termina registro en tiempo 96.46
Paciente 23 espera consulta en tiempo 96.46
Paciente 23 comienza consulta en tiempo 96.46
Paciente 24 comienza registro en tiempo 96.46
Paciente 24 termina registro en tiempo 98.29
Paciente 24 espera consulta en tiempo 98.29
Paciente 24 comienza consulta en tiempo 98.29
Paciente 23 termina consulta en tiempo 100.90
Paciente 23 completó su visita. Tiempo total: 4.80 minutos
Paciente 25 llega a recepción en tiempo 102.07

```
Paciente 25 comienza registro en tiempo 102.07
Paciente 26 llega a recepción en tiempo 103.48
Paciente 24 termina consulta en tiempo 106.26
Paciente 24 completó su visita. Tiempo total: 10.14 minutos
Paciente 27 llega a recepción en tiempo 106.72
Paciente 25 termina registro en tiempo 108.12
Paciente 25 espera consulta en tiempo 108.12
Paciente 25 comienza consulta en tiempo 108.12
Paciente 26 comienza registro en tiempo 108.12
Paciente 26 termina registro en tiempo 108.40
Paciente 26 espera consulta en tiempo 108.40
Paciente 26 comienza consulta en tiempo 108.40
Paciente 27 comienza registro en tiempo 108.40
Paciente 27 termina registro en tiempo 108.79
Paciente 27 espera consulta en tiempo 108.79
Paciente 25 termina consulta en tiempo 112.50
Paciente 25 completó su visita. Tiempo total: 10.44 minutos
Paciente 27 comienza consulta en tiempo 112.50
Paciente 26 termina consulta en tiempo 114.05
Paciente 26 completó su visita. Tiempo total: 10.58 minutos
Paciente 28 llega a recepción en tiempo 116.53
Paciente 28 comienza registro en tiempo 116.53
Paciente 27 termina consulta en tiempo 117.83
Paciente 27 completó su visita. Tiempo total: 11.10 minutos
Paciente 29 llega a recepción en tiempo 119.60
```

Análisis de Resultados:

Total de pacientes atendidos: 27
Tiempo promedio en clínica: 10.49 minutos
Tiempo máximo en clínica: 16.59 minutos
Tiempo mínimo en clínica: 4.80 minutos
Desviación estándar: 2.70 minutos

- Pareciera que invierten más tiempo en la parte de consulta, ya que el proceso de registro no darda más del minuto, sin embargo las personas que están dentro de consulta se tomán hasta 10 minutos, no es un tiempo fijo ya que otros pacientes tardan menos tiempo, pero si podemos notar que de igual manera el tiempo de consulta es mayor al de registro.
- El tiempo promedio para este caso base en la clínica es de 10 minutos

2. A continuación, usted deberá investigar cuál es el factor limitante principal del sistema. Mantenga el número de recepcionistas en NUM_RECEPCIONISTAS = 1 y realice un cambio significativo en el número de médicos, aumentándolo a NUM_MEDICOS = 5.

```
In [37]: NUM_RECEPCIONISTAS = 1
NUM_MEDICOS = 5 # Aumentado de 2 a 5
tiempos_de_espera_totales = [] # Reiniciar La Lista para nueva simulación

print("Simulación con 1 recepcionista y 5 médicos:")
simulacion()
```

Simulación con 1 recepcionista y 5 médicos:

Iniciando simulación...

Paciente 1 llega a recepción en tiempo 1.76
Paciente 1 comienza registro en tiempo 1.76
Paciente 1 termina registro en tiempo 1.88
Paciente 1 espera consulta en tiempo 1.88
Paciente 1 comienza consulta en tiempo 1.88
Paciente 2 llega a recepción en tiempo 3.21
Paciente 2 comienza registro en tiempo 3.21
Paciente 2 termina registro en tiempo 3.32
Paciente 2 espera consulta en tiempo 3.32
Paciente 2 comienza consulta en tiempo 3.32
Paciente 3 llega a recepción en tiempo 4.71
Paciente 3 comienza registro en tiempo 4.71
Paciente 3 termina registro en tiempo 6.87
Paciente 3 espera consulta en tiempo 6.87
Paciente 3 comienza consulta en tiempo 6.87
Paciente 1 termina consulta en tiempo 8.77
Paciente 1 completó su visita. Tiempo total: 7.01 minutos
Paciente 2 termina consulta en tiempo 11.07
Paciente 2 completó su visita. Tiempo total: 7.87 minutos
Paciente 4 llega a recepción en tiempo 12.59
Paciente 4 comienza registro en tiempo 12.59
Paciente 3 termina consulta en tiempo 13.27
Paciente 3 completó su visita. Tiempo total: 8.56 minutos
Paciente 5 llega a recepción en tiempo 13.62
Paciente 4 termina registro en tiempo 19.83
Paciente 4 espera consulta en tiempo 19.83
Paciente 4 comienza consulta en tiempo 19.83
Paciente 5 comienza registro en tiempo 19.83
Paciente 5 termina registro en tiempo 24.02
Paciente 5 espera consulta en tiempo 24.02
Paciente 5 comienza consulta en tiempo 24.02
Paciente 6 llega a recepción en tiempo 24.19
Paciente 6 comienza registro en tiempo 24.19
Paciente 6 termina registro en tiempo 24.19
Paciente 6 espera consulta en tiempo 24.19
Paciente 6 comienza consulta en tiempo 24.19
Paciente 7 llega a recepción en tiempo 25.61
Paciente 7 comienza registro en tiempo 25.61
Paciente 7 termina registro en tiempo 26.18
Paciente 7 espera consulta en tiempo 26.18
Paciente 7 comienza consulta en tiempo 26.18
Paciente 8 llega a recepción en tiempo 29.27
Paciente 8 comienza registro en tiempo 29.27
Paciente 4 termina consulta en tiempo 29.56
Paciente 4 completó su visita. Tiempo total: 16.97 minutos
Paciente 6 termina consulta en tiempo 29.69
Paciente 6 completó su visita. Tiempo total: 5.50 minutos
Paciente 8 termina registro en tiempo 30.69
Paciente 8 espera consulta en tiempo 30.69
Paciente 8 comienza consulta en tiempo 30.69
Paciente 7 termina consulta en tiempo 33.41
Paciente 7 completó su visita. Tiempo total: 7.80 minutos
Paciente 5 termina consulta en tiempo 34.12

Paciente 5 completó su visita. Tiempo total: 20.50 minutos
Paciente 8 termina consulta en tiempo 34.48
Paciente 8 completó su visita. Tiempo total: 5.20 minutos
Paciente 9 llega a recepción en tiempo 38.88
Paciente 9 comienza registro en tiempo 38.88
Paciente 9 termina registro en tiempo 43.02
Paciente 9 espera consulta en tiempo 43.02
Paciente 9 comienza consulta en tiempo 43.02
Paciente 10 llega a recepción en tiempo 47.66
Paciente 10 comienza registro en tiempo 47.66
Paciente 10 termina registro en tiempo 49.24
Paciente 10 espera consulta en tiempo 49.24
Paciente 10 comienza consulta en tiempo 49.24
Paciente 9 termina consulta en tiempo 51.66
Paciente 9 completó su visita. Tiempo total: 12.78 minutos
Paciente 10 termina consulta en tiempo 57.87
Paciente 10 completó su visita. Tiempo total: 10.21 minutos
Paciente 11 llega a recepción en tiempo 60.56
Paciente 11 comienza registro en tiempo 60.56
Paciente 11 termina registro en tiempo 64.01
Paciente 11 espera consulta en tiempo 64.01
Paciente 11 comienza consulta en tiempo 64.01
Paciente 11 termina consulta en tiempo 70.30
Paciente 11 completó su visita. Tiempo total: 9.73 minutos
Paciente 12 llega a recepción en tiempo 70.67
Paciente 12 comienza registro en tiempo 70.67
Paciente 12 termina registro en tiempo 72.12
Paciente 12 espera consulta en tiempo 72.12
Paciente 12 comienza consulta en tiempo 72.12
Paciente 12 termina consulta en tiempo 76.09
Paciente 12 completó su visita. Tiempo total: 5.42 minutos
Paciente 13 llega a recepción en tiempo 76.49
Paciente 13 comienza registro en tiempo 76.49
Paciente 13 termina registro en tiempo 77.47
Paciente 13 espera consulta en tiempo 77.47
Paciente 13 comienza consulta en tiempo 77.47
Paciente 14 llega a recepción en tiempo 84.57
Paciente 14 comienza registro en tiempo 84.57
Paciente 14 termina registro en tiempo 84.63
Paciente 14 espera consulta en tiempo 84.63
Paciente 14 comienza consulta en tiempo 84.63
Paciente 13 termina consulta en tiempo 85.84
Paciente 13 completó su visita. Tiempo total: 9.35 minutos
Paciente 15 llega a recepción en tiempo 87.24
Paciente 15 comienza registro en tiempo 87.24
Paciente 16 llega a recepción en tiempo 87.56
Paciente 15 termina registro en tiempo 89.00
Paciente 15 espera consulta en tiempo 89.00
Paciente 15 comienza consulta en tiempo 89.00
Paciente 16 comienza registro en tiempo 89.00
Paciente 16 termina registro en tiempo 89.02
Paciente 16 espera consulta en tiempo 89.02
Paciente 16 comienza consulta en tiempo 89.02
Paciente 17 llega a recepción en tiempo 89.52
Paciente 17 comienza registro en tiempo 89.52
Paciente 18 llega a recepción en tiempo 89.77

Paciente 17 termina registro en tiempo 90.38
Paciente 17 espera consulta en tiempo 90.38
Paciente 17 comienza consulta en tiempo 90.38
Paciente 18 comienza registro en tiempo 90.38
Paciente 18 termina registro en tiempo 90.40
Paciente 18 espera consulta en tiempo 90.40
Paciente 18 comienza consulta en tiempo 90.40
Paciente 14 termina consulta en tiempo 91.34
Paciente 14 completó su visita. Tiempo total: 6.77 minutos
Paciente 17 termina consulta en tiempo 92.80
Paciente 17 completó su visita. Tiempo total: 3.28 minutos
Paciente 15 termina consulta en tiempo 94.18
Paciente 15 completó su visita. Tiempo total: 6.94 minutos
Paciente 19 llega a recepción en tiempo 95.06
Paciente 19 comienza registro en tiempo 95.06
Paciente 16 termina consulta en tiempo 95.09
Paciente 16 completó su visita. Tiempo total: 7.53 minutos
Paciente 20 llega a recepción en tiempo 97.45
Paciente 18 termina consulta en tiempo 97.83
Paciente 18 completó su visita. Tiempo total: 8.06 minutos
Paciente 19 termina registro en tiempo 101.98
Paciente 19 espera consulta en tiempo 101.98
Paciente 19 comienza consulta en tiempo 101.98
Paciente 20 comienza registro en tiempo 101.98
Paciente 20 termina registro en tiempo 102.57
Paciente 20 espera consulta en tiempo 102.57
Paciente 20 comienza consulta en tiempo 102.57
Paciente 21 llega a recepción en tiempo 108.32
Paciente 21 comienza registro en tiempo 108.32
Paciente 19 termina consulta en tiempo 108.98
Paciente 19 completó su visita. Tiempo total: 13.91 minutos
Paciente 20 termina consulta en tiempo 109.50
Paciente 20 completó su visita. Tiempo total: 12.05 minutos
Paciente 22 llega a recepción en tiempo 110.10
Paciente 23 llega a recepción en tiempo 111.35
Paciente 21 termina registro en tiempo 111.79
Paciente 21 espera consulta en tiempo 111.79
Paciente 21 comienza consulta en tiempo 111.79
Paciente 22 comienza registro en tiempo 111.79
Paciente 24 llega a recepción en tiempo 111.83
Paciente 22 termina registro en tiempo 112.16
Paciente 22 espera consulta en tiempo 112.16
Paciente 22 comienza consulta en tiempo 112.16
Paciente 23 comienza registro en tiempo 112.16
Paciente 23 termina registro en tiempo 112.43
Paciente 23 espera consulta en tiempo 112.43
Paciente 23 comienza consulta en tiempo 112.43
Paciente 24 comienza registro en tiempo 112.43
Paciente 24 termina registro en tiempo 112.68
Paciente 24 espera consulta en tiempo 112.68
Paciente 24 comienza consulta en tiempo 112.68
Paciente 23 termina consulta en tiempo 116.92
Paciente 23 completó su visita. Tiempo total: 5.57 minutos
Paciente 21 termina consulta en tiempo 119.00
Paciente 21 completó su visita. Tiempo total: 10.68 minutos

Análisis de Resultados:

Total de pacientes atendidos: 22
Tiempo promedio en clínica: 9.17 minutos
Tiempo máximo en clínica: 20.50 minutos
Tiempo mínimo en clínica: 3.28 minutos
Desviación estándar: 4.09 minutos

```
In [39]: NUM RECEPCIONISTAS = 5
NUM MEDICOS = 1
tiempos_de_espera_totales = [] # Reiniciar la lista para nueva simulación

print("Simulación con 5 recepcionista y 1 médicos:")
simulacion()
```

Simulación con 5 recepcionista y 1 médicos:

Iniciando simulación...

Paciente 1 llega a recepción en tiempo 0.14
Paciente 1 comienza registro en tiempo 0.14
Paciente 1 termina registro en tiempo 2.27
Paciente 1 espera consulta en tiempo 2.27
Paciente 1 comienza consulta en tiempo 2.27
Paciente 2 llega a recepción en tiempo 2.61
Paciente 2 comienza registro en tiempo 2.61
Paciente 3 llega a recepción en tiempo 3.25
Paciente 3 comienza registro en tiempo 3.25
Paciente 3 termina registro en tiempo 3.77
Paciente 3 espera consulta en tiempo 3.77
Paciente 2 termina registro en tiempo 4.40
Paciente 2 espera consulta en tiempo 4.40
Paciente 4 llega a recepción en tiempo 6.24
Paciente 4 comienza registro en tiempo 6.24
Paciente 5 llega a recepción en tiempo 6.61
Paciente 5 comienza registro en tiempo 6.61
Paciente 6 llega a recepción en tiempo 6.94
Paciente 6 comienza registro en tiempo 6.94
Paciente 4 termina registro en tiempo 7.61
Paciente 4 espera consulta en tiempo 7.61
Paciente 6 termina registro en tiempo 7.67
Paciente 6 espera consulta en tiempo 7.67
Paciente 1 termina consulta en tiempo 7.96
Paciente 1 completó su visita. Tiempo total: 7.82 minutos
Paciente 3 comienza consulta en tiempo 7.96
Paciente 5 termina registro en tiempo 11.86
Paciente 5 espera consulta en tiempo 11.86
Paciente 7 llega a recepción en tiempo 13.56
Paciente 7 comienza registro en tiempo 13.56
Paciente 8 llega a recepción en tiempo 16.00
Paciente 8 comienza registro en tiempo 16.00
Paciente 7 termina registro en tiempo 17.72
Paciente 7 espera consulta en tiempo 17.72
Paciente 9 llega a recepción en tiempo 19.74
Paciente 9 comienza registro en tiempo 19.74
Paciente 9 termina registro en tiempo 20.54
Paciente 9 espera consulta en tiempo 20.54
Paciente 3 termina consulta en tiempo 21.27
Paciente 3 completó su visita. Tiempo total: 18.02 minutos
Paciente 2 comienza consulta en tiempo 21.27
Paciente 8 termina registro en tiempo 25.96
Paciente 8 espera consulta en tiempo 25.96
Paciente 10 llega a recepción en tiempo 26.71
Paciente 10 comienza registro en tiempo 26.71
Paciente 2 termina consulta en tiempo 28.03
Paciente 2 completó su visita. Tiempo total: 25.43 minutos
Paciente 4 comienza consulta en tiempo 28.03
Paciente 10 termina registro en tiempo 29.70
Paciente 10 espera consulta en tiempo 29.70
Paciente 11 llega a recepción en tiempo 31.10
Paciente 11 comienza registro en tiempo 31.10
Paciente 4 termina consulta en tiempo 33.84

Paciente 4 completó su visita. Tiempo total: 27.60 minutos
Paciente 6 comienza consulta en tiempo 33.84
Paciente 11 termina registro en tiempo 34.24
Paciente 11 espera consulta en tiempo 34.24
Paciente 6 termina consulta en tiempo 35.45
Paciente 6 completó su visita. Tiempo total: 28.51 minutos
Paciente 5 comienza consulta en tiempo 35.45
Paciente 12 llega a recepción en tiempo 35.97
Paciente 12 comienza registro en tiempo 35.97
Paciente 13 llega a recepción en tiempo 38.00
Paciente 13 comienza registro en tiempo 38.00
Paciente 13 termina registro en tiempo 38.03
Paciente 13 espera consulta en tiempo 38.03
Paciente 14 llega a recepción en tiempo 38.27
Paciente 14 comienza registro en tiempo 38.27
Paciente 12 termina registro en tiempo 38.37
Paciente 12 espera consulta en tiempo 38.37
Paciente 14 termina registro en tiempo 38.41
Paciente 14 espera consulta en tiempo 38.41
Paciente 15 llega a recepción en tiempo 43.69
Paciente 15 comienza registro en tiempo 43.69
Paciente 5 termina consulta en tiempo 44.05
Paciente 5 completó su visita. Tiempo total: 37.45 minutos
Paciente 7 comienza consulta en tiempo 44.05
Paciente 15 termina registro en tiempo 46.30
Paciente 15 espera consulta en tiempo 46.30
Paciente 7 termina consulta en tiempo 49.59
Paciente 7 completó su visita. Tiempo total: 36.03 minutos
Paciente 9 comienza consulta en tiempo 49.59
Paciente 16 llega a recepción en tiempo 52.41
Paciente 16 comienza registro en tiempo 52.41
Paciente 16 termina registro en tiempo 52.93
Paciente 16 espera consulta en tiempo 52.93
Paciente 17 llega a recepción en tiempo 56.58
Paciente 17 comienza registro en tiempo 56.58
Paciente 17 termina registro en tiempo 57.22
Paciente 17 espera consulta en tiempo 57.22
Paciente 18 llega a recepción en tiempo 57.29
Paciente 18 comienza registro en tiempo 57.29
Paciente 9 termina consulta en tiempo 58.94
Paciente 9 completó su visita. Tiempo total: 39.20 minutos
Paciente 8 comienza consulta en tiempo 58.94
Paciente 18 termina registro en tiempo 61.06
Paciente 18 espera consulta en tiempo 61.06
Paciente 19 llega a recepción en tiempo 62.47
Paciente 19 comienza registro en tiempo 62.47
Paciente 20 llega a recepción en tiempo 62.59
Paciente 20 comienza registro en tiempo 62.59
Paciente 20 termina registro en tiempo 62.92
Paciente 20 espera consulta en tiempo 62.92
Paciente 19 termina registro en tiempo 62.95
Paciente 19 espera consulta en tiempo 62.95
Paciente 8 termina consulta en tiempo 67.83
Paciente 8 completó su visita. Tiempo total: 51.83 minutos
Paciente 10 comienza consulta en tiempo 67.83
Paciente 21 llega a recepción en tiempo 68.22

Paciente 21 comienza registro en tiempo 68.22
Paciente 10 termina consulta en tiempo 73.31
Paciente 10 completó su visita. Tiempo total: 46.59 minutos
Paciente 11 comienza consulta en tiempo 73.31
Paciente 21 termina registro en tiempo 73.89
Paciente 21 espera consulta en tiempo 73.89
Paciente 22 llega a recepción en tiempo 75.86
Paciente 22 comienza registro en tiempo 75.86
Paciente 22 termina registro en tiempo 76.63
Paciente 22 espera consulta en tiempo 76.63
Paciente 23 llega a recepción en tiempo 76.73
Paciente 23 comienza registro en tiempo 76.73
Paciente 23 termina registro en tiempo 76.91
Paciente 23 espera consulta en tiempo 76.91
Paciente 24 llega a recepción en tiempo 77.61
Paciente 24 comienza registro en tiempo 77.61
Paciente 25 llega a recepción en tiempo 77.77
Paciente 25 comienza registro en tiempo 77.77
Paciente 25 termina registro en tiempo 78.90
Paciente 25 espera consulta en tiempo 78.90
Paciente 24 termina registro en tiempo 78.91
Paciente 24 espera consulta en tiempo 78.91
Paciente 11 termina consulta en tiempo 84.17
Paciente 11 completó su visita. Tiempo total: 53.07 minutos
Paciente 13 comienza consulta en tiempo 84.17
Paciente 26 llega a recepción en tiempo 84.49
Paciente 26 comienza registro en tiempo 84.49
Paciente 27 llega a recepción en tiempo 85.05
Paciente 27 comienza registro en tiempo 85.05
Paciente 27 termina registro en tiempo 87.25
Paciente 27 espera consulta en tiempo 87.25
Paciente 26 termina registro en tiempo 87.93
Paciente 26 espera consulta en tiempo 87.93
Paciente 13 termina consulta en tiempo 91.41
Paciente 13 completó su visita. Tiempo total: 53.40 minutos
Paciente 12 comienza consulta en tiempo 91.41
Paciente 12 termina consulta en tiempo 96.40
Paciente 12 completó su visita. Tiempo total: 60.43 minutos
Paciente 14 comienza consulta en tiempo 96.40
Paciente 28 llega a recepción en tiempo 98.93
Paciente 28 comienza registro en tiempo 98.93
Paciente 28 termina registro en tiempo 98.96
Paciente 28 espera consulta en tiempo 98.96
Paciente 29 llega a recepción en tiempo 101.13
Paciente 29 comienza registro en tiempo 101.13
Paciente 14 termina consulta en tiempo 103.32
Paciente 14 completó su visita. Tiempo total: 65.04 minutos
Paciente 15 comienza consulta en tiempo 103.32
Paciente 29 termina registro en tiempo 103.41
Paciente 29 espera consulta en tiempo 103.41
Paciente 30 llega a recepción en tiempo 103.96
Paciente 30 comienza registro en tiempo 103.96
Paciente 30 termina registro en tiempo 104.33
Paciente 30 espera consulta en tiempo 104.33
Paciente 15 termina consulta en tiempo 108.39
Paciente 15 completó su visita. Tiempo total: 64.70 minutos

Paciente 16 comienza consulta en tiempo 108.39
Paciente 16 termina consulta en tiempo 113.06
Paciente 16 completó su visita. Tiempo total: 60.65 minutos
Paciente 17 comienza consulta en tiempo 113.06
Paciente 31 llega a recepción en tiempo 114.08
Paciente 31 comienza registro en tiempo 114.08
Paciente 31 termina registro en tiempo 114.61
Paciente 31 espera consulta en tiempo 114.61
Paciente 32 llega a recepción en tiempo 115.24
Paciente 32 comienza registro en tiempo 115.24
Paciente 32 termina registro en tiempo 116.58
Paciente 32 espera consulta en tiempo 116.58
Paciente 33 llega a recepción en tiempo 117.42
Paciente 33 comienza registro en tiempo 117.42
Paciente 33 termina registro en tiempo 118.09
Paciente 33 espera consulta en tiempo 118.09
Paciente 17 termina consulta en tiempo 118.96
Paciente 17 completó su visita. Tiempo total: 62.38 minutos
Paciente 18 comienza consulta en tiempo 118.96

Análisis de Resultados:

Total de pacientes atendidos: 17
Tiempo promedio en clínica: 43.42 minutos
Tiempo máximo en clínica: 65.04 minutos
Tiempo mínimo en clínica: 7.82 minutos
Desviación estándar: 17.60 minutos

a. Tras ejecutar la simulación, ¿observa usted una disminución sustancial en el tiempo promedio que los pacientes pasan en la clínica?

Si, se ve una pequeña disminución de tiempo, de 10 minutos, ahora son 9 minutos.

b. Con base en este resultado, ¿cuál de los dos recursos (receptionistas o médicos) concluye usted que es el cuello de botella del sistema? Por favor, explique su razonamiento.

El cuello de botella son los médicos, ya que de igual manera se realizó la prueba de aumentar el numero de receptionistas para ver como se comportaba y el tiempo empeoró. Esto se debe a que donde se tardan más las personas es en la consulta, por lo que en la parte de registro se pueden ir acumulando pacientes pero irán pasando rápido de igual manera porque no toma mucho tiempo, en cambio si se acumulan en la parte de consulta, los médicos no se dan a bosto con los pacientes y se acumulan más y más, generando un atraso y aumento de tiempo dentro de la clínica

3. Restablezca el número de médicos a su valor original (NUM_MEDICOS = 2). Ahora, dirija su atención al recurso que identificó como el cuello de botella en la pregunta anterior. Si fue el receptionista, modifique el parámetro a NUM_RECEPCIONISTAS = 2 y ejecute la simulación.

```
In [49]: NUM RECEPCIONISTAS = 2
NUM MEDICOS = 2
tiempos_de_espera_totales = [] # Reiniciar La lista para nueva simulación

print("Simulación con 2 recepcionista y 2 médicos:")
simulacion()
```

Simulación con 2 recepcionista y 2 médicos:

Iniciando simulación...

Paciente 1 llega a recepción en tiempo 2.19
Paciente 1 comienza registro en tiempo 2.19
Paciente 2 llega a recepción en tiempo 2.87
Paciente 2 comienza registro en tiempo 2.87
Paciente 1 termina registro en tiempo 4.63
Paciente 1 espera consulta en tiempo 4.63
Paciente 1 comienza consulta en tiempo 4.63
Paciente 2 termina registro en tiempo 6.32
Paciente 2 espera consulta en tiempo 6.32
Paciente 2 comienza consulta en tiempo 6.32
Paciente 1 termina consulta en tiempo 9.96
Paciente 1 completó su visita. Tiempo total: 7.77 minutos
Paciente 3 llega a recepción en tiempo 11.95
Paciente 3 comienza registro en tiempo 11.95
Paciente 3 termina registro en tiempo 13.05
Paciente 3 espera consulta en tiempo 13.05
Paciente 3 comienza consulta en tiempo 13.05
Paciente 2 termina consulta en tiempo 13.21
Paciente 2 completó su visita. Tiempo total: 10.34 minutos
Paciente 4 llega a recepción en tiempo 14.07
Paciente 4 comienza registro en tiempo 14.07
Paciente 4 termina registro en tiempo 14.14
Paciente 4 espera consulta en tiempo 14.14
Paciente 4 comienza consulta en tiempo 14.14
Paciente 5 llega a recepción en tiempo 14.65
Paciente 5 comienza registro en tiempo 14.65
Paciente 6 llega a recepción en tiempo 15.28
Paciente 6 comienza registro en tiempo 15.28
Paciente 6 termina registro en tiempo 15.36
Paciente 6 espera consulta en tiempo 15.36
Paciente 5 termina registro en tiempo 15.82
Paciente 5 espera consulta en tiempo 15.82
Paciente 7 llega a recepción en tiempo 18.26
Paciente 7 comienza registro en tiempo 18.26
Paciente 7 termina registro en tiempo 19.58
Paciente 7 espera consulta en tiempo 19.58
Paciente 8 llega a recepción en tiempo 20.61
Paciente 8 comienza registro en tiempo 20.61
Paciente 4 termina consulta en tiempo 20.76
Paciente 4 completó su visita. Tiempo total: 6.69 minutos
Paciente 6 comienza consulta en tiempo 20.76
Paciente 3 termina consulta en tiempo 22.05
Paciente 3 completó su visita. Tiempo total: 10.10 minutos
Paciente 5 comienza consulta en tiempo 22.05
Paciente 8 termina registro en tiempo 22.82
Paciente 8 espera consulta en tiempo 22.82
Paciente 6 termina consulta en tiempo 23.99
Paciente 6 completó su visita. Tiempo total: 8.71 minutos
Paciente 7 comienza consulta en tiempo 23.99
Paciente 9 llega a recepción en tiempo 24.69
Paciente 9 comienza registro en tiempo 24.69
Paciente 10 llega a recepción en tiempo 26.32
Paciente 10 comienza registro en tiempo 26.32

Paciente 10 termina registro en tiempo 26.95
Paciente 10 espera consulta en tiempo 26.95
Paciente 9 termina registro en tiempo 27.28
Paciente 9 espera consulta en tiempo 27.28
Paciente 11 llega a recepción en tiempo 27.32
Paciente 11 comienza registro en tiempo 27.32
Paciente 5 termina consulta en tiempo 28.08
Paciente 5 completó su visita. Tiempo total: 13.43 minutos
Paciente 8 comienza consulta en tiempo 28.08
Paciente 11 termina registro en tiempo 28.21
Paciente 11 espera consulta en tiempo 28.21
Paciente 12 llega a recepción en tiempo 29.20
Paciente 12 comienza registro en tiempo 29.20
Paciente 12 termina registro en tiempo 30.16
Paciente 12 espera consulta en tiempo 30.16
Paciente 7 termina consulta en tiempo 32.95
Paciente 7 completó su visita. Tiempo total: 14.68 minutos
Paciente 10 comienza consulta en tiempo 32.95
Paciente 8 termina consulta en tiempo 38.85
Paciente 8 completó su visita. Tiempo total: 18.24 minutos
Paciente 9 comienza consulta en tiempo 38.85
Paciente 10 termina consulta en tiempo 39.88
Paciente 10 completó su visita. Tiempo total: 13.56 minutos
Paciente 11 comienza consulta en tiempo 39.88
Paciente 13 llega a recepción en tiempo 44.06
Paciente 13 comienza registro en tiempo 44.06
Paciente 13 termina registro en tiempo 45.93
Paciente 13 espera consulta en tiempo 45.93
Paciente 11 termina consulta en tiempo 46.23
Paciente 11 completó su visita. Tiempo total: 18.91 minutos
Paciente 12 comienza consulta en tiempo 46.23
Paciente 9 termina consulta en tiempo 48.10
Paciente 9 completó su visita. Tiempo total: 23.41 minutos
Paciente 13 comienza consulta en tiempo 48.10
Paciente 14 llega a recepción en tiempo 49.88
Paciente 14 comienza registro en tiempo 49.88
Paciente 14 termina registro en tiempo 50.34
Paciente 14 espera consulta en tiempo 50.34
Paciente 15 llega a recepción en tiempo 50.74
Paciente 15 comienza registro en tiempo 50.74
Paciente 16 llega a recepción en tiempo 53.00
Paciente 16 comienza registro en tiempo 53.00
Paciente 15 termina registro en tiempo 54.18
Paciente 15 espera consulta en tiempo 54.18
Paciente 12 termina consulta en tiempo 54.79
Paciente 12 completó su visita. Tiempo total: 25.59 minutos
Paciente 14 comienza consulta en tiempo 54.79
Paciente 13 termina consulta en tiempo 55.41
Paciente 13 completó su visita. Tiempo total: 11.35 minutos
Paciente 15 comienza consulta en tiempo 55.41
Paciente 17 llega a recepción en tiempo 56.98
Paciente 17 comienza registro en tiempo 56.98
Paciente 16 termina registro en tiempo 57.50
Paciente 16 espera consulta en tiempo 57.50
Paciente 18 llega a recepción en tiempo 58.40
Paciente 18 comienza registro en tiempo 58.40

Paciente 17 termina registro en tiempo 58.40
Paciente 17 espera consulta en tiempo 58.40
Paciente 18 termina registro en tiempo 59.06
Paciente 18 espera consulta en tiempo 59.06
Paciente 19 llega a recepción en tiempo 62.85
Paciente 19 comienza registro en tiempo 62.85
Paciente 14 termina consulta en tiempo 63.02
Paciente 14 completó su visita. Tiempo total: 13.15 minutos
Paciente 16 comienza consulta en tiempo 63.02
Paciente 20 llega a recepción en tiempo 63.15
Paciente 20 comienza registro en tiempo 63.15
Paciente 15 termina consulta en tiempo 63.45
Paciente 15 completó su visita. Tiempo total: 12.71 minutos
Paciente 17 comienza consulta en tiempo 63.45
Paciente 19 termina registro en tiempo 64.85
Paciente 19 espera consulta en tiempo 64.85
Paciente 21 llega a recepción en tiempo 64.90
Paciente 21 comienza registro en tiempo 64.90
Paciente 21 termina registro en tiempo 67.18
Paciente 21 espera consulta en tiempo 67.18
Paciente 20 termina registro en tiempo 67.72
Paciente 20 espera consulta en tiempo 67.72
Paciente 22 llega a recepción en tiempo 68.72
Paciente 22 comienza registro en tiempo 68.72
Paciente 17 termina consulta en tiempo 68.74
Paciente 17 completó su visita. Tiempo total: 11.77 minutos
Paciente 18 comienza consulta en tiempo 68.74
Paciente 23 llega a recepción en tiempo 70.84
Paciente 23 comienza registro en tiempo 70.84
Paciente 23 termina registro en tiempo 71.07
Paciente 23 espera consulta en tiempo 71.07
Paciente 16 termina consulta en tiempo 72.87
Paciente 16 completó su visita. Tiempo total: 19.88 minutos
Paciente 19 comienza consulta en tiempo 72.87
Paciente 22 termina registro en tiempo 74.35
Paciente 22 espera consulta en tiempo 74.35
Paciente 18 termina consulta en tiempo 77.64
Paciente 18 completó su visita. Tiempo total: 19.24 minutos
Paciente 21 comienza consulta en tiempo 77.64
Paciente 24 llega a recepción en tiempo 78.23
Paciente 24 comienza registro en tiempo 78.23
Paciente 19 termina consulta en tiempo 80.02
Paciente 19 completó su visita. Tiempo total: 17.17 minutos
Paciente 20 comienza consulta en tiempo 80.02
Paciente 24 termina registro en tiempo 81.31
Paciente 24 espera consulta en tiempo 81.31
Paciente 21 termina consulta en tiempo 85.40
Paciente 21 completó su visita. Tiempo total: 20.51 minutos
Paciente 23 comienza consulta en tiempo 85.40
Paciente 20 termina consulta en tiempo 85.56
Paciente 20 completó su visita. Tiempo total: 22.41 minutos
Paciente 22 comienza consulta en tiempo 85.56
Paciente 25 llega a recepción en tiempo 89.06
Paciente 25 comienza registro en tiempo 89.06
Paciente 25 termina registro en tiempo 89.10
Paciente 25 espera consulta en tiempo 89.10

Paciente 26 llega a recepción en tiempo 89.32
Paciente 26 comienza registro en tiempo 89.32
Paciente 23 termina consulta en tiempo 92.31
Paciente 23 completó su visita. Tiempo total: 21.47 minutos
Paciente 24 comienza consulta en tiempo 92.31
Paciente 22 termina consulta en tiempo 93.43
Paciente 22 completó su visita. Tiempo total: 24.71 minutos
Paciente 25 comienza consulta en tiempo 93.43
Paciente 26 termina registro en tiempo 96.23
Paciente 26 espera consulta en tiempo 96.23
Paciente 27 llega a recepción en tiempo 100.88
Paciente 27 comienza registro en tiempo 100.88
Paciente 24 termina consulta en tiempo 100.92
Paciente 24 completó su visita. Tiempo total: 22.70 minutos
Paciente 26 comienza consulta en tiempo 100.92
Paciente 25 termina consulta en tiempo 102.52
Paciente 25 completó su visita. Tiempo total: 13.46 minutos
Paciente 28 llega a recepción en tiempo 104.35
Paciente 28 comienza registro en tiempo 104.35
Paciente 26 termina consulta en tiempo 104.49
Paciente 26 completó su visita. Tiempo total: 15.17 minutos
Paciente 28 termina registro en tiempo 104.57
Paciente 28 espera consulta en tiempo 104.57
Paciente 28 comienza consulta en tiempo 104.57
Paciente 27 termina registro en tiempo 106.99
Paciente 27 espera consulta en tiempo 106.99
Paciente 27 comienza consulta en tiempo 106.99
Paciente 29 llega a recepción en tiempo 108.52
Paciente 29 comienza registro en tiempo 108.52
Paciente 29 termina registro en tiempo 108.61
Paciente 29 espera consulta en tiempo 108.61
Paciente 30 llega a recepción en tiempo 111.43
Paciente 30 comienza registro en tiempo 111.43
Paciente 28 termina consulta en tiempo 112.47
Paciente 28 completó su visita. Tiempo total: 8.12 minutos
Paciente 29 comienza consulta en tiempo 112.47
Paciente 30 termina registro en tiempo 112.52
Paciente 30 espera consulta en tiempo 112.52
Paciente 31 llega a recepción en tiempo 113.93
Paciente 31 comienza registro en tiempo 113.93
Paciente 32 llega a recepción en tiempo 114.19
Paciente 32 comienza registro en tiempo 114.19
Paciente 27 termina consulta en tiempo 114.47
Paciente 27 completó su visita. Tiempo total: 13.59 minutos
Paciente 30 comienza consulta en tiempo 114.47
Paciente 31 termina registro en tiempo 115.93
Paciente 31 espera consulta en tiempo 115.93
Paciente 33 llega a recepción en tiempo 116.94
Paciente 33 comienza registro en tiempo 116.94
Paciente 32 termina registro en tiempo 117.83
Paciente 32 espera consulta en tiempo 117.83

Análisis de Resultados:

Total de pacientes atendidos: 28

Tiempo promedio en clínica: 15.67 minutos

Tiempo máximo en clínica: 25.59 minutos

Tiempo mínimo en clínica: 6.69 minutos
Desviación estándar: 5.51 minutos

a. Compare el tiempo promedio resultante en la clínica de este nuevo escenario con el obtenido en la línea base (pregunta 1).

Podemos observar que el tiempo es mayor la que se tenía en la linea base, aumentando por aprox 5 minutos, esto reafirma nustro punto de arriba indicando que nuestro cuello de botella no son los recepcionistas si no los médicos, al ser quienes consumen una mayor cantidad de tiempo.

b. ¿Qué intervención resultó más efectiva para mejorar el rendimiento global del sistema: el incremento de médicos (pregunta 2) o el de recepcionistas?

Definitivamente el incremento de médicos.

```
In [53]: TASA_LLEGADA_PACIENTES = 3/5
NUM RECEPCIONISTAS = 4
NUM_MEDICOS = 10
tiempos_de_espera_totales = [] # Reiniciar la lista para nueva simulación

print("Simulación con 2 recepcionista y 2 médicos:")
simulacion()
```

Simulación con 2 recepcionista y 2 médicos:

Iniciando simulación...

Paciente 1 llega a recepción en tiempo 0.42
Paciente 1 comienza registro en tiempo 0.42
Paciente 1 termina registro en tiempo 1.28
Paciente 1 espera consulta en tiempo 1.28
Paciente 1 comienza consulta en tiempo 1.28
Paciente 2 llega a recepción en tiempo 2.14
Paciente 2 comienza registro en tiempo 2.14
Paciente 3 llega a recepción en tiempo 2.41
Paciente 3 comienza registro en tiempo 2.41
Paciente 2 termina registro en tiempo 2.72
Paciente 2 espera consulta en tiempo 2.72
Paciente 2 comienza consulta en tiempo 2.72
Paciente 3 termina registro en tiempo 3.24
Paciente 3 espera consulta en tiempo 3.24
Paciente 3 comienza consulta en tiempo 3.24
Paciente 4 llega a recepción en tiempo 4.84
Paciente 4 comienza registro en tiempo 4.84
Paciente 5 llega a recepción en tiempo 4.91
Paciente 5 comienza registro en tiempo 4.91
Paciente 4 termina registro en tiempo 5.43
Paciente 4 espera consulta en tiempo 5.43
Paciente 4 comienza consulta en tiempo 5.43
Paciente 6 llega a recepción en tiempo 5.71
Paciente 6 comienza registro en tiempo 5.71
Paciente 1 termina consulta en tiempo 6.44
Paciente 1 completó su visita. Tiempo total: 6.02 minutos
Paciente 3 termina consulta en tiempo 7.68
Paciente 3 completó su visita. Tiempo total: 5.27 minutos
Paciente 7 llega a recepción en tiempo 8.39
Paciente 7 comienza registro en tiempo 8.39
Paciente 5 termina registro en tiempo 8.56
Paciente 5 espera consulta en tiempo 8.56
Paciente 5 comienza consulta en tiempo 8.56
Paciente 7 termina registro en tiempo 9.89
Paciente 7 espera consulta en tiempo 9.89
Paciente 7 comienza consulta en tiempo 9.89
Paciente 6 termina registro en tiempo 10.95
Paciente 6 espera consulta en tiempo 10.95
Paciente 6 comienza consulta en tiempo 10.95
Paciente 8 llega a recepción en tiempo 11.92
Paciente 8 comienza registro en tiempo 11.92
Paciente 2 termina consulta en tiempo 12.18
Paciente 2 completó su visita. Tiempo total: 10.04 minutos
Paciente 8 termina registro en tiempo 12.40
Paciente 8 espera consulta en tiempo 12.40
Paciente 8 comienza consulta en tiempo 12.40
Paciente 9 llega a recepción en tiempo 12.81
Paciente 9 comienza registro en tiempo 12.81
Paciente 9 termina registro en tiempo 12.81
Paciente 9 espera consulta en tiempo 12.81
Paciente 9 comienza consulta en tiempo 12.81
Paciente 10 llega a recepción en tiempo 13.33
Paciente 10 comienza registro en tiempo 13.33

Paciente 11 llega a recepción en tiempo 13.88
Paciente 11 comienza registro en tiempo 13.88
Paciente 12 llega a recepción en tiempo 14.04
Paciente 12 comienza registro en tiempo 14.04
Paciente 12 termina registro en tiempo 14.27
Paciente 12 espera consulta en tiempo 14.27
Paciente 12 comienza consulta en tiempo 14.27
Paciente 4 termina consulta en tiempo 14.44
Paciente 4 completó su visita. Tiempo total: 9.60 minutos
Paciente 11 termina registro en tiempo 16.02
Paciente 11 espera consulta en tiempo 16.02
Paciente 11 comienza consulta en tiempo 16.02
Paciente 10 termina registro en tiempo 16.53
Paciente 10 espera consulta en tiempo 16.53
Paciente 10 comienza consulta en tiempo 16.53
Paciente 13 llega a recepción en tiempo 16.56
Paciente 13 comienza registro en tiempo 16.56
Paciente 14 llega a recepción en tiempo 16.65
Paciente 14 comienza registro en tiempo 16.65
Paciente 7 termina consulta en tiempo 16.76
Paciente 7 completó su visita. Tiempo total: 8.37 minutos
Paciente 5 termina consulta en tiempo 17.42
Paciente 5 completó su visita. Tiempo total: 12.51 minutos
Paciente 15 llega a recepción en tiempo 17.54
Paciente 15 comienza registro en tiempo 17.54
Paciente 6 termina consulta en tiempo 17.67
Paciente 6 completó su visita. Tiempo total: 11.96 minutos
Paciente 14 termina registro en tiempo 17.89
Paciente 14 espera consulta en tiempo 17.89
Paciente 14 comienza consulta en tiempo 17.89
Paciente 16 llega a recepción en tiempo 18.38
Paciente 16 comienza registro en tiempo 18.38
Paciente 17 llega a recepción en tiempo 18.60
Paciente 17 comienza registro en tiempo 18.60
Paciente 9 termina consulta en tiempo 19.13
Paciente 9 completó su visita. Tiempo total: 6.32 minutos
Paciente 16 termina registro en tiempo 19.35
Paciente 16 espera consulta en tiempo 19.35
Paciente 16 comienza consulta en tiempo 19.35
Paciente 13 termina registro en tiempo 19.58
Paciente 13 espera consulta en tiempo 19.58
Paciente 13 comienza consulta en tiempo 19.58
Paciente 17 termina registro en tiempo 20.47
Paciente 17 espera consulta en tiempo 20.47
Paciente 17 comienza consulta en tiempo 20.47
Paciente 15 termina registro en tiempo 20.65
Paciente 15 espera consulta en tiempo 20.65
Paciente 15 comienza consulta en tiempo 20.65
Paciente 8 termina consulta en tiempo 20.77
Paciente 8 completó su visita. Tiempo total: 8.86 minutos
Paciente 18 llega a recepción en tiempo 22.10
Paciente 18 comienza registro en tiempo 22.10
Paciente 11 termina consulta en tiempo 22.66
Paciente 11 completó su visita. Tiempo total: 8.78 minutos
Paciente 12 termina consulta en tiempo 22.75
Paciente 12 completó su visita. Tiempo total: 8.71 minutos

Paciente 19 llega a recepción en tiempo 24.30
Paciente 19 comienza registro en tiempo 24.30
Paciente 20 llega a recepción en tiempo 24.38
Paciente 20 comienza registro en tiempo 24.38
Paciente 17 termina consulta en tiempo 24.87
Paciente 17 completó su visita. Tiempo total: 6.27 minutos
Paciente 14 termina consulta en tiempo 25.53
Paciente 14 completó su visita. Tiempo total: 8.89 minutos
Paciente 10 termina consulta en tiempo 25.76
Paciente 10 completó su visita. Tiempo total: 12.43 minutos
Paciente 18 termina registro en tiempo 25.82
Paciente 18 espera consulta en tiempo 25.82
Paciente 18 comienza consulta en tiempo 25.82
Paciente 13 termina consulta en tiempo 26.25
Paciente 13 completó su visita. Tiempo total: 9.69 minutos
Paciente 20 termina registro en tiempo 26.28
Paciente 20 espera consulta en tiempo 26.28
Paciente 20 comienza consulta en tiempo 26.28
Paciente 15 termina consulta en tiempo 26.52
Paciente 15 completó su visita. Tiempo total: 8.98 minutos
Paciente 21 llega a recepción en tiempo 27.02
Paciente 21 comienza registro en tiempo 27.02
Paciente 21 termina registro en tiempo 27.21
Paciente 21 espera consulta en tiempo 27.21
Paciente 21 comienza consulta en tiempo 27.21
Paciente 22 llega a recepción en tiempo 27.25
Paciente 22 comienza registro en tiempo 27.25
Paciente 19 termina registro en tiempo 27.62
Paciente 19 espera consulta en tiempo 27.62
Paciente 19 comienza consulta en tiempo 27.62
Paciente 23 llega a recepción en tiempo 27.67
Paciente 23 comienza registro en tiempo 27.67
Paciente 22 termina registro en tiempo 28.17
Paciente 22 espera consulta en tiempo 28.17
Paciente 22 comienza consulta en tiempo 28.17
Paciente 24 llega a recepción en tiempo 28.18
Paciente 24 comienza registro en tiempo 28.18
Paciente 23 termina registro en tiempo 28.19
Paciente 23 espera consulta en tiempo 28.19
Paciente 23 comienza consulta en tiempo 28.19
Paciente 16 termina consulta en tiempo 28.98
Paciente 16 completó su visita. Tiempo total: 10.60 minutos
Paciente 24 termina registro en tiempo 32.89
Paciente 24 espera consulta en tiempo 32.89
Paciente 24 comienza consulta en tiempo 32.89
Paciente 20 termina consulta en tiempo 33.18
Paciente 20 completó su visita. Tiempo total: 8.81 minutos
Paciente 25 llega a recepción en tiempo 33.56
Paciente 25 comienza registro en tiempo 33.56
Paciente 18 termina consulta en tiempo 34.13
Paciente 18 completó su visita. Tiempo total: 12.03 minutos
Paciente 26 llega a recepción en tiempo 34.59
Paciente 26 comienza registro en tiempo 34.59
Paciente 26 termina registro en tiempo 34.85
Paciente 26 espera consulta en tiempo 34.85
Paciente 26 comienza consulta en tiempo 34.85

Paciente 25 termina registro en tiempo 35.08
Paciente 25 espera consulta en tiempo 35.08
Paciente 25 comienza consulta en tiempo 35.08
Paciente 21 termina consulta en tiempo 35.39
Paciente 21 completó su visita. Tiempo total: 8.37 minutos
Paciente 19 termina consulta en tiempo 36.04
Paciente 19 completó su visita. Tiempo total: 11.74 minutos
Paciente 27 llega a recepción en tiempo 36.64
Paciente 27 comienza registro en tiempo 36.64
Paciente 27 termina registro en tiempo 37.12
Paciente 27 espera consulta en tiempo 37.12
Paciente 27 comienza consulta en tiempo 37.12
Paciente 23 termina consulta en tiempo 37.73
Paciente 23 completó su visita. Tiempo total: 10.06 minutos
Paciente 28 llega a recepción en tiempo 37.84
Paciente 28 comienza registro en tiempo 37.84
Paciente 29 llega a recepción en tiempo 37.87
Paciente 29 comienza registro en tiempo 37.87
Paciente 22 termina consulta en tiempo 38.93
Paciente 22 completó su visita. Tiempo total: 11.67 minutos
Paciente 24 termina consulta en tiempo 39.26
Paciente 24 completó su visita. Tiempo total: 11.09 minutos
Paciente 28 termina registro en tiempo 39.63
Paciente 28 espera consulta en tiempo 39.63
Paciente 28 comienza consulta en tiempo 39.63
Paciente 29 termina registro en tiempo 39.70
Paciente 29 espera consulta en tiempo 39.70
Paciente 29 comienza consulta en tiempo 39.70
Paciente 30 llega a recepción en tiempo 41.16
Paciente 30 comienza registro en tiempo 41.16
Paciente 25 termina consulta en tiempo 41.81
Paciente 25 completó su visita. Tiempo total: 8.26 minutos
Paciente 30 termina registro en tiempo 41.91
Paciente 30 espera consulta en tiempo 41.91
Paciente 30 comienza consulta en tiempo 41.91
Paciente 31 llega a recepción en tiempo 42.00
Paciente 31 comienza registro en tiempo 42.00
Paciente 27 termina consulta en tiempo 42.39
Paciente 27 completó su visita. Tiempo total: 5.74 minutos
Paciente 32 llega a recepción en tiempo 42.71
Paciente 32 comienza registro en tiempo 42.71
Paciente 32 termina registro en tiempo 43.31
Paciente 32 espera consulta en tiempo 43.31
Paciente 32 comienza consulta en tiempo 43.31
Paciente 26 termina consulta en tiempo 43.35
Paciente 26 completó su visita. Tiempo total: 8.76 minutos
Paciente 31 termina registro en tiempo 43.60
Paciente 31 espera consulta en tiempo 43.60
Paciente 31 comienza consulta en tiempo 43.60
Paciente 33 llega a recepción en tiempo 45.52
Paciente 33 comienza registro en tiempo 45.52
Paciente 29 termina consulta en tiempo 46.48
Paciente 29 completó su visita. Tiempo total: 8.61 minutos
Paciente 34 llega a recepción en tiempo 46.87
Paciente 34 comienza registro en tiempo 46.87
Paciente 33 termina registro en tiempo 47.10

Paciente 33 espera consulta en tiempo 47.10
Paciente 33 comienza consulta en tiempo 47.10
Paciente 34 termina registro en tiempo 47.11
Paciente 34 espera consulta en tiempo 47.11
Paciente 34 comienza consulta en tiempo 47.11
Paciente 35 llega a recepción en tiempo 47.28
Paciente 35 comienza registro en tiempo 47.28
Paciente 36 llega a recepción en tiempo 47.88
Paciente 36 comienza registro en tiempo 47.88
Paciente 28 termina consulta en tiempo 47.98
Paciente 28 completó su visita. Tiempo total: 10.14 minutos
Paciente 37 llega a recepción en tiempo 49.03
Paciente 37 comienza registro en tiempo 49.03
Paciente 36 termina registro en tiempo 49.65
Paciente 36 espera consulta en tiempo 49.65
Paciente 36 comienza consulta en tiempo 49.65
Paciente 30 termina consulta en tiempo 49.77
Paciente 30 completó su visita. Tiempo total: 8.61 minutos
Paciente 38 llega a recepción en tiempo 49.85
Paciente 38 comienza registro en tiempo 49.85
Paciente 38 termina registro en tiempo 49.97
Paciente 38 espera consulta en tiempo 49.97
Paciente 38 comienza consulta en tiempo 49.97
Paciente 39 llega a recepción en tiempo 50.17
Paciente 39 comienza registro en tiempo 50.17
Paciente 40 llega a recepción en tiempo 50.42
Paciente 40 comienza registro en tiempo 50.42
Paciente 39 termina registro en tiempo 50.50
Paciente 39 espera consulta en tiempo 50.50
Paciente 39 comienza consulta en tiempo 50.50
Paciente 40 termina registro en tiempo 50.55
Paciente 40 espera consulta en tiempo 50.55
Paciente 40 comienza consulta en tiempo 50.55
Paciente 41 llega a recepción en tiempo 51.18
Paciente 41 comienza registro en tiempo 51.18
Paciente 37 termina registro en tiempo 51.27
Paciente 37 espera consulta en tiempo 51.27
Paciente 37 comienza consulta en tiempo 51.27
Paciente 42 llega a recepción en tiempo 51.42
Paciente 42 comienza registro en tiempo 51.42
Paciente 42 termina registro en tiempo 51.75
Paciente 42 espera consulta en tiempo 51.75
Paciente 42 comienza consulta en tiempo 51.75
Paciente 41 termina registro en tiempo 51.79
Paciente 41 espera consulta en tiempo 51.79
Paciente 43 llega a recepción en tiempo 52.24
Paciente 43 comienza registro en tiempo 52.24
Paciente 43 termina registro en tiempo 52.58
Paciente 43 espera consulta en tiempo 52.58
Paciente 31 termina consulta en tiempo 52.98
Paciente 31 completó su visita. Tiempo total: 10.97 minutos
Paciente 41 comienza consulta en tiempo 52.98
Paciente 35 termina registro en tiempo 53.21
Paciente 35 espera consulta en tiempo 53.21
Paciente 32 termina consulta en tiempo 53.41
Paciente 32 completó su visita. Tiempo total: 10.69 minutos

Paciente 43 comienza consulta en tiempo 53.41
Paciente 44 llega a recepción en tiempo 53.70
Paciente 44 comienza registro en tiempo 53.70
Paciente 45 llega a recepción en tiempo 54.11
Paciente 45 comienza registro en tiempo 54.11
Paciente 45 termina registro en tiempo 54.33
Paciente 45 espera consulta en tiempo 54.33
Paciente 44 termina registro en tiempo 54.59
Paciente 44 espera consulta en tiempo 54.59
Paciente 46 llega a recepción en tiempo 56.31
Paciente 46 comienza registro en tiempo 56.31
Paciente 46 termina registro en tiempo 56.37
Paciente 46 espera consulta en tiempo 56.37
Paciente 34 termina consulta en tiempo 56.37
Paciente 34 completó su visita. Tiempo total: 9.50 minutos
Paciente 35 comienza consulta en tiempo 56.37
Paciente 37 termina consulta en tiempo 56.39
Paciente 37 completó su visita. Tiempo total: 7.36 minutos
Paciente 45 comienza consulta en tiempo 56.39
Paciente 36 termina consulta en tiempo 56.67
Paciente 36 completó su visita. Tiempo total: 8.79 minutos
Paciente 44 comienza consulta en tiempo 56.67
Paciente 38 termina consulta en tiempo 57.10
Paciente 38 completó su visita. Tiempo total: 7.25 minutos
Paciente 46 comienza consulta en tiempo 57.10
Paciente 47 llega a recepción en tiempo 57.10
Paciente 47 comienza registro en tiempo 57.10
Paciente 42 termina consulta en tiempo 57.39
Paciente 42 completó su visita. Tiempo total: 5.97 minutos
Paciente 48 llega a recepción en tiempo 57.42
Paciente 48 comienza registro en tiempo 57.42
Paciente 40 termina consulta en tiempo 57.53
Paciente 40 completó su visita. Tiempo total: 7.11 minutos
Paciente 33 termina consulta en tiempo 58.38
Paciente 33 completó su visita. Tiempo total: 12.87 minutos
Paciente 49 llega a recepción en tiempo 58.86
Paciente 49 comienza registro en tiempo 58.86
Paciente 39 termina consulta en tiempo 59.13
Paciente 39 completó su visita. Tiempo total: 8.95 minutos
Paciente 48 termina registro en tiempo 59.58
Paciente 48 espera consulta en tiempo 59.58
Paciente 48 comienza consulta en tiempo 59.58
Paciente 43 termina consulta en tiempo 60.11
Paciente 43 completó su visita. Tiempo total: 7.87 minutos
Paciente 50 llega a recepción en tiempo 60.58
Paciente 50 comienza registro en tiempo 60.58
Paciente 51 llega a recepción en tiempo 61.83
Paciente 51 comienza registro en tiempo 61.83
Paciente 51 termina registro en tiempo 61.99
Paciente 51 espera consulta en tiempo 61.99
Paciente 51 comienza consulta en tiempo 61.99
Paciente 41 termina consulta en tiempo 62.07
Paciente 41 completó su visita. Tiempo total: 10.89 minutos
Paciente 49 termina registro en tiempo 62.64
Paciente 49 espera consulta en tiempo 62.64
Paciente 49 comienza consulta en tiempo 62.64

Paciente 50 termina registro en tiempo 62.73
Paciente 50 espera consulta en tiempo 62.73
Paciente 50 comienza consulta en tiempo 62.73
Paciente 47 termina registro en tiempo 63.60
Paciente 47 espera consulta en tiempo 63.60
Paciente 47 comienza consulta en tiempo 63.60
Paciente 45 termina consulta en tiempo 63.95
Paciente 45 completó su visita. Tiempo total: 9.85 minutos
Paciente 35 termina consulta en tiempo 64.35
Paciente 35 completó su visita. Tiempo total: 17.07 minutos
Paciente 44 termina consulta en tiempo 65.16
Paciente 44 completó su visita. Tiempo total: 11.46 minutos
Paciente 51 termina consulta en tiempo 65.18
Paciente 51 completó su visita. Tiempo total: 3.35 minutos
Paciente 46 termina consulta en tiempo 65.31
Paciente 46 completó su visita. Tiempo total: 9.00 minutos
Paciente 48 termina consulta en tiempo 66.63
Paciente 48 completó su visita. Tiempo total: 9.21 minutos
Paciente 47 termina consulta en tiempo 67.39
Paciente 47 completó su visita. Tiempo total: 10.28 minutos
Paciente 50 termina consulta en tiempo 68.27
Paciente 50 completó su visita. Tiempo total: 7.69 minutos
Paciente 49 termina consulta en tiempo 69.16
Paciente 49 completó su visita. Tiempo total: 10.30 minutos
Paciente 52 llega a recepción en tiempo 70.04
Paciente 52 comienza registro en tiempo 70.04
Paciente 52 termina registro en tiempo 71.60
Paciente 52 espera consulta en tiempo 71.60
Paciente 52 comienza consulta en tiempo 71.60
Paciente 53 llega a recepción en tiempo 71.88
Paciente 53 comienza registro en tiempo 71.88
Paciente 54 llega a recepción en tiempo 72.71
Paciente 54 comienza registro en tiempo 72.71
Paciente 55 llega a recepción en tiempo 72.88
Paciente 55 comienza registro en tiempo 72.88
Paciente 56 llega a recepción en tiempo 73.47
Paciente 56 comienza registro en tiempo 73.47
Paciente 53 termina registro en tiempo 73.93
Paciente 53 espera consulta en tiempo 73.93
Paciente 53 comienza consulta en tiempo 73.93
Paciente 57 llega a recepción en tiempo 73.97
Paciente 57 comienza registro en tiempo 73.97
Paciente 57 termina registro en tiempo 74.41
Paciente 57 espera consulta en tiempo 74.41
Paciente 57 comienza consulta en tiempo 74.41
Paciente 58 llega a recepción en tiempo 74.73
Paciente 58 comienza registro en tiempo 74.73
Paciente 56 termina registro en tiempo 74.82
Paciente 56 espera consulta en tiempo 74.82
Paciente 56 comienza consulta en tiempo 74.82
Paciente 58 termina registro en tiempo 75.25
Paciente 58 espera consulta en tiempo 75.25
Paciente 58 comienza consulta en tiempo 75.25
Paciente 59 llega a recepción en tiempo 75.54
Paciente 59 comienza registro en tiempo 75.54
Paciente 54 termina registro en tiempo 75.80

Paciente 54 espera consulta en tiempo 75.80
Paciente 54 comienza consulta en tiempo 75.80
Paciente 60 llega a recepción en tiempo 76.20
Paciente 60 comienza registro en tiempo 76.20
Paciente 55 termina registro en tiempo 76.58
Paciente 55 espera consulta en tiempo 76.58
Paciente 55 comienza consulta en tiempo 76.58
Paciente 52 termina consulta en tiempo 77.53
Paciente 52 completó su visita. Tiempo total: 7.48 minutos
Paciente 60 termina registro en tiempo 77.58
Paciente 60 espera consulta en tiempo 77.58
Paciente 60 comienza consulta en tiempo 77.58
Paciente 59 termina registro en tiempo 77.81
Paciente 59 espera consulta en tiempo 77.81
Paciente 59 comienza consulta en tiempo 77.81
Paciente 57 termina consulta en tiempo 79.36
Paciente 57 completó su visita. Tiempo total: 5.39 minutos
Paciente 58 termina consulta en tiempo 80.15
Paciente 58 completó su visita. Tiempo total: 5.43 minutos
Paciente 53 termina consulta en tiempo 80.90
Paciente 53 completó su visita. Tiempo total: 9.02 minutos
Paciente 61 llega a recepción en tiempo 81.58
Paciente 61 comienza registro en tiempo 81.58
Paciente 60 termina consulta en tiempo 81.88
Paciente 60 completó su visita. Tiempo total: 5.68 minutos
Paciente 54 termina consulta en tiempo 81.94
Paciente 54 completó su visita. Tiempo total: 9.22 minutos
Paciente 62 llega a recepción en tiempo 82.17
Paciente 62 comienza registro en tiempo 82.17
Paciente 63 llega a recepción en tiempo 82.96
Paciente 63 comienza registro en tiempo 82.96
Paciente 64 llega a recepción en tiempo 83.70
Paciente 64 comienza registro en tiempo 83.70
Paciente 61 termina registro en tiempo 83.79
Paciente 61 espera consulta en tiempo 83.79
Paciente 61 comienza consulta en tiempo 83.79
Paciente 64 termina registro en tiempo 84.02
Paciente 64 espera consulta en tiempo 84.02
Paciente 64 comienza consulta en tiempo 84.02
Paciente 59 termina consulta en tiempo 84.39
Paciente 59 completó su visita. Tiempo total: 8.85 minutos
Paciente 55 termina consulta en tiempo 84.45
Paciente 55 completó su visita. Tiempo total: 11.58 minutos
Paciente 65 llega a recepción en tiempo 84.92
Paciente 65 comienza registro en tiempo 84.92
Paciente 66 llega a recepción en tiempo 85.13
Paciente 66 comienza registro en tiempo 85.13
Paciente 63 termina registro en tiempo 85.32
Paciente 63 espera consulta en tiempo 85.32
Paciente 63 comienza consulta en tiempo 85.32
Paciente 66 termina registro en tiempo 85.65
Paciente 66 espera consulta en tiempo 85.65
Paciente 66 comienza consulta en tiempo 85.65
Paciente 67 llega a recepción en tiempo 85.76
Paciente 67 comienza registro en tiempo 85.76
Paciente 68 llega a recepción en tiempo 86.61

Paciente 68 comienza registro en tiempo 86.61
Paciente 68 termina registro en tiempo 86.77
Paciente 68 espera consulta en tiempo 86.77
Paciente 68 comienza consulta en tiempo 86.77
Paciente 62 termina registro en tiempo 87.71
Paciente 62 espera consulta en tiempo 87.71
Paciente 62 comienza consulta en tiempo 87.71
Paciente 56 termina consulta en tiempo 88.11
Paciente 56 completó su visita. Tiempo total: 14.64 minutos
Paciente 67 termina registro en tiempo 89.51
Paciente 67 espera consulta en tiempo 89.51
Paciente 67 comienza consulta en tiempo 89.51
Paciente 65 termina registro en tiempo 89.54
Paciente 65 espera consulta en tiempo 89.54
Paciente 65 comienza consulta en tiempo 89.54
Paciente 69 llega a recepción en tiempo 89.82
Paciente 69 comienza registro en tiempo 89.82
Paciente 70 llega a recepción en tiempo 90.20
Paciente 70 comienza registro en tiempo 90.20
Paciente 70 termina registro en tiempo 90.65
Paciente 70 espera consulta en tiempo 90.65
Paciente 70 comienza consulta en tiempo 90.65
Paciente 71 llega a recepción en tiempo 91.41
Paciente 71 comienza registro en tiempo 91.41
Paciente 68 termina consulta en tiempo 91.65
Paciente 68 completó su visita. Tiempo total: 5.05 minutos
Paciente 61 termina consulta en tiempo 91.77
Paciente 61 completó su visita. Tiempo total: 10.19 minutos
Paciente 71 termina registro en tiempo 91.79
Paciente 71 espera consulta en tiempo 91.79
Paciente 71 comienza consulta en tiempo 91.79
Paciente 66 termina consulta en tiempo 92.11
Paciente 66 completó su visita. Tiempo total: 6.99 minutos
Paciente 72 llega a recepción en tiempo 92.53
Paciente 72 comienza registro en tiempo 92.53
Paciente 67 termina consulta en tiempo 92.77
Paciente 67 completó su visita. Tiempo total: 7.01 minutos
Paciente 69 termina registro en tiempo 92.89
Paciente 69 espera consulta en tiempo 92.89
Paciente 69 comienza consulta en tiempo 92.89
Paciente 73 llega a recepción en tiempo 93.21
Paciente 73 comienza registro en tiempo 93.21
Paciente 74 llega a recepción en tiempo 93.33
Paciente 74 comienza registro en tiempo 93.33
Paciente 62 termina consulta en tiempo 93.37
Paciente 62 completó su visita. Tiempo total: 11.20 minutos
Paciente 74 termina registro en tiempo 93.50
Paciente 74 espera consulta en tiempo 93.50
Paciente 74 comienza consulta en tiempo 93.50
Paciente 75 llega a recepción en tiempo 94.20
Paciente 75 comienza registro en tiempo 94.20
Paciente 63 termina consulta en tiempo 94.71
Paciente 63 completó su visita. Tiempo total: 11.75 minutos
Paciente 76 llega a recepción en tiempo 95.04
Paciente 76 comienza registro en tiempo 95.04
Paciente 72 termina registro en tiempo 95.15

Paciente 72 espera consulta en tiempo 95.15
Paciente 72 comienza consulta en tiempo 95.15
Paciente 64 termina consulta en tiempo 95.38
Paciente 64 completó su visita. Tiempo total: 11.67 minutos
Paciente 65 termina consulta en tiempo 96.12
Paciente 65 completó su visita. Tiempo total: 11.20 minutos
Paciente 76 termina registro en tiempo 96.50
Paciente 76 espera consulta en tiempo 96.50
Paciente 76 comienza consulta en tiempo 96.50
Paciente 77 llega a recepción en tiempo 97.41
Paciente 77 comienza registro en tiempo 97.41
Paciente 71 termina consulta en tiempo 97.49
Paciente 71 completó su visita. Tiempo total: 6.08 minutos
Paciente 78 llega a recepción en tiempo 98.00
Paciente 78 comienza registro en tiempo 98.00
Paciente 77 termina registro en tiempo 98.35
Paciente 77 espera consulta en tiempo 98.35
Paciente 77 comienza consulta en tiempo 98.35
Paciente 78 termina registro en tiempo 98.38
Paciente 78 espera consulta en tiempo 98.38
Paciente 78 comienza consulta en tiempo 98.38
Paciente 70 termina consulta en tiempo 98.54
Paciente 70 completó su visita. Tiempo total: 8.34 minutos
Paciente 79 llega a recepción en tiempo 98.59
Paciente 79 comienza registro en tiempo 98.59
Paciente 69 termina consulta en tiempo 98.83
Paciente 69 completó su visita. Tiempo total: 9.01 minutos
Paciente 73 termina registro en tiempo 98.89
Paciente 73 espera consulta en tiempo 98.89
Paciente 73 comienza consulta en tiempo 98.89
Paciente 75 termina registro en tiempo 99.30
Paciente 75 espera consulta en tiempo 99.30
Paciente 75 comienza consulta en tiempo 99.30
Paciente 80 llega a recepción en tiempo 99.52
Paciente 80 comienza registro en tiempo 99.52
Paciente 74 termina consulta en tiempo 99.59
Paciente 74 completó su visita. Tiempo total: 6.26 minutos
Paciente 79 termina registro en tiempo 99.92
Paciente 79 espera consulta en tiempo 99.92
Paciente 79 comienza consulta en tiempo 99.92
Paciente 81 llega a recepción en tiempo 100.20
Paciente 81 comienza registro en tiempo 100.20
Paciente 82 llega a recepción en tiempo 100.64
Paciente 82 comienza registro en tiempo 100.64
Paciente 82 termina registro en tiempo 100.65
Paciente 82 espera consulta en tiempo 100.65
Paciente 82 comienza consulta en tiempo 100.65
Paciente 83 llega a recepción en tiempo 100.81
Paciente 83 comienza registro en tiempo 100.81
Paciente 83 termina registro en tiempo 100.81
Paciente 83 espera consulta en tiempo 100.81
Paciente 83 comienza consulta en tiempo 100.81
Paciente 81 termina registro en tiempo 101.58
Paciente 81 espera consulta en tiempo 101.58
Paciente 81 comienza consulta en tiempo 101.58
Paciente 72 termina consulta en tiempo 102.28

Paciente 72 completó su visita. Tiempo total: 9.75 minutos
Paciente 84 llega a recepción en tiempo 102.29
Paciente 84 comienza registro en tiempo 102.29
Paciente 80 termina registro en tiempo 103.52
Paciente 80 espera consulta en tiempo 103.52
Paciente 80 comienza consulta en tiempo 103.52
Paciente 76 termina consulta en tiempo 103.60
Paciente 76 completó su visita. Tiempo total: 8.56 minutos
Paciente 84 termina registro en tiempo 104.30
Paciente 84 espera consulta en tiempo 104.30
Paciente 84 comienza consulta en tiempo 104.30
Paciente 75 termina consulta en tiempo 104.69
Paciente 75 completó su visita. Tiempo total: 10.50 minutos
Paciente 73 termina consulta en tiempo 104.88
Paciente 73 completó su visita. Tiempo total: 11.67 minutos
Paciente 81 termina consulta en tiempo 105.91
Paciente 81 completó su visita. Tiempo total: 5.71 minutos
Paciente 77 termina consulta en tiempo 106.37
Paciente 77 completó su visita. Tiempo total: 8.96 minutos
Paciente 82 termina consulta en tiempo 107.12
Paciente 82 completó su visita. Tiempo total: 6.48 minutos
Paciente 78 termina consulta en tiempo 107.64
Paciente 78 completó su visita. Tiempo total: 9.64 minutos
Paciente 79 termina consulta en tiempo 108.01
Paciente 79 completó su visita. Tiempo total: 9.41 minutos
Paciente 83 termina consulta en tiempo 109.72
Paciente 83 completó su visita. Tiempo total: 8.91 minutos
Paciente 84 termina consulta en tiempo 111.02
Paciente 84 completó su visita. Tiempo total: 8.72 minutos
Paciente 85 llega a recepción en tiempo 112.16
Paciente 85 comienza registro en tiempo 112.16
Paciente 86 llega a recepción en tiempo 112.40
Paciente 86 comienza registro en tiempo 112.40
Paciente 80 termina consulta en tiempo 112.97
Paciente 80 completó su visita. Tiempo total: 13.45 minutos
Paciente 87 llega a recepción en tiempo 113.70
Paciente 87 comienza registro en tiempo 113.70
Paciente 86 termina registro en tiempo 113.92
Paciente 86 espera consulta en tiempo 113.92
Paciente 86 comienza consulta en tiempo 113.92
Paciente 87 termina registro en tiempo 114.23
Paciente 87 espera consulta en tiempo 114.23
Paciente 87 comienza consulta en tiempo 114.23
Paciente 85 termina registro en tiempo 116.64
Paciente 85 espera consulta en tiempo 116.64
Paciente 85 comienza consulta en tiempo 116.64
Paciente 88 llega a recepción en tiempo 117.23
Paciente 88 comienza registro en tiempo 117.23
Paciente 88 termina registro en tiempo 117.74
Paciente 88 espera consulta en tiempo 117.74
Paciente 88 comienza consulta en tiempo 117.74

Análisis de Resultados:

Total de pacientes atendidos: 84

Tiempo promedio en clínica: 9.14 minutos

Tiempo máximo en clínica: 17.07 minutos

Tiempo mínimo en clínica: 3.35 minutos
 Desviación estándar: 2.36 minutos

4. Asuma el rol de un consultor de procesos contratado para optimizar la operación de esta clínica. Basándose en la evidencia cuantitativa recopilada de sus tres experimentos (línea base, incremento de médicos, incremento de recepcionistas), redacte una recomendación profesional y concisa para la dirección de la clínica. ¿En qué recurso debería invertir la clínica para lograr la reducción más significativa en los tiempos de espera, considerando el menor costo posible (bajo el supuesto de que el costo de un recepcionista es inferior al de un médico)?

Se debe de identificar cual es el punto de equilibrio, en definitiva recomendaría contratar un número mayor de médicos que de recepcionistas, pero se debe de hacer el análisis de que tanta debe de ser esa diferencia. En pruebas dentro de la simulación (tiendiendo la tasa de 1 paciente cada 4 minutos) se pudo observar que si se tienen 3 recepcionistas y 10 médicos, no hace mucha diferencia en tiempo a tener 3 recepcionistas y 5 médicos. Esto indica que para esta tasa de entrada de pacientes para este caso en específico, contratar más de 5 médicos es contraproducente porque solo generaría perdidas a la clínica ya que se están contratando médicos que no son necesarios. En cambio, si el flujo fuera mayor (como se puede observar en la prueba que se realizó de último), contratar 10 médicos si hace la diferencia, y el número de recepcionistas no tiene que aumentar tanto, puesto que no representan un atraso significativo en la espera de los pacientes. Es por esto que se recomienda hacer un análisis del flujo de pacientes dentro de la clínica, para tomar la decisión de la cantidad de médicos y recepcionistas, pero solo con estas simulaciones de igual manera la recomendación es contratar un número mayor de médicos.

Parte 2

```
In [1]: import sympy
import random
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Reproducibilidad
RANDOM_SEED = 42
random.seed(RANDOM_SEED)
np.random.seed(RANDOM_SEED)
```

```
C:\Users\dgv31\AppData\Local\Packages\PythonSoftwareFoundation.Python.3.10_qbz5n2kfr
a8p0\LocalCache\local-packages\Python310\site-packages\simpy\__init__.py:11: UserWar
ning: pkg_resources is deprecated as an API. See https://setuptools.pypa.io/en/lates
t/pkg_resources.html. The pkg_resources package is slated for removal as early as 20
25-11-30. Refrain from using this package or pin to Setuptools<81.
from pkg_resources import get_distribution
```

```
In [43]: # =====
# PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN
```

```
# =====

# Mundo / MBA
NUM_AGENTES = 100
ANCHO_MUNDO = 100.0
ALTO_MUNDO = 100.0

# DS interno (energía)
ENERGIA_MAX = 10.0
TASA_RECUPERACION_NATURAL = 0.3 # inflow constante
GASTO_POR_MOVIMIENTO = 0.05 # gasto proporcional a la velocidad
EFFECTO_INTERACCION_BASE = 0.2 # magnitud básica de efecto de interacción

# DES (estación de recarga)
NUM_PUESTOS_RECARGA = 1
ENERGIA_CRITICA = 2.0
TIEMPO_RECARGA = 10.0

# Simulación
TIEMPO_SIMULACION = 200.0
DT = 1.0

# Interacciones MBA
RADIO_INTERACCION = 5.0 # distancia máxima para interactuar
VELOCIDAD_MEDIA = 1.0 # escala de velocidad típica
```

In []:

```
class Agente:
    def __init__(self, id_agente, posicion_inicial, env, estacion_recarga):
        self.id = id_agente
        self.env = env
        self.estacion_recarga = estacion_recarga

        # --- MBA: posición y velocidad ---
        self.posicion = np.array(posicion_inicial, dtype=float)
        # velocidad aleatoria con dirección uniforme
        angulo = random.uniform(0, 2*np.pi)
        velocidad_mod = np.random.normal(loc=VELOCIDAD_MEDIA, scale=0.3)
        velocidad_mod = max(0.1, velocidad_mod) # evitar 0
        self.velocidad = np.array([
            velocidad_mod * np.cos(angulo),
            velocidad_mod * np.sin(angulo)
        ], dtype=float)

        # --- DS: energía como stock ---
        self.energia = ENERGIA_MAX

        # Estado DES
        self.en_recarga = False # indica si el agente está actualmente recargando

        # ----- Proceso de recarga (DES) -----
        """Proceso DES: esperar turno en la estación y recargar energía."""
    def proceso_recarga(self):
        self.en_recarga = True
        # pedir un puesto en la estación
        with self.estacion_recarga.request() as req:
            # esperar hasta obtener un puesto
```

```

yield req
    # una vez obtenido el puesto, recargar durante TIEMPO_RECARGA
    yield self.env.timeout(TIEMPO_RECARGA)
        # al finalizar, restaurar energía al máximo
        self.energia = ENERGIA_MAX
    # al salir del 'with', el puesto se libera
    self.en_recarga = False

# ----- Actualización de estado híbrido -----
"""

Se llama una vez por paso de tiempo.
Integra DS (energía), MBA (movimiento) y puente a DES (recarga).
"""

def actualizar_estado(self, dt, efecto_interaccion_neto):
    # 1) LÓGICA DS: actualizar energía (stock) por Euler simple
    # inflow: recuperación natural
    inflow = TASA_RECUPERACION_NATURAL

    # outflow por movimiento (proporcional a la velocidad)
    vel_norm = np.linalg.norm(self.velocidad)
    gasto_mov = GASTO_POR_MOVIMIENTO * vel_norm

    # efecto neto de interacciones (puede ser positivo o negativo)
    # lo tratamos directo como término en dE/dt
    dE_dt = inflow - gasto_mov + efecto_interaccion_neto

    # integración simple Euler
    self.energia += dE_dt * dt
    # Limitar energía entre 0 y ENERGIA_MAX
    self.energia = max(0.0, min(ENERGIA_MAX, self.energia))

    # 2) LÓGICA MBA: movimiento si NO está recargando
    if not self.en_recarga:
        self.posicion += self.velocidad * dt

        # Rebote en bordes (caja)
        # Eje X
        if self.posicion[0] < 0.0:
            self.posicion[0] = 0.0
            self.velocidad[0] *= -1
        elif self.posicion[0] > ANCHO_MUNDO:
            self.posicion[0] = ANCHO_MUNDO
            self.velocidad[0] *= -1

        # Eje Y
        if self.posicion[1] < 0.0:
            self.posicion[1] = 0.0
            self.velocidad[1] *= -1
        elif self.posicion[1] > ALTO_MUNDO:
            self.posicion[1] = ALTO_MUNDO
            self.velocidad[1] *= -1

    # 3) Puente MBA → DES: decidir si iniciar recarga
    if (self.energia < ENERGIA_CRITICA) and (not self.en_recarga):
        # Lanzar proceso de recarga solo una vez
        self.env.process(self.proceso_recarga())

```

In [4]:

```
"""
Proceso principal de la simulación.
- Calcula interacciones MBA.
- Actualiza DS (energía) y MBA (posición) de cada agente.
- Puente a DES (recarga cuando energía < umbral).
- Registra métricas globales.
"""

def ejecutar_simulacion(env, agentes, estacion_recarga, tiempo_simulacion, dt):
    # Estructuras para recolectar datos
    tiempos = []
    energia_promedio = []
    agentes_bajo_umbral = []
    en_colas_recarga = []

    while env.now < tiempo_simulacion:
        # --- 1) Interacciones MBA: calcular efecto neto de interacciones por agente
        efecto_neto = [0.0 for _ in agentes]

        # O(N^2) sencillo: revisar todos los pares i < j
        for i in range(len(agentes)):
            ai = agentes[i]
            for j in range(i + 1, len(agentes)):
                aj = agentes[j]
                dist = np.linalg.norm(ai.posicion - aj.posicion)
                if dist <= RADIO_INTERACCION:
                    # Interacción aleatoria: puede ser positiva o negativa para cada agente
                    signo_i = random.choice([-1, 1])
                    signo_j = random.choice([-1, 1])
                    efecto_i = signo_i * EFECTO_INTERACCION_BASE
                    efecto_j = signo_j * EFECTO_INTERACCION_BASE
                    efecto_neto[i] += efecto_i
                    efecto_neto[j] += efecto_j

        # --- 2) Actualizar estado de cada agente (DS + MBA + puente a DES) ---
        for idx, agente in enumerate(agentes):
            agente.actualizar_estado(dt, efecto_neto[idx])

        # --- 3) Recolección de métricas ---
        tiempos.append(env.now)
        energias = [ag.energia for ag in agentes]
        energia_promedio.append(np.mean(energias))
        agentes_bajo_umbral.append(sum(1 for ag in agentes if ag.energia < ENERGIA_BAJA))

        # agentes esperando en cola de recarga (no los que están siendo atendidos)
        en_colas_recarga.append(len(estacion_recarga.queue))

        # --- 4) Avanzar el tiempo del entorno DES ---
        yield env.timeout(dt)

    # Devolver datos para análisis posterior
    resultados = {
        "tiempos": np.array(tiempos),
        "energia_promedio": np.array(energia_promedio),
        "agentes_bajo_umbral": np.array(agentes_bajo_umbral),
        "en_colas_recarga": np.array(en_colas_recarga),
    }
```

```

    }
    return resultados
}
```

```
In [44]: # Crear entorno DES
env = simpy.Environment()

# Crear recurso: estación de recarga
estacion_recarga = simpy.Resource(env, capacity=NUM_PUESTOS_RECARGA)

# Crear agentes
agentes = []
for i in range(NUM_AGENTES):
    x0 = random.uniform(0, ANCHO_MUNDO)
    y0 = random.uniform(0, ALTO_MUNDO)
    agente = Agente(
        id_agente=i,
        posicion_inicial=(x0, y0),
        env=env,
        estacion_recarga=estacion_recarga
    )
    agentes.append(agente)

# Lanzar proceso principal de simulación
proceso_principal = env.process(
    ejecutar_simulacion(env, agentes, estacion_recarga, TIEMPO_SIMULACION, DT)
)

env.run(until=proceso_principal)

resultados = proceso_principal.value
```

```
In [45]: # Análisis básico de resultados
tiempos = resultados["tiempos"]
energia_promedio = resultados["energia_promedio"]
agentes_bajo_umbral = resultados["agentes_bajo_umbral"]
en_colas_recarga = resultados["en_colas_recarga"]

print(f"Tiempo final simulado: {tiempos[-1]:.1f}")
print(f"Energía promedio final: {energia_promedio[-1]:.2f}")
print(f"Número de agentes bajo umbral al final: {agentes_bajo_umbral[-1]}")
print(f"Agentes en cola de recarga al final: {en_colas_recarga[-1]}")
```

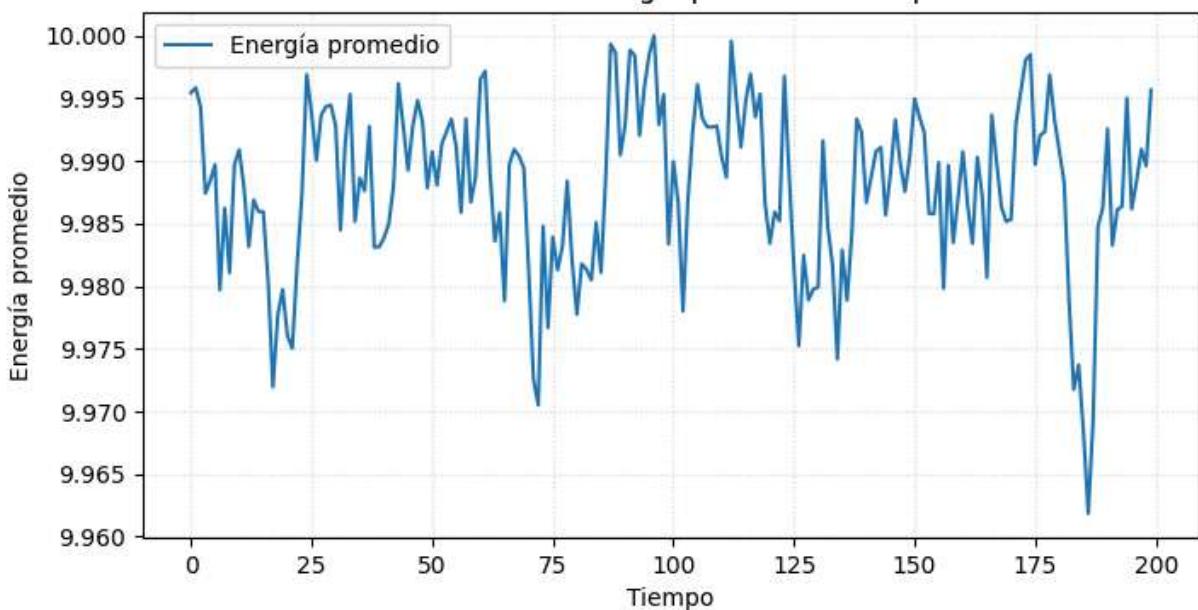
```
Tiempo final simulado: 199.0
Energía promedio final: 10.00
Número de agentes bajo umbral al final: 0
Agentes en cola de recarga al final: 0
```

```
In [46]: # Gráficas de resultados

# Energía promedio a lo largo del tiempo
plt.figure(figsize=(8, 4))
plt.plot(tiempos, energia_promedio, label="Energía promedio")
plt.xlabel("Tiempo")
plt.ylabel("Energía promedio")
plt.title("DS: evolución de la energía promedio de la población")
plt.grid(True, linestyle=":", alpha=0.4)
```

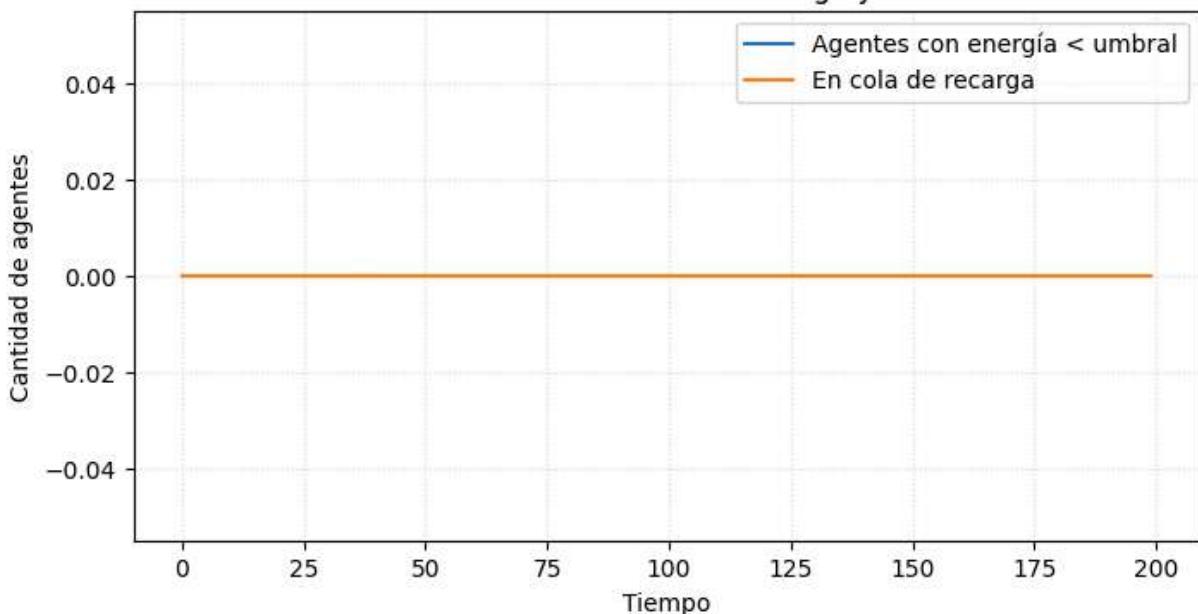
```
plt.legend()
plt.show()
```

DS: evolución de la energía promedio de la población



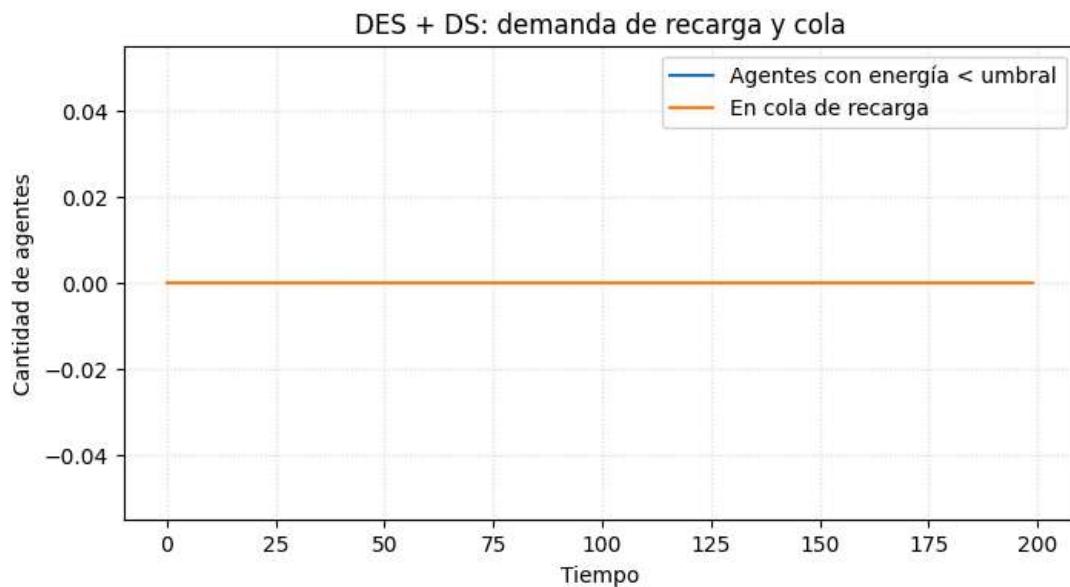
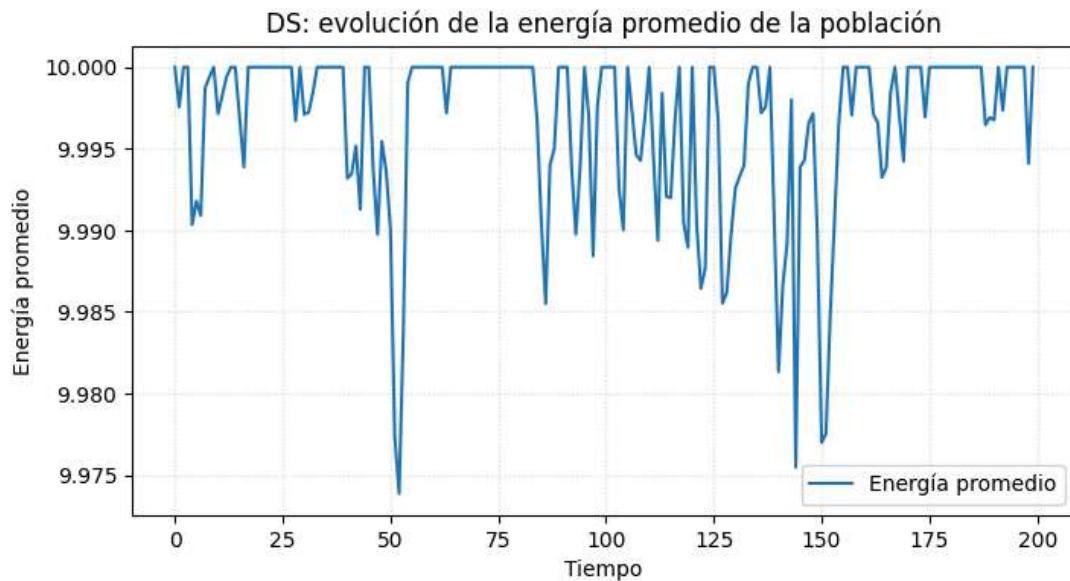
```
In [47]: # Agentes bajo umbral y cola de recarga
plt.figure(figsize=(8, 4))
plt.plot(tiempos, agentes_bajo_umbral, label="Agentes con energía < umbral")
plt.plot(tiempos, en_colas_recarga, label="En cola de recarga")
plt.xlabel("Tiempo")
plt.ylabel("Cantidad de agentes")
plt.title("DES + DS: demanda de recarga y cola")
plt.grid(True, linestyle=":", alpha=0.4)
plt.legend()
plt.show()
```

DES + DS: demanda de recarga y cola



- Ejecute la simulación con una capacidad generosa en la estación de recarga (NUM_PUESTOS_RECARGA = 5). ¿Cuántos agentes, en promedio, utilizan la estación durante la simulación? Analice los datos que recolectó. ¿Se forman colas significativas o el servicio es fluido?

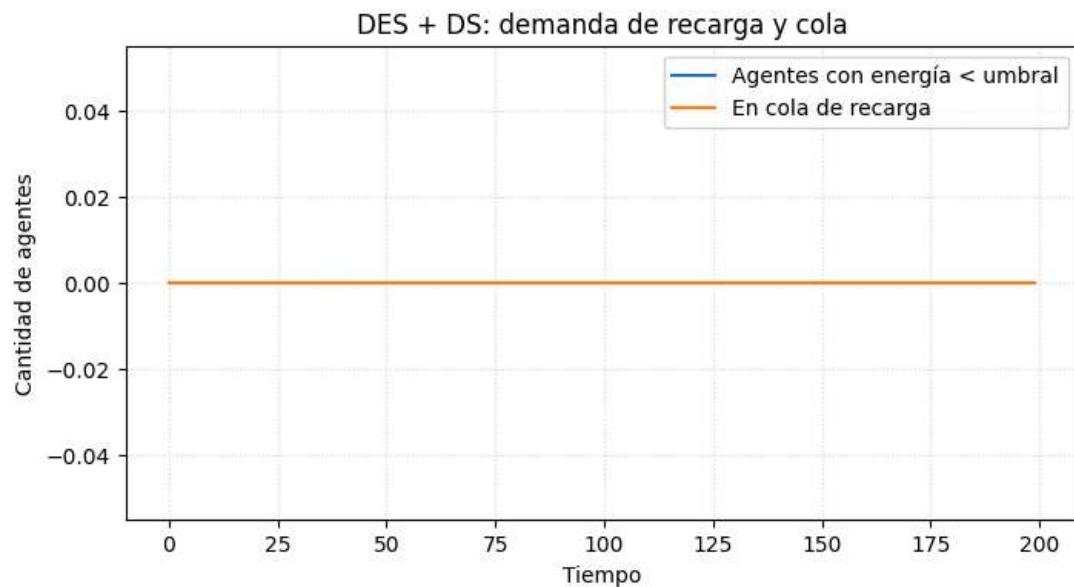
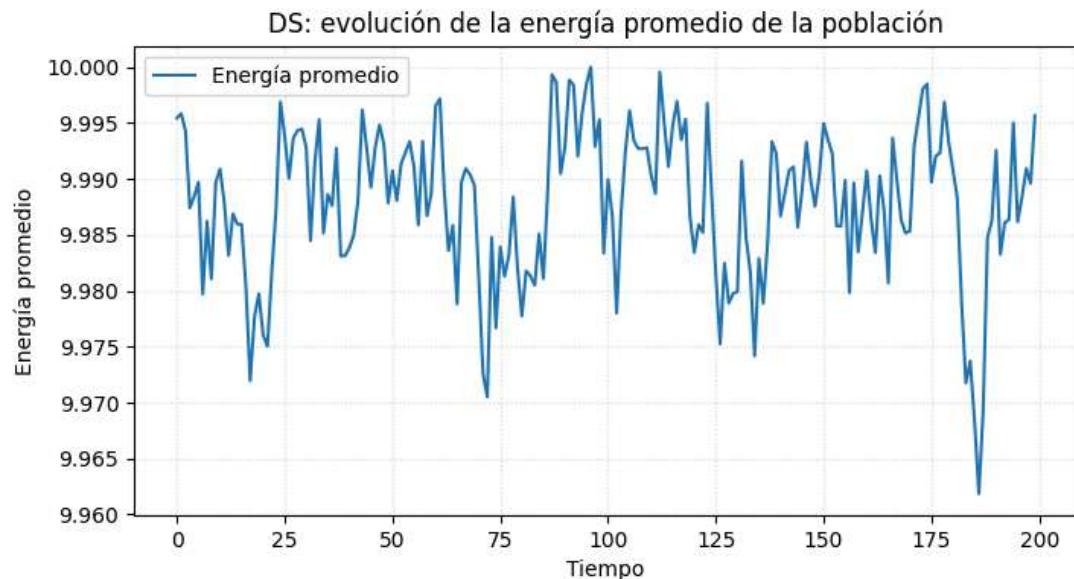
Con esta configuración generosa, casi nadie necesita recargar. Por lo tanto, la energía promedio se mantiene cerca del 10. Por eso mismo es que la segunda gráfica es 0, pues es raro que se queden sin energía y cuando lo hacen, la gran disponibilidad evita que se hagan grandes colas.



- Ahora, reduzca drásticamente la capacidad de la estación a NUM_PUESTOS_RECARGA=1. ¿Cómo impacta este cambio en la dinámica general de energía de la población? ¿Observa usted un mayor número de agentes con energía críticamente baja durante períodos más prolongados? ¿Por qué ocurre esto?

Este cambio reduce un poco la cantidad de energía máxima que reciben los agentes. Sin

embargo, sigue siendo una cantidad muy pequeña. Aunque si hay más agentes que bajen su consumo sigue oscilando cerca del 9. Esto se debe a que al bajar la cantidad de estaciones de recarga, los agentes se encontrarán en un cuello de botella con largas colas.



3. En el escenario con **NUM_PUESTOS_RECARGA = 1**, la estación de recarga se convierte en un claro cuello de botella (un fenómeno DES). ¿Qué efecto observable tiene este cuello de botella sobre el comportamiento agregado del sistema (por ejemplo, el nivel de energía promedio de toda la población a lo largo del tiempo, un resultado del MBA+DS)?

El cuello de botella hace que el sistema agregado se vea más fatigado. Si se mantiene ese valor y se aumentan los agentes, esto empeorará aún más, incluso provocando que estos se queden sin energía durante la simulación. Esto debido a que la demanda de recarga nunca termina de resolverse para muchos.

- 4. Basándose en sus experimentos, describa el bucle de retroalimentación que existe entre el componente DES (la disponibilidad de la estación de recarga) y el componente MBA+DS (la energía y el comportamiento de la población de agentes). ¿De qué manera demuestra este ejercicio la afirmación de que en el modelado híbrido, "el todo es más que la suma de sus partes"?**

En el bucle, si las estaciones tienen poca capacidad (DES) aumenta la espera en cola, causando que los agentes tarden más en recargar y se queden con poca energía durante más tiempo (MBA+DS). La otra parte del bucle es que cuando los agentes tienen poca energía, se mueven más lento o interactúan distinto (MBA+DS) lo que lleva a una mayor demanda en la o las estaciones de recarga (DES). El modelo híbrido muestra que la combinación de paradigmas produce patrones emergentes como colas crónicas, caídas de energía media, cambios en el movimiento, etc. Estos logran demostrar que "el todo es más que la suma de sus partes" porque de forma separada, estos nunca llegarían a comportarse de esta forma.