



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Cali

**PROGRAMACIÓN EFICIENTE DE SERVICIOS DE ASEO MEDIANTE LA  
SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE REGLAS DE DESPACHO BASADAS EN  
PRIORIDAD Y CENTRALIDAD DE REDES**

Programa de Maestría en Ingeniería

Presentado por:

Luis Fernando Guevara Guevara  
Silver Andrés Uribe Marín

Dirigido por:

Juan Camilo Paz Roa, Ingeniería Industrial, Ph.D.

Pontificia Universidad Javeriana Cali  
Facultad de Ingeniería y Ciencias  
Junio de 2025

# Programación eficiente de servicios de aseo mediante la simulación y evaluación de reglas de despacho basadas en prioridad y centralidad de redes

Silver A. Uribe <sup>a,c</sup>, Luis F. Guevara <sup>a,c</sup>, Juan C. Paz <sup>b,c</sup>

<sup>a</sup>: Estudiante de Maestría en Ingeniería

<sup>b</sup>: Profesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

<sup>c</sup>: Pontificia Universidad Javeriana Cali

**Palabras clave:** *investigación de operaciones, reglas de despacho, simulación de eventos discretos, centralidad en redes y optimización.*

## Resumen

La gestión eficiente del servicio de limpieza en instituciones educativas es clave para garantizar ambientes adecuados para el aprendizaje, especialmente en contextos donde el uso intensivo de aulas y los cambios de clase frecuentes limitan el tiempo disponible para el aseo. Este trabajo aborda dicho desafío mediante la evaluación comparativa de reglas de despacho en un entorno universitario, con énfasis en la limpieza de salones durante los breves intervalos entre clases. El problema de decisión surge en un contexto con programación académica diaria variable, disponibilidad incierta de los salones (pues algunas clases no terminan puntualmente) y alta sensibilidad de los usuarios a la limpieza de espacios que efectivamente utilizarán. A pesar de su relevancia operativa, este tipo de problemas ha sido poco abordado en la literatura de programación de servicios. Lo que conlleva a que en las operaciones reales de aseo estos elementos críticos no se consideren y se asean salones sin necesidad inmediata, mientras otros con alta demanda quedan desatendidos. El estudio simula y compara tres esquemas de asignación: una regla tradicional basada en cercanía geográfica, una regla basada en prioridad de uso y un modelo híbrido fundamentado en centralidad, combinando heurísticas clásicas con conceptos de teoría de redes. A través de un modelo de simulación de eventos discretos implementado en Arena y validado estadísticamente, se demuestra que las reglas basadas en prioridad y centralidad mejoran significativamente el impacto del servicio con un incremento del 120% (entendido como la atención oportuna de salones críticos), sin comprometer la productividad general. Asimismo, se

valida el uso de centralidad como una estrategia eficaz para combinar múltiples criterios de asignación en sistemas de despacho en tiempo real. Los hallazgos constituyen un aporte novedoso tanto para la literatura sobre programación de operaciones como para la práctica en la gestión de servicios institucionales, y sientan las bases para el desarrollo de módulos de decisión en sistemas inteligentes de asignación dinámica, con potencial para escalarse a otros edificios o instituciones, optimizar recursos, mejorar las condiciones laborales del personal de aseo y elevar la percepción de calidad del servicio por parte de los usuarios.

## 1. Introducción

La gestión del aseo en instituciones educativas es una tarea fundamental para garantizar un entorno saludable y propicio para el aprendizaje, en gran medida, la satisfacción de los usuarios en los espacios académicos depende de diversos factores, entre los cuales la limpieza y el orden de las aulas juegan un papel importante [1] & [2]. Se ha identificado que la alta demanda de salones de clase con programación académica variable dificulta las labores de aseo por el poco tiempo que se tiene para este entre cambios de clase. En la Pontificia Universidad Javeriana de Cali se ha identificado un nivel de satisfacción inferior al deseado en relación con la limpieza de las aulas, especialmente en el edificio El Lago. La encuesta [3] de percepción realizada a los usuarios que utilizan las aulas muestra una percepción negativa, la cual está directamente relacionada con la frecuencia y eficiencia de las labores de limpieza. Para este caso, se ha identificado que el problema no radica en la capacidad del personal, sino en la asignación ineficiente de tareas y recursos, en gran medida por la poca o nula disponibilidad de los espacios disponibles para aseo entre clase y clase [4].

Desde la perspectiva de la gestión operativa, este problema se puede abordar como un caso de asignación de recursos en un entorno con restricciones de tiempo y demanda variable, similar a problemas en la literatura de reglas de despacho y programación de operaciones [5] & [6]. Estudios previos, han demostrado que la aplicación de modelos de optimización en la asignación de tareas mejora la eficiencia operativa y la satisfacción del cliente en sectores como la manufactura y los servicios [7]. Sin embargo, la mayoría de los problemas de programación pertenecen a la categoría de problemas NP-hard, lo que imposibilita obtener una solución óptima en un tiempo razonable [8] por el alto consumo computacional, asimismo, su aplicación en la gestión de limpieza de instalaciones académicas es limitada, debido a los cambios en la programación de clases y la incertidumbre del cumplimiento de esta.

La mayoría de los problemas de programación de tareas se resuelven utilizando diferentes métodos metaheurísticos [9], pero, estos métodos solo se pueden aplicar en problemas de programación en condiciones estáticas [8]. Las reglas de despacho son heurísticas de programación constructiva simples que construyen iterativamente una programación [10] & [8] utilizando la información actualmente disponible, esto, hace que los tiempos de ejecución sean menores que los métodos exactos o los métodos metaheurísticos [11]. Lo anterior, representa una oportunidad para evaluar diferentes reglas de despacho que mejoren la asignación de operarios de limpieza en función de la programación académica. Asimismo, se propone un esquema de gestión de despacho basado en centralidad, tomando conceptos de S. Lee [12] & [13], asumiendo las aulas del edificio El Lago como una red en donde cada aula es un nodo y el camino o desplazamiento entre salones los arcos. Para este trabajo calculamos dos tipos de centralidad, una donde se combinan la distancia entre salones y la disponibilidad y otra donde se combinan la distancia entre salones y la prioridad de recibir aseo, con los resultados se calcula el grado de criticidad de cada nodo que posteriormente es usado en la decisión del clúster a visitar por un operario de aseo.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar tres reglas de despacho mediante de un modelo de simulación de eventos discretos para mejorar la gestión operativa de limpieza, alineando los horarios de aseo con la programación académica para mejorar el impacto de la limpieza de salones críticos de cara a la percepción de los usuarios. En este artículo, se presentan primero las reglas de despacho a evaluar que definen la lógica de asignación de operarios con base en heurísticas de optimización. Luego, se introduce el modelo de simulación implementado para evaluar el desempeño de las diferentes reglas propuestas en comparación con el sistema actual y el desarrollado por

[4]. Finalmente, se presentan los resultados y se discute su impacto en la percepción del servicio de aseo.

## 2. Metodología

En esta sección se establece como medida de productividad el número total de salones aseados por regla de despacho, el número de salones visitados y el total de salones prioritarios aseados, asimismo, se definen un indicador de sobresfuerzo (1) y un indicador de impacto (2) como una medida del desempeño y efectividad del sistema de limpieza. También, se utiliza un modelo de simulación de eventos discretos ya existente desarrollado por [4] para evaluar el desempeño de cada regla de despacho. Este modelo fue construido en el marco de un proyecto de diseño de pregrado de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, en el cual los autores del presente artículo participaron como asesores. El modelo está implementado en el software Arena y reproduce las dinámicas del proceso de limpieza en el edificio El Lago, incluyendo turnos de trabajo, disponibilidad de operarios, tipos de limpieza y la programación académica. Al modelo se le harán los cambios necesarios para simular cada regla de despacho.

$$I_{se} = \left(1 - \frac{\text{Total salones aseados}}{\text{Total salones visitados}}\right) * 100 \quad (1)$$

$$I_{imp} = \frac{\text{Total salones prioritarios aseados}}{\text{Total salones aseados}} * 100 \quad (2)$$

Para evaluar la productividad del modelo de despacho, se implementaron una serie de simulaciones en Arena que replican la dinámica de aseo en el edificio El Lago. La simulación considero:

- Distribución del tiempo de limpieza por aula y la velocidad de desplazamiento de cada operario (20 metros por minuto).
- Disponibilidad de operarios en el turno de 7 am a 2 pm.
- Variabilidad en la ocupación de aulas según la programación académica.

Como resultado de una verificación conceptual de varias reglas de despacho, se compararon cuatro reglas: el sistema actual basado en cercanía geográfica (Fig. 1), el sistema basado en prioridad (Fig. 2), y dos escenarios con un sistema híbrido. El primero a través de una centralidad basado en distancia y disponibilidad de espacios (Fig. 3), y la segunda, una centralidad basada en distancia y prioridad (Fig. 4).

## 2.1. Sistema actual:

Hay tres operarios de aseo en el edificio, estos, de acuerdo con la planilla de programación de clases que se les entrega a las 6:15 am, recorren el edificio buscando los salones disponibles para realizar el aseo, cuando ven que un salón está disponible y requiere intervención, lo ordenan realizando un aseo denominado paleo, que consta en recoger el material grueso del piso y acomodar las mesas y sillas (su duración oscila entre tres y cinco minutos), una vez terminado el aseo siguen recorriendo el edificio en busca de un nuevo salón hasta que se termina jornada de las franjas típicas de clases (de 7 am a 9 am, de 9 am a 11 am y de 11 am a 1 pm, esto se repite para la franjas de 2 pm a 6 pm). El problema de este esquema de intervención es que los salones aseados pueden no tener clase en la franja siguiente dejando sin asear los salones que si tienen clase, incrementando la insatisfacción de los usuarios y ejerciendo un desgaste físico mayor en el

operario de aseo debido al esfuerzo del desplazamiento en la búsqueda de salones.

Con base en el esquema de aseo actual (Fig. 1), se hace un análisis mediante la verificación conceptual de diferentes reglas de despacho y su aplicabilidad al contexto operativo de acuerdo con los conceptos encontrados en [5], [6] & [7], para establecer la línea base de reglas a evaluar, teniendo en cuenta que se pretende mejorar la productividad operativa, el uso de recursos y la satisfacción de los usuarios de los espacios académicos. Estas reglas de despacho deben permitir una respuesta rápida, coordinación eficiente y optimización del tiempo (que suele ser muy limitado entre clases, para este caso, 10 minutos máximo).

**Tabla 1. Comparativo entre diferentes reglas de despacho**

Regla de Despacho	Descripción	Aplicabilidad al Aseo de Salones	Ventajas	Desventajas	Análisis
<b>Orden fijo (ruta predeterminada)</b>	Cada trabajador sigue la misma secuencia de salones asignados.	Útil cuando el horario de clases es estable. Permite limpieza eficiente al final de cada jornada.	Facilita la planificación; ideal para limpieza nocturna o al final del día.	No responde a eventos inesperados como derrames durante el día.	Lo que se pretende es asear los salones entre clases ya que es donde se encuentra la inconformidad, por ende, esta regla no aplica.
<b>Por prioridad</b>	Se priorizan salones de mayor uso (aulas grandes, auditorios, o con más rotación).	Los salones con mayor número de clases o alumnos requieren limpieza más frecuente.	Enfoca recursos donde más se necesitan, mejora percepción de limpieza.	Salones menos utilizados pueden quedar rezagados.	Se adapta a las necesidades del esquema que se busca.
<b>Por demanda (reactivo)</b>	Se limpian salones según reportes (docentes, estudiantes, supervisores).	Útil cuando se tiene personal móvil y una plataforma de avisos.	Alta flexibilidad; responde a necesidades reales y urgentes.	Puede generar acumulación de tareas no reportadas; falta de limpieza preventiva.	Se busca anticipar las quejas y requerimientos de los usuarios por tal razón, esta regla no aplica.
<b>Turnos rotativos (rotación de zonas)</b>	El personal rota entre edificios o zonas de aulas cada cierto tiempo.	Evita rutina; útil para fomentar equidad laboral.	Distribuye carga de trabajo; mejora motivación del personal.	Pérdida de especialización (alguien nuevo puede no conocer bien una zona).	Los desplazamientos entre áreas disminuyen el tiempo útil para la ejecución del aseo, adicionalmente el número de operarios es limitado y no permite esta alternancia.
<b>Por cercanía geográfica</b>	Asignación de salones en la misma área o edificio a un trabajador.	Reduce tiempo de desplazamiento y mejora cobertura local.	Mayor eficiencia en desplazamiento; más tiempo efectivo de limpieza.	Algunas áreas pueden tener más salones o más uso que otras.	Es la regla que se implementa actualmente, la denominaremos regla base.
<b>Primero en llegar, primero en asignar</b>	Asignación de salones conforme llega el personal de limpieza.	Solo viable en limpiezas diurnas o eventos extraordinarios.	Sencillo de implementar, útil para contingencias.	Ineficiente si se busca cobertura uniforme; no garantiza equidad.	No aplica se conflictúa con la llegada paralela de múltiples necesidades.
<b>Asignación por tiempo estimado</b>	Se asignan tareas según el tiempo promedio necesario por salón.	Requiere tener tiempos estándar según el tamaño y uso del aula.	Balancea mejor la carga diaria de trabajo.	Necesita buena medición inicial; difícil si hay mucha variabilidad.	No aplica porque es difícil establecer una ruta estándar.
<b>Sistema híbrido (combinación)</b>	Combinación de reglas, por ejemplo: prioridad + geografía.	Muy útil para universidades con muchos edificios o campus grandes.	Adapta lo mejor de varias reglas a necesidades específicas.	Mayor complejidad en planificación y ejecución.	Se adapta a las necesidades del esquema que se busca.

De las reglas de despacho, se descartan las reglas por orden fijo, demanda, turnos rotativos, primero en llegar primero en asignar y asignación por tiempo estimado, esto debido a que no se adaptan a las necesidades de aseo entre clases y al recurso humano con el que dispone la universidad para hacer el aseo en el edificio El Lago.

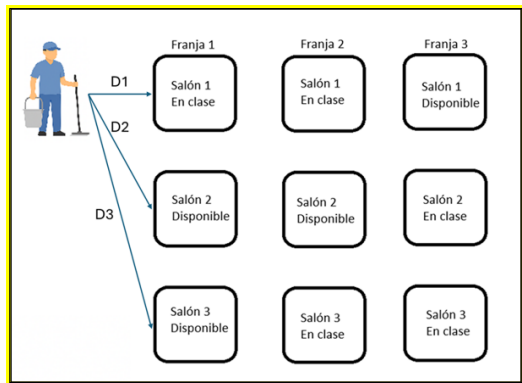


Fig. 1 Representación regla basada en distancia

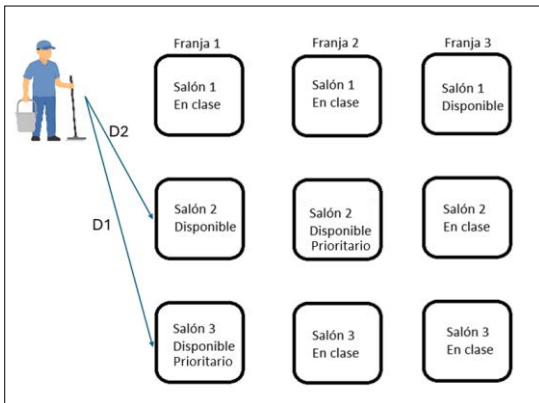


Fig. 2 Representación regla basada en prioridad

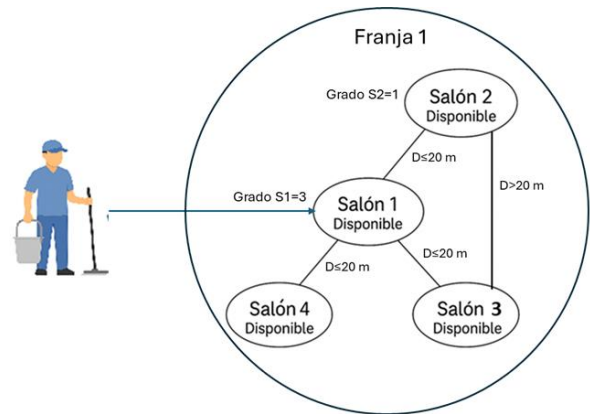


Figura 3. Representación regla basada en centralidad establecida por la distancia y disponibilidad

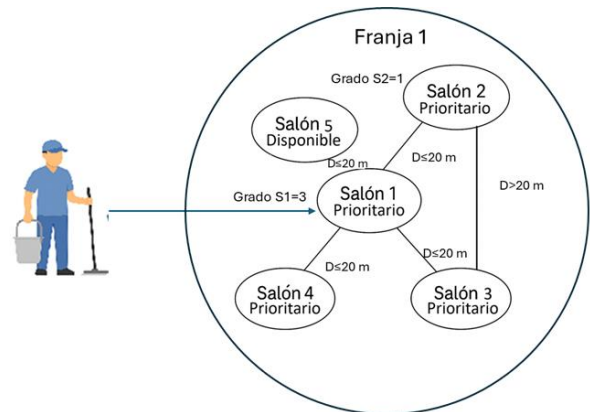


Figura 4. Representación regla basada en centralidad establecida por la prioridad y la distancia

## 2.2. Modelo de Simulación

J. Rodriguez [14], da una explicación amplia sobre la construcción de modelos de simulación y el tratamiento y análisis estadístico de los datos de entrada y salida del modelo.

Para garantizar validez estadística en la comparación de escenarios, se aplicará una muestra de 30 días con 30 réplicas de demanda por día utilizando la técnica de números aleatorios comunes. El objetivo principal de usar números aleatorios comunes es reducir la varianza en la comparación de diferentes simulaciones. Al usar la misma secuencia de números aleatorios, se garantiza que la aleatoriedad sea consistente en todas las simulaciones, lo que permite centrarse en las diferencias derivadas de las variaciones de los parámetros [15]. Los datos estadísticos se calculan con un nivel de confianza del 99%.

Para verificar el desempeño de cada regla de despacho, se implementó una simulación utilizando el software Arena. El propósito de esta simulación fue replicar el

proceso de limpieza actualmente en uso basado en cercanía geográfica, también el proceso de limpieza con la regla de prioridad y los procesos de limpieza a través de la centralidad.

Se compararon la cantidad total de salones aseados durante los diferentes intervalos de horarios del turno de la mañana, que es donde se presenta una demanda de aseo elevada (8:50 am - 9:00 am, 9:50 am – 10:00 am, 10:50 am – 11:00 am, 11:50 am – 12:00 m y 12:50 m – 1:00 pm). Asimismo, se compararon la cantidad de salones visitados por los operarios, verificando la disponibilidad de los salones, debido a que estos podrían estar en uso por actividades académicas, también se modificó el modelo para incluir una variable que validara si el aseo realizado era o no de un salón prioritario.

A continuación, se detallará el diseño del modelo de simulación base y los tres alternativos propuestos, enfatizando los criterios y parámetros utilizados para su implementación y los resultados obtenidos.

Los cuatro modelos de simulación comparten la misma estructura inicial. Con el bloque "Create" se crean los tres operarios de aseo a las 6 am, seguidamente, se utiliza un bloque "Assign" para asignar un valor al atributo "A (1)", que indica el salón en el que cada operario se encuentra inicialmente.

Después, se introduce un bloque "Branch" que actúa como un condicional. Este bloque verifica si el tiempo del modelo conocido como "TNOW", se encuentra dentro de las diferentes franjas horarias entre clases especificadas anteriormente (8:50 am - 9:00 am, 9:50 am - 10:00 am, 10:50 am - 11:00 am, 11:50 am - 12:00 m, y 12:50 m - 1:00 pm). Si "TNOW" se encuentra dentro de estas franjas horarias se le asigna un valor al atributo "A(3)" con la franja en la cual se encuentra (1,2,3,4,5,6), el operario continúa hacia el bloque "FIND J". Este bloque tiene la función de encontrar un salón disponible para limpieza basado en la regla de decisión que el operario debe seguir.

De lo contrario, si "TNOW" no se encuentra dentro de las franjas horarias entre clases, el operario entra en un estado de espera mediante el bloque "WAIT". Este bloque asegura que el operario se libere y continúe con su tarea solo cuando "TNOW" esté nuevamente dentro de las franjas horarias especificadas. Este comportamiento simula que, fuera de los intervalos de horarios entre clases, los operarios se dedican a otras actividades de limpieza, este bucle se repite hasta terminar la jornada.

Para buscar un salón, la simulación busca un valor mínimo de distancia entre la posición del operario y los salones que no hayan sido asignados a otro operario o que

no haya sido verificado, esta búsqueda para la regla base (basado en cercanía geográfica) está dada por:

$$\min(\text{Distancia}(A(1),J) * \text{Verificado}(J) * \text{Enrutado}(J)) \quad (3)$$

Donde, el parámetro "Distancia" es una matriz de 43x43 que contiene las distancias entre todos los salones del edificio El Lago. Esta matriz permite que el operario de limpieza seleccione los salones más cercanos a su ubicación actual, representada por el atributo "A (1)", en donde este indica el salón en el que se encuentra actualmente el operario, mientras que "J" representa cada uno de los salones dentro del edificio.

Luego, con un bloque "Branch" se valida si se encontró algún salón. Si se encontró un salón, el parámetro "Enrutado (J)" toma un valor muy grande (1000000) para que el operario que viene detrás del actual no se dirija al mismo salón.

Para hacer más realista el modelo de simulación se introdujo una matriz de 43x43 llamada "Duración (A(1), J)" para asignar el tiempo de desplazamiento entre salones basado en la distancia y la velocidad de desplazamiento de un operario. Una vez transcurrido el tiempo de desplazamiento, la variable "Verificado (J)" toma un valor muy grande (1000000) y la posición de "A (1)" cambia a la posición de del salón "J", asimismo, se cuenta el salón como un salón visitado y se asigna un valor aleatorio al parámetro "Aleatorio (J)" en la posición "J", este valor será utilizado más adelante.

Una vez en el salón, se valida si es posible hacerle aseo, esta validación se hace de acuerdo con la programación de clases cargada en una matriz de 43x6 denominada "PosiblePaleo (J, A (3))" en donde en el salón "J" en el horario "A (3)" se valida si hay un uno, indicando que si se puede hacer el aseo o si hay un número muy grande (1000000) indicando que no se puede hacer. Adicionalmente, durante el trabajo de campo realizado por [4], se observó que el 39% de las veces que se validó la programación entregada por Registro Académico, esta no se cumplía. El 10% de estas veces el salón estaba en clase cuando según la programación no debía haber, y el 90% de estas veces no había clases cuando según la programación debía haberla.

Así, adicionalmente a que se evalúa si el salón está disponible o no, valida también con otro bloque "Branch" si la variable "Aleatorio (J)" es menor o igual a 0.351 (90% de 39%) o si es menor o igual a 0.039 (10% de 39%), si es así, cambia la disponibilidad en "PosiblePaleo (J, A (3))". Ahora, de acuerdo con la

nueva asignación, se determina si es posible o no, realizar la limpieza. Si se puede hacer, el operario lo realiza y se valida si es un salón prioritario (que tiene clase justo al terminar la franja), esta validación se hace en una matriz denominada “VerPrioridad (J, A(3))” que contiene los salones “J” con prioridad en el horario “A(3)”, si es uno es prioritario, si es mayor que uno, no lo es; si el salón es prioritario, lo cuenta como salón aseado y como salón prioritario aseado y el operario se va en búsqueda de otro salón, si no lo es, solo cuenta el salón como aseado y el operario se desplaza en búsqueda de un nuevo salón.

La secuencia anteriormente descrita es la misma en los modelos de simulación para las diferentes reglas de despacho, lo único que cambia en la manera en que el operario encuentra en salón a través de “FIND J” donde se introducen las diferentes reglas a evaluar.

Para la regla de decisión basada en prioridad, se utiliza la siguiente función de decisión:

$$\min(\text{Distancia}(A(1),J) * \text{Verificado}(J) * \text{Enrutado}(J) * \text{Prioridad}(J, A(3))) \quad (4)$$

Donde, “Prioridad (J, A(3))” contiene los salones “J” con prioridad en el horario “A(3)”, si es uno es prioritario, si es mayor que uno, no lo es. Al implementar el parámetro “Prioridad” los operarios comienzan a buscar salones de manera objetiva, disminuyendo el esfuerzo por desplazamientos y mejorando el impacto al limpiar más salones prioritarios.

En la regla basada en centralidad con cercanía geográfica y disponibilidad de espacios, para un salón  $S_i$  definimos el grado de centralidad  $G(S_i)$  como:

$$G(S_i) = \sum_{J \in N_i} d_{ij} * P_j * P_i \quad (5)$$

Donde,  $N_i$  es el conjunto de salones vecinos a  $S_i$ ,  $d_{ij}$  es uno si la distancia entre el salón  $S_i$  y el salón  $S_j$  es menor o igual a 20, de lo contrario es cero;  $dS_j$  y  $dS_i$  toman el valor de uno si son salones disponibles, de lo contrario son cero.

Ahora, la función de decisión “FIND J” es la siguiente:

$$\min\left(\frac{(\text{Distancia}(A(1),J) * \text{Verificado}(J) * \text{Enrutado}(J))}{(1 + \text{Centralidad}(J, A(3)))}\right) \quad (6)$$

Donde, “Centralidad(J, A(3))” contiene el grado de criticidad del salón “J” en el horario “A(3)”.

En la regla de centralidad basado en prioridad y cercanía geográfica, para un salón  $S_i$  definimos el grado de centralidad  $G(S_i)$  como:

$$G(S_i) = \sum_{J \in N_i} d_{ij} * P_j * P_i \quad (7)$$

Donde,  $N_i$  es el conjunto de salones vecinos a  $S_i$ ,  $d_{ij}$  es uno si la distancia entre el salón  $S_i$  y el salón  $S_j$  es menor o igual a 20, de lo contrario es cero;  $P_j$  y  $P_i$  toman el valor de uno si son salones prioritarios, de lo contrario son cero.

Ahora, la función de decisión “FIND J” es la siguiente:

$$\min\left(\frac{(\text{Distancia}(A(1),J) * \text{Verificado}(J) * \text{Enrutado}(J)) * \text{Prioridad}(J, A(3))}{(1 + \text{Centralidad}(J, A(3)))}\right) \quad (8)$$

Donde, “Centralidad(J, A(3))” contiene el grado de criticidad del salón “J” en el horario “A(3)” y “Prioridad(J, A(3))” obliga al operario a ir al salón “J” con mayor grado de criticidad en el horario “A(3)”.

Los modelos de simulación se presentan en los anexos 1, 2, 3 y 4, mientras que los atributos y parámetros empleados en dicho modelo se detallan en las tablas 2 y 3.

**Tabla 2. Parámetros**

Parámetros	Tipo	Base	Prioridad	Centralidad CGyD	Centralidad CGyP
Enrutado (J)	Determinístico	X	X	X	X
Verificado (J)	Determinístico	X	X	X	X
Distancia (A (1), J)	Determinístico	X	X	X	X
Prioridad (J, A (3))	Determinístico		X		X
PosiblePaleo (J, A (3))	Estocástico (Distribución Uniforme)	X	X	X	X
Duración(A(1),J)	Determinístico	X	X	X	X
Centralidad(J, A(3))	Determinístico			X	X

**Tabla 3. Atributos**

Atributos	Base	Prioridad	Centralidad CGyD	Centralidad CGyP
A (1) “Salón Actual”	X	X	X	X
A (3) “Horario”	X	X	X	X

Cuando se ejecutan los modelos de simulación del proceso de aseo, estos proporcionan información sobre la cantidad

de salones que se limpiaron durante cada franja horaria disponible entre clases. Además, muestran la cantidad total de salones visitados por los operarios y la cantidad de salones prioritarios aseados por franja. Es importante destacar que esta métrica de "salones visitados" abarca todos los salones a los que los operarios se desplazaron, ya sea para realizar tareas de limpieza o simplemente para verificar su disponibilidad.

Tras validar el funcionamiento de los programas de simulación, se procede con la recopilación de datos de salida de cada modelo para su posterior análisis. Como se mencionó anteriormente, en esta etapa de análisis se implementó la técnica conocida como "Common Random Numbers", la cual busca mejorar la precisión de las comparaciones entre sistemas simulados al disminuir la varianza de la estimación de la diferencia entre ellos. Por lo tanto, se generan 30 réplicas para cada conjunto de programaciones de clases del Registro Académico, abarcando así un total de 30 programaciones del Registro Académico de clases a lo largo de varios días. Este proceso culmina en un conjunto de 900 réplicas por

modelo, resultando en un total de 3600 réplicas para el análisis comparativo entre el proceso de limpieza para las diferentes reglas de despacho (anexos 5, 6 ,7 y 8).

Para iniciar el análisis de los datos, se procede con la evaluación de la estadística descriptiva de cantidad de salones sometidos a limpieza en el total de las franjas horarias (anexo 5). Esta fase tiene como objetivo determinar si los datos presentan una distribución normal, lo cual permitiría la posterior aplicación de intervalos de confianza y pruebas de hipótesis para la comparación de medias y varianzas entre las dos muestras.

### 3. Resultados

Utilizando el complemento de estadística descriptiva de la herramienta Excel, se hace un análisis estadístico de los 900 datos de cada regla de despacho para cada una de las variables de salida (salones aseados, salones visitados y salones prioritarios aseados) los resultados se muestran en la figura 5 y tabla 4.

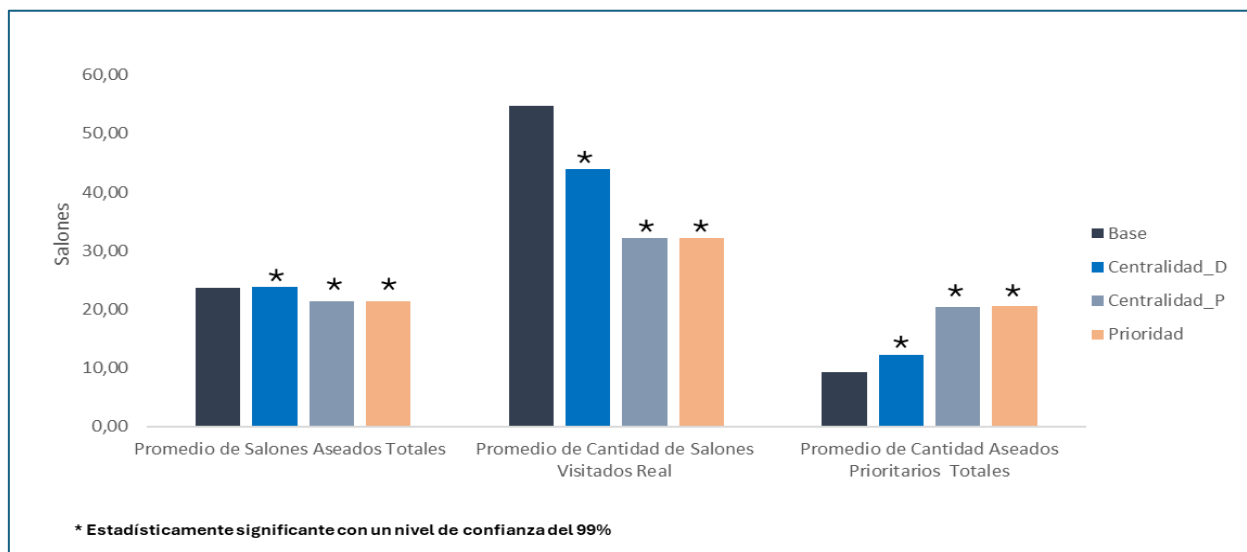


Figura 5. Promedios de cobertura, eficiencia e impacto de cada regla de despacho

**Tabla 4. Promedios con intervalos de confianza al 99%**

Variable de salida	Regla Base, basado en Distancia		Regla basada en Centralidad por disponibilidad y distancia			Regla basada en Prioridad			Regla basada en Centralidad por prioridad y distancia		
	Media	Intervalo de confianza	Media	Intervalo de confianza	Diferencia con Base	Media	Intervalo de confianza	Diferencia con Base	Media	Intervalo de confianza	Diferencia con Base
Total, salones aseados	23.68	(23.63, 23.73)	23.75	(23.71, 23.8)	(0.07, 0.08)	21.40	(21.28, 21.52)	(-2.35, -2.21)	21.41	(21.28, 21.54)	(-2.34, -2.19)
Total, salones visitados	54.79	(54.23, 55.35)	43.99	(43.56, 44.42)	(-10.93, -10.67)	32.16	(31.82, 32.51)	(-22.84, -22.41)	32.21	(31.86, 32.55)	(-22.8, -22.37)
Total, salones prioritarios aseados	9.17	(8.98, 9.36)	12.21	(11.98, 12.44)	(3, 3.07)	20.56	(20.41, 20.72)	(11.36, 11.42)	20.45	(20.3, 20.59)	(11.23, 11.32)

En la regla de despacho por distancia o cercanía geográfica (Base), se limpian bastantes salones (23.68) pero pocos prioritarios (9.17), también, hay una alta ineficiencia en el desplazamiento toda vez que visita 57% más salones de los que limpia. En la regla basada en centralidad por disponibilidad y distancia, se incrementa el número de salones prioritarios aseados (+3), mejora la eficiencia en el desplazamiento al visitar 11 salones menos que la base y aumenta ligeramente la cantidad total de salones aseados, por lo que mejora ligeramente el foco en salones prioritarios sin sacrificar productividad general.

En la regla basada en prioridad, limpia menos salones en total (21.4), pero, se obtiene un impacto significativo en los salones prioritarios aseados (11.8 salones más), igualmente mejora la eficiencia de desplazamiento al visitar muchos menos salones (32), esta regla se enfoca en el objetivo principal que es asear el mayor número de prioritarios para mejorar la percepción del aseo de los usuarios, pero se disminuye la productividad total. Y, en la regla basada en centralidad con prioridad y distancia, se obtienen resultados parecidos a los obtenidos en la regla prioridad, donde se mejora la eficiencia de desplazamiento y el impacto por salones prioritarios limpios a costa de una disminución en la productividad. (Tablas 5 y 6).

**Tabla 5. Diferencias porcentuales de las reglas de despacho respecto a la base**

Indicador	Regla Base, basado en Distancia	Regla basada en Centralidad por disponibilidad y distancia		
		Regla basada en Centralidad por disponibilidad y distancia	Regla basada en Prioridad	Regla basada en Centralidad por prioridad y distancia
Productividad	23.68	0,32%	-9,63%	-9,58%
Espacios visitados en recorrido	54.79	-19,71%	-41,30%	-41,22%
Cumplimiento objetivo	9.17	33,08%	124,18%	122,88%

**Tabla 6. Indicadores de desempeño**

Indicador	Regla Base, basado en Distancia	Regla basada en Centralidad por disponibilidad y distancia		
		Regla basada en Centralidad por disponibilidad y distancia	Regla basada en Prioridad	Regla basada en Centralidad por prioridad y distancia
Sobresfuerzo	56.78%	46.00%	33.47%	33.52%
Impacto	38.74%	51.39%	96.10%	95.49%

#### 4. Conclusiones

Usar el concepto de centralidad basada en prioridad y cercanía geográfica es una aplicación de alto nivel para un problema operativo, ya que se está combinando teoría de grafos, heurísticas de despacho, y optimización logística en un problema real y práctico.

La regla basada en centralidad por prioridad y distancia ofrece un buen equilibrio entre eficiencia logística, cobertura global y cumplimiento de prioridad. Aunque no

es la que más salones prioritarios limpia, se acerca mucho al máximo obtenido en la regla de prioridad sin sacrificar productividad general, lo que la hace altamente efectiva y sostenible operativamente.

La solución a través de las diferentes reglas de despacho minimiza tiempos muertos (porque consideras distancia), prioriza salones críticos automáticamente, optimiza la cobertura grupal, ya que, al limpiar un nodo con alto grado, indirectamente "proteges" a toda una zona crítica y es dinámico, porque puedes recalcular grados si cambian horarios o prioridades.

El modelo de decisión puede adaptarse para hacer limpieza entre clases en cualquier otro edificio del campus universitario. La adaptabilidad del modelo se logra mediante la inclusión de la matriz de distancias entre los salones de cada edificio y la programación de salones proporcionada por el Registro Académico. Al integrar estos datos específicos, el sistema puede replicarse y ajustarse con precisión a las características particulares de cada edificio, lo cual mejora su utilidad y eficiencia.

## Referencias

- [1] Ministerio de Salud República de Colombia, "Estrategia de entorno educativo saludable", 2019.
- [2] A. Diaz-Vicario, "La gestión de la seguridad integral en los centros educativos", Bellaterra, 2015.
- [3] "Resultados EPPS salones: Resultados Salones - Tableau Cloud". Consultado: el 20 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://prod-useast-b.online.tableau.com/#!/site/unicifras3javerianacalieduc/o/views/ResultadosEPPSsalones/ResultadosSalones?iid=1>
- [4] M. J. Pinilla Uribe, E. Ortiz Nieto, L. S. Chica García, y A. Orozco Mejía, "Propuesta de mejora del nivel de satisfacción de los usuarios en limpieza y orden de las aulas en la PUJ de Cali", 2024, *Pontificia Universidad Javeriana Cali*. Consultado: el 20 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11522/3540>
- [5] M. L. Pinedo, "Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, Sixth Edition", *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, Sixth Edition*, pp. 1–698, ene. 2022, doi: 10.1007/978-3-031-05921-6/COVER.
- [6] K. R. Baker y Dan. Trietsch, "Principles of sequencing and scheduling", 2019.
- [7] P. Brucker, R. Qu, y E. Burke, "Personnel scheduling: Models and complexity", *Eur J Oper Res*, vol. 210, núm. 3, pp. 467–473, may 2011, doi: 10.1016/J.EJOR.2010.11.017.
- [8] M. Đurasević y D. Jakobović, "A survey of dispatching rules for the dynamic unrelated machines environment", *Expert Syst Appl*, vol. 113, pp. 555–569, dic. 2018, doi: 10.1016/J.ESWA.2018.06.053.
- [9] E. Hart, P. Ross, y D. Corne, "Evolutionary scheduling: A review", *Genet Program Evolvable Mach*, vol. 6, núm. 2, pp. 191–220, jun. 2005, doi: 10.1007/S10710-005-7580-7;WGROU:STRING:ACM.
- [10] V. Salazar'alvarez, S. Salazar'alvarez, E. Mirledy, y T. Ocampo, "Estado del arte del problema de secuenciación de tareas implementando reglas de despacho", 2019, *Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira*. Consultado: el 18 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/11037>
- [11] "Đurasević, M., & Jakobović, D. (2016). Comparison of solution representations for scheduling in the unrelated machines environment. In Proceedings of the 39th international convention on information and communication technology, electronics and microelectronics (MIPRO) (pp. 1336–1342). IEEE. doi: 10.1109/MIPRO.2016.7522347.", Consultado: el 26 de mayo de 2025.
- [12] S. Lee, "The role of centrality in ambulance dispatching", *Decis Support Syst*, vol. 54, núm. 1, pp. 282–291, dic. 2012, doi: 10.1016/j.dss.2012.05.036.
- [13] S. Lee, "Centrality-based ambulance dispatching for demanding emergency situations", *Journal of the Operational Research Society*, vol. 64, núm. 4, pp. 611–618, 2013, doi: 10.1057/jors.2012.72.
- [14] J. Rodríguez Sánchez, "Simulación discreta para la mejora de procesos y desarrollo de nuevos escenarios en un centro de distribución de parabrisas", 2016, *Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ingeniería*. Consultado: el 26 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12930/2507>
- [15] A. M. Law, "Simulation Modeling and Analysis, FIFTH EDITION", 2015, Consultado: el 26 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: [www.averill-law.com](http://www.averill-law.com)