

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS
INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO



**Extensión del método Workload para la planeación en call centers
incorporando la morfología de la demanda y las políticas de turno.**

Manuel Camilo Gutiérrez Rodríguez

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Maestría Inteligencia de Negocios

Bogotá, Colombia

21/04/2026

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS
INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

**Extensión del método Workload para la planeación en call centers incorporando la
morfología de la demanda y las políticas de turno**

Manuel Camilo Gutiérrez Rodríguez

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magister en Inteligencia de Negocios

Director:

William López Castrillón

Modalidad:

Monografía

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Maestría Inteligencia de Negocios

Bogotá, Colombia

21/04/2026

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL
CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS
POLÍTICAS DE TURNO

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Ciudad, día/mes/año

A mi mamá, Adriana Rodríguez, quien
hizo de sus pasiones su profesión y me
inspiró a hacer lo mismo.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad EAN por poner a disposición los recursos bibliográficos y las herramientas de investigación que fueron fundamentales a lo largo de este trabajo, facilitando el acceso a literatura especializada y el desarrollo metodológico del estudio.

Al ingeniero electrónico Camilo Torres, por su aporte en la dimensión técnica de la investigación: facilitó el acceso a la infraestructura computacional necesaria para ejecutar el simulador y acompañó el desarrollo del código aportando criterios de programación y buenas prácticas que fueron determinantes para la calidad y confiabilidad de los resultados.

A la Dra. Adriana Rodríguez, mi mamá, por haber leído y releído este documento con una dedicación que acompañó cada versión y cada ajuste, aportando observaciones que contribuyeron a mejorar su claridad y su forma.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Resumen

En los centros de contacto (Call Centers, CC) el costo laboral representa entre el 60% y el 80% del gasto operativo, lo que convierte el dimensionamiento de personal en una decisión de alto impacto; sin embargo, el método Workload, más utilizado a nivel táctico, no considera la forma de la curva de demanda ni las restricciones de turnos, mientras que los métodos Erlang bajo el enfoque SIPP exigen análisis intervalo a intervalo y se limitan al nivel operativo. Esta investigación desarrolló una metodología de staffing táctico que cuantifica y anticipa esa brecha a partir de la morfología de la demanda y las políticas de turno. Se desarrolló un simulador (StaffSim) que caracterizó 2268 escenarios sintéticos combinando variaciones de la curva de demanda con un programador de turnos basado en Programación Lineal Entera (ILP), y se entrenó un árbol de regresión sintetizado en una tabla de consulta de 60 filas y un formulario operativo. Los resultados muestran que ignorar la complejidad genera desviaciones entre 6% menos y 27% más de agentes frente al cálculo determinístico, y que con cinco variables observables antes de programar los turnos es posible anticipar esa brecha con un R^2 de validación de 0,73. La metodología constituye una herramienta escalable, auditable e interpretable para decisiones tácticas de dimensionamiento, aplicable como activo de inteligencia de negocios.

Palabras clave: staffing, centros de contacto, workload, curva de demanda, políticas de turno, complejidad operativa, inteligencia de negocios.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Abstract

In contact centers (CC), labor costs account for between 60% and 80% of total operating expenditure, making headcount planning a high-impact decision; however, the Workload method, most widely used at the tactical level, does not consider the shape of the demand curve nor shift policy constraints, while Erlang models under the SIPP approach require interval-by-interval analysis and are limited to the operational level. This research developed a tactical staffing methodology that quantifies and anticipates that gap based on the morphology of demand and shift policies. A simulator (StaffSim) was developed to characterize 2,268 synthetic scenarios combining systematic variations of the demand curve with a shift scheduler based on Integer Linear Programming (ILP), and a regression tree was trained and synthesized into a 60-row lookup table and an operational characterization form. Results show that ignoring this complexity produces deviations ranging from 6% fewer to 27% more agents than the deterministic estimate, and that with just five variables observable before scheduling it is possible to anticipate that gap with a validation R^2 of 0.73. The methodology provides a scalable, auditable and interpretable tool for tactical headcount decisions, applicable as a business intelligence asset.

Keywords: staffing, contact centers, workload, demand curve, shift policies, operational complexity, business intelligence.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL
CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS
POLÍTICAS DE TURNO

Contenido

<i>Introducción</i>	13
<i>Objetivos</i>	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
<i>Justificación</i>	17
<i>Marco Teórico</i>	19
Call Center: Naturaleza de la Industria y Necesidades	19
Planeación Jerárquica de la Producción (HPP)	20
Nivel Estratégico	21
Nivel Táctico	21
Nivel Operativo	21
Workforce Management (WFM)	22
Pronóstico de la Demanda (Forecasting)	22
Dimensionamiento de Personal (Staffing)	26
Programación de Horarios (Scheduling)	28
<i>Hipótesis</i>	31
<i>Variables</i>	32
Clasificación General	32
<i>Metodología</i>	36
Enfoque, Diseño y Alcance	36
Población y Muestra	36
Unidad de Análisis y Notación	37

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL
CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS
POLÍTICAS DE TURNO

Instrumentos.....	38
Generador de Demanda.....	39
Programador de Turnos	39
Orquestador de Escenarios	43
Árbol de Decisión	43
Validación	44
Técnicas para el Análisis de la Información.....	45
Limitaciones y Supuestos	46
<i>Trabajo de Campo</i>	<i>48</i>
Procesamiento de los Datos.....	48
Análisis de Resultados.....	55
Propuesta de Solución a la Problemática.....	56
Metodología de Staffing Táctico Basada en Complejidad	57
<i>Discusión</i>	<i>64</i>
<i>Conclusiones</i>	<i>67</i>
<i>Trabajo Futuro.....</i>	<i>70</i>
<i>Referencias</i>	<i>72</i>

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL
CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS
POLÍTICAS DE TURNO

Lista de Figuras

Figura 1	<i>Diagrama de flujo, marco teórico.....</i>	19
Figura 2	<i>Comparación de configuraciones de scheduling: Caso 1 (restrictivo) y Caso 2 (flexible).....</i>	41
Figura 3	<i>Distribución de $Mobs = HCre_{al} / HCre_{eq}$ ($n = 2268$ escenarios).....</i>	49
Figura 4	<i>Selección de profundidad del árbol de decisión.</i>	53

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS
INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Lista de Tablas

Tabla 1	<i>Variables de control experimental o independientes.....</i>	33
Tabla 2	<i>Variables de respuesta o dependientes</i>	34
Tabla 3	<i>Parámetros operativos o constantes del modelo.....</i>	35
Tabla 4	<i>Correspondencia entre dimensiones de política de turno y restricciones del modelo ILP.....</i>	42
Tabla 5	<i>Ficha técnica del estudio</i>	48
Tabla 6	<i>Distribución de frecuencias de Mobs</i>	50
Tabla 7	<i>Importancia de variables en el árbol de regresión (profundidad = 6)</i>	55
Tabla 8	<i>Formulario de caracterización operativa</i>	58
Tabla 9	<i>Niveles de complejidad: rangos de M, perfil operativo e implicación para el staffing.....</i>	60

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS
INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Lista de Anexos

Anexo A Cobertura 24/7.....	79
Anexo B Picos Altos de Demanda	80
Anexo C Formulación Determinística de Workload y Consistencia Agregada a Intervalo	82
Anexo D Generación de la Demanda	84
Anexo E Programador de Turnos	87
Anexo F Orquestación de Escenarios	92
Anexo G Árbol de Decisión.....	94
Anexo H Resultados del Orquestador	102

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Introducción

Esta investigación se sitúa en la industria de los Call Centers (CC) o Centros de llamadas. Los CC tienen su origen formal en 1973 con el desarrollo del Distribuidor Automático de Llamadas (Automatic Call Distributor, ACD), el cual dio lugar a oficinas equipadas para atender un gran número de llamadas telefónicas mediante tecnologías de enrutamiento y control de flujo (Pearce, 2025). Desde entonces, las tecnologías utilizadas en los CC han evolucionado e influido en la gestión de indicadores clave de desempeño (Key Performance Indicators, KPI), habilitando mayores capacidades de automatización, integración de canales y sofisticación del enrutamiento; en su conjunto, estos desarrollos han permitido la optimización de la operación, lo que se asocia con impactos directos sobre las ganancias y costos de estas empresas (Plaza & Pawlik, 2021).

Desde una perspectiva económica, la industria de los CC muestra una expansión sostenida, con ingresos globales estimados en USD 390 mil millones para 2024 y una proyección que supera los USD 490 mil millones para 2029 (First Research Industry Profiles, 2025). En este contexto, Colombia¹ emerge como el quinto país más confiable a nivel mundial, consolidándose como un referente en la región latinoamericana de acuerdo con el Offshore BPO Confidence Index (AmericaMalls & Retail, 2025). En el país, el sector registró un aumento de 1.4% en sus ingresos durante el primer trimestre de 2025 y una tasa de crecimiento anual compuesta estimada del 3.5% hacia 2030 (Sectorial, 2025).

Desde la perspectiva de la gestión de operaciones, la planeación es un proceso orientado a determinar metas, objetivos, estrategias y acciones necesarios para alcanzar resultados esperados (Iyer & Jain, 2023). Para simplificar el problema de la planeación, el cual presenta alta complejidad, se ha propuesto la planeación jerárquica, que particiona el proceso de

¹ En Colombia, varias fuentes sectoriales reportan conjuntamente Contact Center y Business Process Outsourcing (BPO); en este documento se utiliza el BPO como proxy estadístico para contextualizar el entorno de la industria de los CC, al tratarse de una categoría agregada que incluye este subsector.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

decisiones en distintos niveles, procesos y horizontes de planeación. Entre los beneficios reportados por este enfoque se encuentran: la reducción de la complejidad al separar el problema en subproblemas, una mejor adecuación organizacional y la disminución de la incertidumbre al posponer decisiones el mayor tiempo posible (Beaudoin et al., 2008). En consecuencia, la planeación suele estructurarse en tres niveles: estratégico, táctico y operativo, niveles que son interdependientes y contribuyen al desempeño global de la organización (Iyer & Jain, 2023).

El nivel estratégico trabaja con alta incertidumbre para identificar opciones de desarrollo y definir estrategias, evalúa su viabilidad económica, selecciona las más viables y establece el camino para su implementación. El nivel táctico asegura los recursos necesarios para ejecutar los procesos organizacionales y asignarlos entre las distintas áreas, alineando la ejecución con el plan estratégico. El nivel operativo asigna tareas dentro del proceso de ejecución y reubica recursos con flexibilidad para responder a cambios (Iyer & Jain, 2023; Kettele & Lechner, 2025; Lapide, 2022; Mabotja & Mkhomazi, 2024; Schmidt & Wilhelm, 2000).

En los CC, entre el 60-80% del costo suele estar asociado al personal (Koole & Li, 2021), por lo que la gestión del personal (Workforce Management, WFM) toma especial importancia. En línea con los niveles de planeación, este marco organiza la toma de decisiones de la fuerza de trabajo en procesos que responden a distintos horizontes de tiempo. Así, se distinguen tres procesos: la planeación del presupuesto (que incluye la actividad de pronóstico de llamadas, (forecasting), la planeación de la capacidad (staffing) y la programación de turnos (scheduling) (Aksin et al., 2007). Tradicionalmente para hacer staffing se emplean modelos de colas como Erlang A, B y C y también aproximaciones determinísticas; estos métodos se apoyan en supuestos, presentan ventajas y limitaciones (Cleveland & Mayben, 2004) y suelen implementarse mediante software especializado (Patgiri, 2023). Aun así, estas soluciones han

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

estado tradicionalmente orientadas a la optimización operativa diaria (Tailor, 2023) y su implementación enfrenta retos relevantes de adopción e integración (Whelan, 2025).

En consecuencia, la problemática central de esta investigación se enfoca en el proceso de staffing, ya que la estimación de requerimientos no siempre anticipa restricciones que aparecen al pasar a la programación de turnos, especialmente por las políticas de turnos y la forma de las curvas de demanda, lo que puede traducirse en estimaciones de personal por encima o por debajo de lo necesario y en decisiones menos sustentadas en datos (Koole & Li, 2021). Esta brecha se ilustra con dos casos simples (ver Anexo A y Anexo B), donde el dimensionamiento agregado resulta suficiente en términos globales, pero falla al considerar estas restricciones. Por lo anterior, se propone una metodología de estimación táctica que incorpore estas restricciones en el cálculo de requerimientos de personal. La investigación se guía por la pregunta ¿De qué manera la caracterización de la curva de demanda y de las políticas de turno mejora la precisión del staffing táctico en centros de llamadas?

Este documento se estructura de la siguiente manera: el marco teórico sitúa la investigación en la industria de los CC, examina la planeación jerárquica y describe el ciclo de WFM, con énfasis en los métodos de dimensionamiento y las políticas de turno que definen el problema central; a partir de ese fundamento, se formulan la hipótesis y las variables del estudio; la metodología detalla el diseño de simulación, el generador de demanda y el programador de turnos basado en Programación Lineal Entera (Integer Linear Programming, ILP); finalmente, se presentan los resultados, la discusión y las conclusiones.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Objetivos

Objetivo General

- Formular una metodología para la actividad de staffing a nivel táctico en call centers, basada en la complejidad de las curvas de demanda y políticas de turno, que mejore la precisión del dimensionamiento y reduzca la complejidad analítica del proceso.

Objetivos Específicos

- Caracterizar matemáticamente las curvas de demanda en call centers, identificando sus atributos y propiedades.
- Modelar las políticas de turno como un sistema de restricciones bajo un enfoque de programación lineal, considerando tipo y cantidad.
- Definir niveles de complejidad a partir de la caracterización conjunta de las curvas de demanda y las políticas de turno, estableciendo para cada nivel un factor de ajuste M que actúe como multiplicador del requerimiento base de FTE².
- Establecer una metodología general para la aplicación de los niveles de complejidad al proceso de staffing, replicable en distintos call centers.

² Equivalente de tiempo completo (Full-Time Equivalent, FTE)

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Justificación

La industria de los CC muestra un crecimiento económico sostenido, según First Research Industry Profiles (2025), no obstante, este crecimiento está acompañado por una presión competitiva derivada de la digitalización del servicio, la adopción de analítica, la automatización, la migración a la nube y la incorporación de inteligencia artificial aplicada a la operación y a la experiencia del cliente (Chintala, 2024; Sahut & Laroche, 2025). Estas tendencias se articulan en el modelo de Contact Center as a Service (CCaaS) (Malali, 2024), se desarrollan bajo la necesidad de mantener niveles de servicio exigentes y controlar los costos (Kiygi-Calli et al., 2021). En conjunto, estos factores reflejan una tendencia sostenida hacia operaciones más intensivas en datos y orientadas a la optimización.

Bajo estas condiciones, la ventaja competitiva depende cada vez más de la capacidad organizacional para transformar información en decisiones oportunas. En ese marco, el staffing es crítico, porque convierte el pronóstico de demanda en requerimientos de personal y determina, en gran medida, la viabilidad del scheduling. La literatura indica que el costo laboral representa una proporción dominante de la operación (Koole & Li, 2021); por tanto, desviaciones en el dimensionamiento generan impactos directos tanto en costos como en el cumplimiento de indicadores de servicio. Existen métodos tradicionalmente utilizados, como el Periodo Estacionario Independiente por Periodo (Stationary Independent Period-by-Period, SIPP) (Green & Soares, 2009) y Regla de dimensionamiento de personal por raíz cuadrada (Square-Root Staffing Rule) (Rossetti, 2015). Sin embargo, su implementación suele requerir alta granularidad de datos, capacidades técnicas especializadas y un esfuerzo operativo que dificulta su escalabilidad en entornos habituales de análisis. En el extremo opuesto, aproximaciones determinísticas agregadas, como el método de carga de trabajo (workload) (Deri Apriadi, 2022), pueden subestimar la complejidad inducida por la forma de la demanda y por las restricciones de turnos. Esta brecha se manifiesta cuando un cálculo táctico “suficiente” no se

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

traduce en una programación de turnos factible, generando exceso de personal (overstaffing) o déficit de personal (understaffing) y decisiones menos sustentadas en datos.

Se propone una metodología de staffing táctico basada en el método de cálculo de FTEs con la inclusión de factores de complejidad que incorporan atributos morfológicos de la curva de demanda y la rigidez de políticas de turno, con el fin de producir estimaciones más representativas sin recurrir a simulaciones pesadas. Esta aproximación busca generar impacto empresarial al mejorar la calidad del dimensionamiento, acelerar el análisis de escenarios y fortalecer la gobernanza del proceso mediante indicadores integrables a tableros de inteligencia de negocios. Su valor teórico reside en formalizar una caracterización cuantificable de complejidad aplicable al staffing táctico. Su relevancia práctica radica en facilitar la adopción organizacional de un método más representativo. Su posible implicación social se relaciona con una planeación más estable que reduzca la improvisación en la gestión del trabajo.

El alcance se limita al nivel táctico de la planeación debido a restricciones de tiempo y acceso a datos, priorizando una metodología explicable y replicable sobre la optimización integral del staffing. La investigación se enmarca en el grupo INDEVOS de la Universidad EAN, en la línea AOPP (Automatización y Optimización de Procesos Productivos).

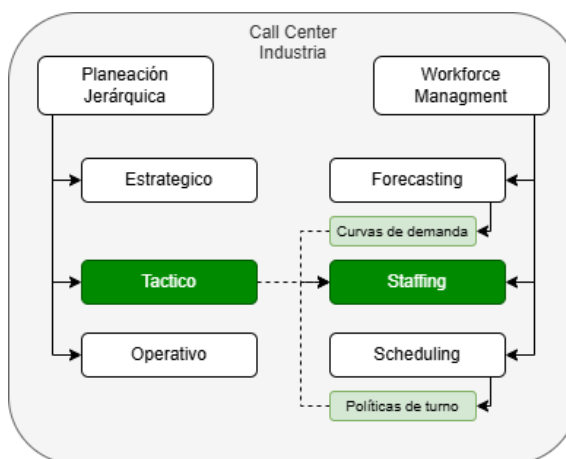
EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Marco Teórico

Comprender el problema de staffing que aborda esta investigación requiere situarlo en tres capas de contexto, tal como se ilustra en la Figura 1. La primera es la industria del CC, cuya naturaleza determina por qué la planeación de capacidad es particularmente exigente. La segunda es la planeación jerárquica, que permite precisar en qué nivel de decisión se ubica el problema. La tercera es el ciclo de WFM, donde se identifican las actividades de forecasting, staffing y scheduling, y se señala el punto específico en el que se concentra el aporte de esta investigación.

Figura 1

Diagrama de flujo, marco teórico.



Call Center: Naturaleza de la Industria y Necesidades

Los CC son sistemas donde la tecnología y las personas interactúan de manera constante; su funcionamiento depende tanto de la fuerza laboral como de las tecnologías utilizadas y de la interacción entre ambas. Las tecnologías de los CC abarcan desde herramientas fundacionales³ hasta soluciones como el modelo CCaaS (Malali, 2024), y permiten dirigir, supervisar y registrar cada llamada. Estas tecnologías organizan los flujos de trabajo y generan grandes volúmenes de

³ Entre las herramientas fundacionales se encuentran la Central Privada Automática Telefónica (Private Automatic Branch Exchange, PABX), el Distribuidor Automático de Llamadas (Automatic Call Distributor, ACD) y los sistemas de Respuesta de Voz Interactiva (Interactive Voice Response, IVR) (Gans et al., 2003; Pearce, 2025).

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

datos que reconstruyen en detalle el recorrido de cada interacción (Gans et al., 2003), haciendo del CC un entorno intensivo en información.

Disponer de una gran cantidad de datos no garantiza la estabilidad ni la predictibilidad del sistema. La demanda puede verse afectada por campañas comerciales, promociones, condiciones climáticas, problemas técnicos o variaciones en la disponibilidad del personal (Ding & Koole, 2022), alterando la carga de trabajo y poniendo en riesgo el equilibrio entre capacidad y niveles de servicio. El entorno combina variabilidad propia de la demanda con eventos externos que pueden desestabilizar la operación.

El componente humano representa entre el 60% y el 80% del costo operativo (Gans et al., 2003; Koole & Li, 2021) y plantea varios retos: la dificultad para encontrar y retener talento capacitado limita el ajuste rápido de capacidad (Shova, 2022); los modelos de gestión basados en métricas estrictas y supervisión constante generan presión, estrés y desgaste emocional (Doellgast & O'Brady, 2020); y los aumentos sostenidos de carga afectan el desempeño y la calidad del servicio (Chaudhary et al., 2023). El personal es el principal activo del sistema y también el más sensible a cambios y exigencias.

En este contexto, la planeación de la capacidad es un aspecto clave: calcular más personal del necesario afecta eficiencia y costos, mientras que calcular menos deteriora niveles de servicio, clima laboral y experiencia del cliente. Gestionar adecuadamente la capacidad no es solo un ejercicio técnico, sino un punto central para mantener el equilibrio entre tecnología, información y personas en un entorno dinámico.

Planeación Jerárquica de la Producción (HPP)

La Planeación Jerárquica de la Producción (Hierarchical Production Planning, HPP) es un enfoque que busca simplificar los problemas de la planeación mediante la partición del proceso de decisión en subproblemas que cubren diferentes horizontes temporales. Este sistema organiza la información para que las decisiones de un nivel determinado dependan de la

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

precisión y los objetivos establecidos en el nivel superior (Beaudoin et al., 2008). El propósito de este enfoque es garantizar que los objetivos y recursos de la organización sean coherentes en todos los niveles de decisión, de manera que las metas estratégicas se traduzcan efectivamente en acciones tácticas y operativas (Iyer & Jain, 2023).

La literatura identifica tres niveles de decisión con horizontes y responsabilidades diferenciados:

Nivel Estratégico

Es el nivel más alto de la planeación y se enfoca en el largo plazo, este horizonte suelen ser de 3 a 5 años, aunque puede variar de acuerdo con la industria (Iyer & Jain, 2023; Lapide, 2022). Entre los procesos que se abordan en este nivel se encuentran la definición de misión, visión y objetivos a largo plazo, así como el diseño de la red logística, la ubicación de instalaciones y la definición de capacidades globales. Los roles organizacionales típicos de este nivel corresponden a la alta gerencia y ejecutivos senior (Iyer & Jain, 2023; Schmidt & Wilhelm, 2000).

Nivel Táctico

Este nivel constituye el puente entre los niveles estratégico y operativo, con un horizonte que oscila entre los 6 y los 24 meses (Lapide, 2022; Schmidt & Wilhelm, 2000). En él se desarrollan los planes específicos que apoyan las metas estratégicas, con énfasis en la asignación de recursos, la definición de objetivos departamentales y el flujo de materiales; su gestión recae típicamente en gerentes de nivel medio (Iyer & Jain, 2023; Schmidt & Wilhelm, 2000). Este es el nivel al que hace referencia el término *táctico* en el enfoque de staffing que desarrolla la presente investigación.

Nivel Operativo

Este nivel se centra en el corto plazo, con un horizonte que va desde las actividades diarias hasta los 3 meses (Lapide, 2022). Aquí se llevan a cabo los planes de trabajo detallados,

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

asignación de tareas específicas a personas o equipos y la definición de cronogramas para el cumplimiento de las metas tácticas. Estas tareas son llevadas a cabo por los gerentes de primera línea y supervisores (Iyer & Jain, 2023).

En el contexto de los CC, estos tres niveles se articulan directamente con el ciclo de gestión de la fuerza laboral, donde cada actividad responde a un horizonte de planeación distinto.

Workforce Management (WFM)

La Gestión de la Fuerza Laboral (*Workforce Management*, WFM) en el entorno de los CC es un sistema integrado de procesos diseñado para equilibrar la carga de trabajo proyectada con los recursos humanos disponibles. El objetivo principal es garantizar que se cuente con el número correcto de personal, con las habilidades adecuadas y en el momento preciso para cumplir con los acuerdos del nivel de servicio de manera eficiente y al menor costo posible (Koole & Li, 2021; Tailor, 2023).

De acuerdo con la literatura, el ciclo de WFM se fundamenta en tres actividades interdependientes:

Pronóstico de la Demanda (Forecasting)

El pronóstico consiste en predecir los volúmenes de contacto (llamadas, chats, correos) en intervalos granulares que pueden llegar hasta los 15 minutos, considerando tendencias, estacionalidad, eventos y festividades (Koole & Li, 2021). Suele abordarse desde dos enfoques: las series de tiempo, que descubren patrones en los datos históricos y los extrapolan al futuro (Anderson, 2019), y los modelos causales, que incorporan variables exógenas como campañas comerciales o proyecciones de ventas (Hoyos & Poler, 2013). Koole & Li (2021) desaconsejan los modelos de "caja negra" por no permitir conocer las razones detrás de los resultados.

Las series de tiempo son secuencias de observaciones sobre una variable medida en puntos sucesivos, con granularidades que van desde horas hasta semanas. Una serie es

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

estacionaria cuando sus propiedades estadísticas no dependen del tiempo, es decir, presenta media y variabilidad constantes (Anderson, 2019). De acuerdo con Anderson et al. (2011) identifican cuatro patrones que pueden presentarse de forma simultánea o parcial en una misma serie:

- **Patrón horizontal:** los datos fluctúan aleatoriamente alrededor de una media constante.
- **Patrón de tendencia:** la serie presenta movimientos graduales hacia valores mayores o menores durante periodos extensos, como resultado de fenómenos de largo plazo.
- **Patrón estacional:** se identifican comportamientos recurrentes en periodos sucesivos, que dependiendo de la granularidad pueden manifestarse a nivel diario, semanal o anual.
- **Patrón cíclico:** se observa una secuencia alterna de puntos por encima y por debajo de la línea de tendencia en periodos superiores a un año.

Los modelos causales proyectan la demanda incorporando variables exógenas que generan variaciones significativas, como acciones comerciales (promociones, cambios de precio), dinámicas de mercado (nuevos productos, competidores) o eventos temporales externos (festivos, campañas, fallos técnicos) (Hoyos & Poler, 2013). La revisión detallada de métodos específicos de pronóstico excede el alcance de esta investigación.

La calidad del pronóstico se evalúa mediante métricas que cuantifican la desviación entre valores estimados y observados. Entre las más utilizadas se encuentran el Error de Pronóstico Medio (EPM), el Error Absoluto Medio (EAM), el Error Cuadrático Medio (ECM) y el Error Porcentual Absoluto Medio (EPAM) (Anderson, 2019).

Una serie temporal o función continua puede caracterizarse cuantitativamente mediante herramientas de la estadística descriptiva y el análisis de señales. Este análisis morfológico describe la estructura subyacente de los datos a partir de su forma, entendida como el conjunto

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

de pares tiempo-valor que conforma su silueta o patrón (Germain et al., 2024). La estadística descriptiva ofrece medidas orientadas a resumir localización, dispersión y forma de los datos.

Las más utilizadas para caracterizar una serie son (Lugo, 2014):

Medidas de localización y centralidad:

- **Mínimo y máximo:** valores extremos observados; permiten identificar los límites de la distribución.
- **Media:** promedio de los valores observados que resume el nivel central de los datos.

Medidas de dispersión:

- **Varianza y desviación estándar:** la varianza cuantifica el promedio cuadrático de los alejamientos respecto a la media; la desviación estándar es su raíz cuadrada y expresa la dispersión en las mismas unidades de la variable, siendo más interpretable.
- **Coefficiente de variación de Pearson:** medida de dispersión relativa que relaciona la desviación estándar con la media, permitiendo comparar la variabilidad entre conjuntos de distinta escala.

Medidas de forma:

- **Asimetría:** describe el grado en que una distribución deja de ser simétrica, permitiendo identificar si los datos se concentran más hacia uno de los extremos.
- **Curtosis:** describe el grado de apuntamiento o achatamiento de una distribución en comparación con una distribución de referencia, usualmente la normal.

Complementando el análisis estadístico, el campo del análisis de señales aporta herramientas orientadas a identificar la estructura temporal y los patrones locales de una curva:

- **Valor medio:** media algebraica de los valores instantáneos de una señal durante un periodo. Es igual a cero para formas de onda con semiperiodos simétricos respecto al eje del tiempo (Suarez Vargas, 2020).

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

- **Factor de cresta o factor de amplitud:** relación entre el valor pico de una señal y su valor eficaz. Permite caracterizar qué tan pronunciado es el máximo de una señal respecto a su nivel de referencia (Suarez Vargas, 2020).
- **Desplazamiento temporal:** operación que representa una versión retrasada o adelantada de una señal en el tiempo. Permite identificar la posición temporal de un evento o máximo dentro de la serie (Suarez Vargas, 2020).
- **Escalamiento en el tiempo:** también conocido como compresión o expansión, describe la modificación de la anchura temporal de una señal mediante la escala de su variable independiente (Suarez Vargas, 2020).
- **Multimodalidad:** propiedad de una distribución o serie que presenta más de un modo o máximo local en su densidad. Una distribución unimodal concentra sus valores alrededor de un único punto central, mientras que una distribución multimodal exhibe varios puntos de concentración diferenciados (Silverman, 1982).
- **Ancho completo a media altura (Full Width at Half Maximum, FWHM):** anchura de un pico medida a la mitad de su altura máxima. Es sensible a variaciones en la microestructura y a la acumulación de tensiones, y contiene información sobre la densidad de dislocaciones y el estado de deformación del material (Vashista & Paul, 2012).
- **Prominencia topográfica (Topographic Prominence):** medida que cuantifica la elevación relativa de un pico respecto a su entorno, calculada como la diferencia entre la altura de un máximo local y el punto de silla más alto que lo conecta con cualquier pico de mayor altura (Kashyap et al., 2020).

El conjunto de estas medidas permite caracterizar cuantitativamente la forma de la curva de demanda, incluyendo su concentración, simetría, número de picos y contraste. Estos

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

atributos, como se desarrolla en la siguiente sección, inciden directamente en el volumen de personal requerido para cubrir la operación.

Dimensionamiento de Personal (Staffing)

Esta actividad es el puente entre el pronóstico y la planeación de horarios, consiste en convertir un pronóstico de llamadas a nivel intervalo en un requerimiento neto de agentes⁴ (Koole & Li, 2021). Para ello se emplean diferentes métodos, desde enfoques determinísticos hasta enfoques estocásticos que incorporan la teoría de colas.

El método workload es el más utilizado en la industria a nivel táctico por su simplicidad y escalabilidad organizacional. Expresa el requerimiento de personal en unidades de Equivalente a Tiempo Completo (Full Time Equivalent, FTE) y requiere conocer el tiempo promedio por llamada (Average Handle Time, AHT) y la ocupación objetivo (Occupancy, OCC) para aplicar la fórmula (Call Center Studio, 2023):

$$Req\ FTE = \frac{\frac{Volumen\ llamadas}{hora} * AHT \frac{horas}{llamada}}{\frac{\%OCC}{Valor\ de\ FTE}}$$

Donde un Req FTE se define como la cantidad de empleados a tiempo completo requeridos, también denominado dotación de personal (si se habla en términos enteros, es headcount, HC), este valor depende de la unidad de tiempo considerada; así, en una semana un FTE equivale a 42 horas, en un día a 8 horas y en un intervalo a 0,5 horas (Deri Apriadi, 2022).

Una vez conocido el req FTE, que sería el total de personas netas necesarias, el método establece el cálculo de los agentes disponibles en la misma unidad de tiempo, denominados Plan FTE, a partir de la cantidad de agentes totales y el desperdicio esperado (shrinkage), expresado como:

$$Plan\ FTE = Agentes * (1 - desperdicio)$$

⁴ En este documento, el término agente hace referencia al trabajador que atiende las interacciones en el centro de llamadas, independientemente de su modalidad contractual o canal de atención.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Lo que se espera en el proceso de planeación de la capacidad es que la diferencia entre los *Req FTE* y los *Plan FTE* sea lo más cercana a cero, siendo este un método determinístico.

Otros métodos se fundamentan en la teoría de colas, que modela el fenómeno de la espera mediante la interacción entre llegadas de clientes y capacidad de servicio, permitiendo estimar tiempos de espera, niveles de servicio y utilización de recursos. Su formulación considera supuestos sobre llegadas, tiempos de servicio, disciplina de atención, estructura de servidores y comportamientos como abandono o priorización. El esquema más común de atención es primero en llegar, primero en ser atendido (First In, First Out, FIFO) (Taha, 2017).

La notación de Kendall describe estos sistemas mediante el esquema $A/B/c$, donde A es la distribución de llegadas, B el tiempo de servicio y c el número de servidores; extensiones posteriores incorporan capacidad de cola, tamaño de población y disciplina (Tijms, 2003).

En los centros de llamadas, los métodos basados en teoría de colas se aplican mediante el enfoque *Stationary Independent Period by Period* (SIPP). Este divide la jornada en intervalos de 30 o 60 minutos y calcula de forma independiente el número de agentes por bloque, asumiendo tasa de llegada constante dentro del intervalo y sin congestión arrastrada entre intervalos (Green & Soares, 2009). Entre los modelos estocásticos aplicables bajo SIPP para calcular los Req FTE está la regla *Square Root Staffing*, que asume un sistema $M/M/c$ y determina el menor número de servidores c^* tal que la probabilidad de espera de un cliente no supere un umbral α . La regla se expresa como $c^* \cong r + \gamma_\alpha \sqrt{r}$, donde γ_α es la solución a la ecuación:

$$\frac{\gamma * \Phi(\gamma)}{\varphi(\gamma)} = \frac{1 - \alpha}{\alpha}$$

$\Phi(\gamma)$ y $\varphi(\gamma)$ corresponden la función de distribución acumulativa (FDA) y la función de densidad de probabilidad (FDP) de una variable aleatoria normal estándar (Rossetti, 2015).

Otros modelos estocásticos ampliamente utilizados son Erlang-C y Erlang-A. Su aplicación se facilita con complementos en Excel que calculan el Req FTE a partir del

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

requerimiento de llamadas por intervalo, el AHT, el nivel de servicio (SL) y el tiempo de espera (ASA), mediante las funciones *Fractional Agents* y *Agents* (Bromley, 2017).

El modelo más simple y utilizado en centros de contacto es Erlang-C, un modelo $M/M/s$ donde M corresponde a una distribución Poisson o Márkov. Asume que clientes y servidores son estadísticamente idénticos e independientes, supuesto que no captura la impaciencia del cliente, el abandono ni diferencias de habilidades entre servidores (Brown et al., 2005). De estas limitaciones, la más relevante es el abandono, es decir, las llamadas que dejan la cola antes de ser atendidas (Nag & Helal, 2017). Para incorporar el abandono, el modelo Palm/Erlang-A asocia a cada llamada un tiempo de paciencia distribuido exponencialmente con tasa θ ; si el tiempo de espera supera dicho umbral, la llamada se abandona. Se denota como $M/M/n + M$ (Mandelbaum & Zeltyn, 2007).

Los modelos estocásticos ofrecen mayor precisión, pero exigen análisis a nivel intervalo y supuestos distribucionales propios del nivel operativo. El método workload, en contraste, opera con parámetros agregados compatibles con el horizonte táctico, lo que lo convierte en el método de referencia para el staffing táctico en CC.

Programación de Horarios (Scheduling)

Una vez determinado el requerimiento de personal, la programación de horarios traduce ese requerimiento en turnos concretos asignados a cada agente, con el objetivo de cubrir los niveles de servicio respetando las restricciones operativas y legales aplicables (Koole & Li, 2021). Un criterio importante asociado a la programación de turnos es el shrinkage, que se refiere al porcentaje de tiempo que las personas no estarán disponibles para gestionar llamadas durante sus horas de turno programadas, además este valor se puede dividir en dos categorías, el shrinkage interno, el cual corresponde a actividades de break, reuniones de equipo, coaching, entrenamientos, caídas del sistema, proyectos especiales o incluso evasión de trabajo. La segunda categoría es el shrinkage externo el cual hace referencia a las vacaciones, incapacidades,

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

llegadas tarde, salidas temprano, ausentismo. Este también se puede dividir en planeado y no planeado (Squaretalk, 2024).

Los aspectos que se deben considerar al definir y asignar los horarios, con el fin de garantizar el cumplimiento de la demanda, son los siguientes:

- **Nivel de cobertura:** hace referencia a si se espera cubrir todos y cada uno de los intervalos del día y de la semana, o si se sacrifican algunos intervalos en cobertura y se intenta crear un balance entre intervalos descubiertos e intervalos con exceso de cobertura.
- **Esquema de días de descanso:** hace referencia a la cantidad de días de descanso que tendrán los horarios de los agentes y si estos serán consecutivos o no.
- **Intensidad horaria:** hace referencia al total de horas de trabajo a la semana, así como la cantidad de horas que se trabaja cada día, está relacionado con el esquema de días de descanso.
- **Inicio de los turnos y jornada:** hace referencia a la hora en que iniciarán los diferentes turnos, y si habrá o no variación entre la hora de inicio de turno.

Todos estos factores permiten flexibilizar la planeación y obtener una mejor adherencia a la curva de requerimiento (Reynolds, 2016).

- **Políticas de turno por ley:** en la legislación colombiana se dictan algunos lineamientos que restringen algunos aspectos de los turnos de trabajo y que toda empresa debe cumplir. El Código Sustantivo del Trabajo establece que la jornada ordinaria máxima es de 42 horas semanales, distribuidas en 5 o 6 días; que cada jornada debe incluir al menos un intermedio de descanso; y que las horas extra no pueden superar 2 diarias ni 12 semanales (Código Sustantivo del Trabajo, 2011).

De acuerdo con la literatura, cuando el proceso de scheduling no se hace de forma manual, este se aborda como un problema de optimización combinatoria, donde los requerimientos

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

operativos y legales se traducen directamente en restricciones matemáticas (Floudas & Lin, 2005; Santanna Barbosa et al., 2017).

Los modelos de scheduling se estructuran bajo la Programación Lineal Entera (ILP) y la Programación Lineal Entera Mixta (MILP), a partir de los siguientes componentes: Variable de decisión, función objetivo y restricciones, siendo estas últimas las reglas que el modelo no puede violar, expresadas como ecuaciones o inecuaciones matemáticas que traducen los requerimientos operativos y legales del problema (Santanna Barbosa et al., 2017; Türker & Demiriz, 2018). Adicionalmente, la elección de una representación discreta del tiempo, dividiendo la jornada en bloques de 15 o 30 minutos, es fundamental, ya que define la precisión del modelo frente a la realidad operativa del CC (Floudas & Lin, 2005). Ahora bien, el reto que enfrentan estos modelos matemáticos es que son problemas de clase NP-completos (NP-hard), lo que significa que el tiempo necesario para encontrar una solución óptima crece exponencialmente a medida que se añaden más agentes o restricciones detalladas (Floudas & Lin, 2005; Karger et al., 1999).

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Hipótesis

Un factor de ajuste multiplicativo M , derivado de la forma de la curva de demanda y las políticas de turno, permite anticipar la brecha entre el Headcount (HC) estimado por workload y el HC mínimo factible⁵ después del scheduling con un poder predictivo cuantificable superior al 50%.

⁵ Se formula en términos de *headcount* (HC) y no en FTE porque la planeación táctica se materializa en personas, no en fracciones de jornada equivalente, y el mínimo factible del scheduling solo existe en valores enteros.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Variables

Las variables aquí descritas delimitan los atributos que serán medidos en la investigación y las reglas bajo las cuales se observarán. Se derivan del objetivo principal: caracterizar y cuantificar la brecha entre el cálculo determinístico del requerimiento en FTE basado en workload y el requerimiento en FTE cuando se incorporan las particularidades de la curva de demanda y las restricciones de scheduling. Dado que el estudio es cuantitativo no experimental basado en simulación, la distinción entre variables independientes y dependientes se entiende en términos operacionales: las variables independientes corresponden a los parámetros que el investigador controla para generar escenarios (inputs), mientras que las variables dependientes corresponden a las métricas que resultan del sistema simulado y del modelo de scheduling (outputs).

Clasificación General

Se distinguen tres grupos de variables:

- 1. Variables de control experimental o independientes:** parámetros de forma de la demanda, la distribución semanal del volumen y políticas de turno que se modifican sistemáticamente para generar escenarios.
- 2. Variables de respuesta o dependientes:** Resultados calculados a partir de los escenarios, principalmente HC_{req} así como métricas derivadas.
- 3. Parámetros operativos o constantes del modelo:** Variables necesarias para traducir las llamadas a requerimiento de HC que se mantendrán fijas como línea base y no constituyen foco experimental.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Tabla 1

Variables de control experimental o independientes.

Variable	definición conceptual	definición operativa
Modo de distribución semanal	Representa la regla que define la distribución interdiaria del volumen semanal entre los 7 días.	Se codifica como $W1: w_i = 1/7$ y $W2$ (asimétrica): $\sum_{i=0}^4 w_i > \sum_{i=5}^6 w_i$
Proporción p de los días entre semana (solo para $W2$).	Representa la fracción del volumen semanal asignada a lunes–viernes.	Se parametriza como $p \in (0,1)$ y cumple: $\frac{\sum_{i=0}^4 w_i}{\sum_{i=0}^6 w_i} = p$ $\frac{\sum_{i=5}^6 w_i}{\sum_{i=0}^6 w_i} = 1 - p.$
Gradiente en días hábiles	Representa la variación sistemática entre lunes y viernes sin modificar la forma intradía.	Se codifica como $\{Uniforme, Creciente, Decreciente\}$. Se aplica un paso constante de 2% y se normaliza para mantener $\frac{\sum_{i=0}^4 w_i}{\sum_{i=0}^6 w_i} = p$
Número de picos K	Representa la dispersión temporal del pico y diferencia picos angostos vs. anchos.	Se parametriza como $K \in \{1,2\}$.
Posición del pico Pos_k	Representa la ubicación temporal del centro del pico dentro del día.	Se parametriza como $Pos_k \in [0,48)$, en unidades de intervalos j .
Ancho del pico $width_k$	Dispersión temporal del pico; distingue picos angostos vs anchos.	Se parametriza en unidades de intervalos y se traduce al parámetro σ_k según la función definida.
Relación pico/valle R	Representa el contraste intradía como la razón entre el nivel pico y el nivel valle.	Se parametriza como $R \geq 1$ (curva plana: $R = 1$) y se operacionaliza como $R \approx \frac{\max_j p_j}{\min_j p_j}$.
Modo de altura entre picos (si $K = 2$)	Representa la condición de igualdad o dominancia relativa entre las crestas de los dos picos.	Se codifica como $\{equal, ratio\}$. En modo ratio se impone $\frac{peak_1}{peak_2} = r$ y se normaliza antes de combinar los picos.
Caso de scheduling (run)	Representa la configuración de restricciones aplicada al mismo Req_{ij} .	Se codifica como $run \in \{1,2\}$: run 1 (restrictivo) y run 2 (flexible).

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Tabla 2

Variables de respuesta o dependientes

Variable	definición conceptual	definición operativa
Matriz de llamadas v_{ij}	Representa la distribución final del volumen por día i e intervalo j resultante del escenario.	Se calcula como $v_{ij} = V \cdot w_i \cdot p_j$ y luego se convierte a enteros conservando $\sum_i \sum_j v_{ij} = V$.
Requerido por intervalo FTE_{ij}	Representa el número de agentes simultáneos requeridos para atender v_{ij} bajo parámetros de workload.	Se calcula como $FTE_{ij} = \frac{v_{ij} \cdot AHT}{3600 \cdot T \cdot OCC}$, con $T = 0.5$ horas.
N_{final} (mínimo Nexitoso)	Representa el HC mínimo entero para el cual el scheduling alcanza la meta de cobertura γ bajo el caso de restricciones.	Se define $coverage(N) = 1 - \frac{\sum_i \sum_j \max(0, Req_{ij} - C_{ij}(N))}{\sum_i \sum_j Req_{ij}}$. Se calcula como $N_{final} = \min \{N \in \mathbb{Z}_+ : coverage(n) \geq \gamma\}$
HC_{real}	Representa el HC mínimo pagado equivalente, obtenido al ajustar el mínimo factible del scheduling por shrinkage.	Se calcula como $HC_{real} = \frac{N_{final}}{1 - SHK}$.
M_{obs}	Representa el factor multiplicativo observado que relaciona el requerido determinístico y el mínimo pagado equivalente bajo restricciones.	Se calcula como $M_{obs} = \frac{HC_{real}}{HC_{req}}$.
M	Representa el valor de ajuste de la tabla de coeficientes que ajusta FTE_{req} para aproximar el mínimo factible bajo restricciones.	Se operacionaliza como una tabla de decisión que asigna un multiplicador a combinaciones discretizadas de parámetros (p. ej., $K, R, width_k, run$), calibrada con los resultados de los escenarios.
$HC_{estimado}$	Representa el HC táctico estimado, obtenido al aplicar el factor de ajuste M recomendado sobre el requerido determinístico, incorporando la complejidad morfológica de la demanda y las restricciones de turno.	Se calcula como $HC_{estimado} = HC_{req} \times M$.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Tabla 3

Parámetros operativos o constantes del modelo

Variable	definición conceptual	definición operativa
V	Representa el total de llamadas que el sistema debe atender en el horizonte semanal.	Se fija como constante por escenario y cumple $\sum_i \sum_j v_{ij} = V$. Se fija en $7500 \frac{\text{llamadas}}{\text{semana}}$.
AHT	Representa la duración promedio de atención por llamada (conversión a workload).	Se fija en $300 \frac{\text{segundos}}{\text{llamada}}$.
OCC	Representa la ocupación objetivo como fracción de tiempo conectado productivo.	Se fija en 0.7. $OCC \in (0,1)$.
SHK	Representa el shrinkage (desperdicio) como pérdida de disponibilidad sobre el tiempo pagado.	Se fija en 0.2, con $SHK \in (0,1)$.
H_g	Representa las horas equivalentes de un agente (FTE) en el horizonte semanal	Se fija en $H_g = 42$ horas/semana.
T	Representa la duración del intervalo de discretización temporal.	Se fija en $T = 0.5$ horas.
FTE_{req}	Representa el requerido determinístico semanal de personal para gestionar V bajo AHT , OCC , SHK y H_g .	$FTE_{req} = \frac{V \cdot AHT}{3600 \cdot OCC \cdot (1 - SHK) \cdot H_g}$
HC_{req}	Representa el requerido determinístico semanal de personal para gestionar V bajo AHT , OCC , SHK y H_g en números enteros.	$HC_{req} = \lceil FTE_{req} \rceil$
Meta de cobertura γ	Umbral mínimo de cumplimiento del requerido que define éxito/fracaso en la búsqueda de N .	Constante: $\gamma = 0.90$. Se evalúa con $coverage = 1 - \frac{\sum_{under}}{\sum_{Req}}$.

Con las variables definidas, la siguiente sección describe cómo se construye el experimento que permite observarlas: el diseño de simulación, los módulos que generan la demanda y programan los turnos, y el protocolo que garantiza la trazabilidad de cada corrida.

Metodología

Enfoque, Diseño y Alcance

La investigación adopta un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental basado en simulación y optimización. No se interviene una operación real ni se manipulan variables en un entorno operacional; en su lugar, se controlan parámetros de generación de demanda y de políticas de turno para construir escenarios sintéticos reproducibles. El alcance es descriptivo–analítico: describe cómo cambian las métricas de dimensionamiento y factibilidad del scheduling ante variaciones en la morfología de la curva y la rigidez de restricciones; y analiza dicha sensibilidad para construir un mecanismo de ajuste replicable del requerimiento determinístico.

Dado que el propósito del estudio es cerrar la brecha entre el requerimiento calculado por workload y el mínimo factible bajo scheduling, la métrica central de evaluación es la desviación M_{obs} que relaciona HC_{req} (determinístico) y HC_{real} (mínimo necesario equivalente bajo restricciones). Sobre esta base, se busca derivar un factor multiplicativo M que permita aproximar HC_{real} a partir de características observables de la demanda y del caso de restricciones, con énfasis en interpretabilidad y aplicabilidad táctica.

Población y Muestra

En este estudio, la población se define como el universo teórico de escenarios posibles del sistema, entendido como todas las combinaciones plausibles entre morfologías de demanda y configuraciones de restricciones de turno. En su formulación general, varios parámetros de demanda pueden concebirse como continuos (p. ej., posición y ancho de picos); sin embargo, para asegurar viabilidad computacional, trazabilidad y replicabilidad, dichos dominios se discretizan en un conjunto finito de niveles representativos, configurando un diseño factorial discreto.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

La muestra corresponde al conjunto de escenarios efectivamente simulados, contruidos como combinaciones de: patrones interdiarios (modo semanal), patrones intradías (picos y contraste) y casos de scheduling (run). En la implementación, el diseño produce 1134 bases de demanda (7 configuraciones interdiarias $\times$ 162 configuraciones intradía) y cada base se evalúa bajo dos casos de scheduling $\{run1, run2\}$, para un total de 2268 escenarios. Cada escenario constituye una observación del sistema bajo condiciones controladas.

Unidad de Análisis y Notación

El horizonte de planeación del estudio es semanal y se discretiza en una malla de 7 días por 48 intervalos intradía de 30 minutos, con duración $T = 0.5$ horas por intervalo. Sea $i \in \{0, \dots, 6\}$ el índice de día y $j \in \{0, \dots, 47\}$ el índice de intervalo intradía. El volumen semanal total se denota $V \left(\frac{\text{llamadas}}{\text{semana}} \right)$ y la demanda simulada por intervalo se denota $v_{ij} \left(\frac{\text{llamadas}}{\text{intervalo}} \right)$, cumpliendo $\sum_i \sum_j v_{ij} = V$.

Los parámetros operativos del modelo workload son: $AHT \left(\frac{\text{seg}}{\text{llamada}} \right)$, $OCC \in (0,1)$ (ocupación objetivo), $SHK \in (0,1)$ (shrinkage⁶) y H_g (horas pagadas por FTE en el horizonte). A partir de v_{ij} y estos parámetros, se calcula el requerido de capacidad, expresado como el número de agentes simultáneos requeridos y denotado Req_{ij} . El módulo de scheduling (ILP) construye una cobertura planeada C_{ij} sobre la misma malla, permitiendo cuantificar faltantes/sobrantes y determinar el HC mínimo factible bajo restricciones.

El workload agregado semanal se obtiene convirtiendo volumen a tiempo de gestión y ajustando por ocupación y shrinkage. El tiempo puro de gestión se calcula como:

$$H_{talk} = \frac{V \cdot AHT}{3600}$$

La ocupación transforma horas de gestión en horas productivas conectadas requeridas:

⁶ Proporción del tiempo pagado no disponible para atender llamadas.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

$$H_{prod} = \frac{H_{talk}}{OCC}$$

El shrinkage ajusta de horas productivas a horas pagadas:

$$H_{paid} = \frac{H_{prod}}{1 - SHK}$$

Finalmente, el HC requerido determinístico es:

$$HC_{req} = \frac{H_{paid}}{H_g} = \frac{V \cdot AHT}{3600 \cdot OCC \cdot (1 - SHK) \cdot H_g}$$

con $T = 0.5$ horas. La consistencia entre el enfoque agregado y el enfoque por intervalos (i.e., que la agregación de Req_{ij} reconstruye H_{prod} bajo conservación de Volumen se presenta en el Anexo C.

Instrumentos

El instrumento principal es un software de simulación desarrollado para este estudio, denominado StaffSim⁷, compuesto por cuatro módulos: un generador de escenarios de demanda que construye la matriz v_{ij} y el requerido por intervalo Req_{ij} ; un programador de turnos basado en programación lineal entera (ILP) que, para un número dado de empleados N , genera un plan cuya cobertura induce C_{ij} y permite calcular faltantes/sobrantes; y un orquestador de experimentos que ejecuta de forma sistemática la combinatoria de escenarios, registra parámetros de entrada, métricas de salida y bitácoras de ejecución; y un árbol de regresión que sintetiza el conjunto de resultados en una tabla de consulta, articulando los parámetros de entrada con un factor M recomendado por grupo de escenarios.

Por escenario, el instrumento produce como salidas mínimas: v_{ij} , Req_{ij} , C_{ij} , la métrica de cobertura *coverage*, el mínimo N_{final} que cumple $coverage \geq \gamma$, el HC_{real} y la desviación respecto a HC_{req} . Estas salidas se consolidan en una tabla por escenario para análisis posterior.

⁷ Disponible en <https://github.com/mgutier57131/StaffSim>

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Generador de Demanda

El generador de demanda construye la matriz v_{ij} en tres etapas: (1) definición de la forma intradía, (2) ajuste del contraste pico–valle y (3) escalamiento al volumen semanal total.

Primero se define un patrón intradía discreto p_j sobre los 48 intervalos del día, con $\sum_j p_j = 1$. Este patrón representa la distribución porcentual del volumen dentro de un día y se parametriza mediante el número de picos K , sus posiciones y anchuras, y un contraste objetivo pico–valle R . La construcción de p_j se realiza mediante componentes suaves (gaussianas discretizadas) y un ajuste numérico del contraste; el detalle completo se presenta en el Anexo D.

Luego se define una distribución interdiaria w_i sobre los 7 días de la semana, con $\sum_i w_i = 1$, según el modo semanal (uniforme o weekday-heavy). Con V , w_i y p_j , la demanda esperada se calcula como:

$$v_{ij} = V \cdot w_i \cdot p_j.$$

Finalmente, v_{ij} se discretiza a enteros preservando $\sum_i \sum_j v_{ij} = V$. A partir de v_{ij} , el simulador calcula Req_{ij} usando la ecuación definida en el bloque de workload.

Programador de Turnos

El módulo de scheduling toma como entrada el requerido por intervalo Req_{ij} generado por el módulo de demanda y, para un número fijo de empleados N , construye una programación de turnos que induce una cobertura planeada C_{ij} sobre la misma malla semanal. Para cuantificar el incumplimiento por intervalo se define la variable auxiliar de faltante $under_{ij}$, tal que:

$$under_{ij} \geq Req_{ij} - C_{ij}, under_{ij} \geq 0$$

La cobertura global del plan se calcula como:

$$coverage = 1 - \frac{\sum_i \sum_j under_{ij}}{\sum_i \sum_j Req_{ij}}$$

La función objetivo del ILP prioriza la minimización del faltante total:

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

$$\min \sum_i \sum_j \text{under}_{ij}.$$

Una corrida con N empleados se considera exitosa si $\text{coverage} \geq \gamma$ (con $\gamma = 0.90$). El HC mínimo factible bajo restricciones se define como N_{final} , el menor entero N para el cual el ILP alcanza la meta de cobertura bajo el caso de restricciones evaluado.

Con fines de auditoría se calculan también métricas complementarias de exceso de cobertura (overstaff) y matrices de diferencias $\Delta_{ij} = C_{ij} - \text{Req}_{ij}$, lo que permite identificar intervalos con déficit/exceso sin compensación indebida entre periodos.

Casos de Restricciones (runs).

El diseño experimental evalúa dos casos discretos de scheduling, run1 (restrictivo) y run2 (flexible), que representan los extremos del espectro de rigidez operativa. Su definición responde a tres criterios:

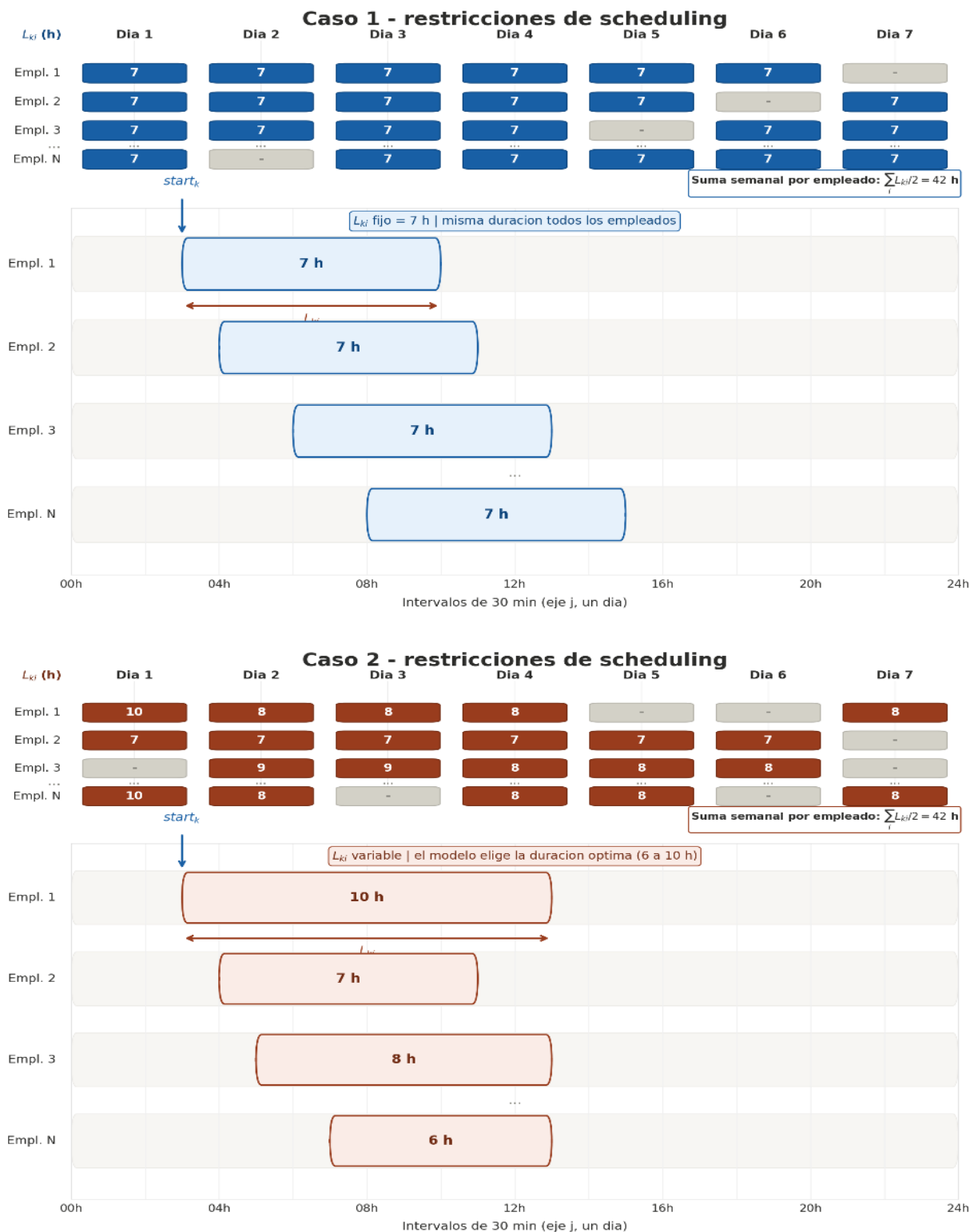
1. **Normativo:** cumplimiento de límites de horas semanales y esquemas de días de descanso habituales en la operación de centros de contacto.
2. **Computacional:** control del costo de búsqueda del ILP, de naturaleza NP-completa, manteniendo una proporción razonable de soluciones óptimas dentro de los recursos disponibles.
3. **Representatividad:** captura de la variación más relevante para el nivel táctico, es decir, la libertad del modelo para distribuir horas y días de trabajo.

La Figura 2 ilustra visualmente ambas configuraciones.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Figura 2

Comparación de configuraciones de scheduling: Caso 1 (restrictivo) y Caso 2 (flexible)



EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Nota: Comparación visual de los dos casos de scheduling evaluados. El panel superior presenta la distribución semanal de horas por empleado y el inferior un ejemplo de asignación diaria tipo Gantt. Elaboración propia.

Ambos casos comparten un conjunto de restricciones: una intensidad semanal de 84 intervalos (42 horas) por empleado, una hora de inicio constante durante la semana que el modelo selecciona libremente, y la no admisión de turnos que crucen el cambio de día. La diferencia entre los casos está en dos dimensiones. En el caso restrictivo (run1) cada empleado trabaja exactamente 6 días con una duración fija de 7 horas (14 intervalos de 30 minutos). En el caso flexible (run2) cada empleado trabaja entre 5 y 6 días con una duración diaria variable, lo que permite al modelo seleccionar turnos de 6 a 10 horas según la demanda. Cada una de estas dimensiones de política de turno se traduce en una restricción del modelo ILP, como se resume en la Tabla 4.

Tabla 4

Correspondencia entre dimensiones de política de turno y restricciones del modelo ILP.

Dimensión de política	Restricción en el modelo ILP	run1 (restrictivo)	run2 (flexible)
Intensidad horaria semanal (jornada legal 42 h)	$\sum_i L_{ki} = 84 \forall k$	Común a ambos	Común a ambos
Duración diaria del turno	L_{ki} (intervalos de 30 min)	Fija: $L_{ki} = 14 \cdot y_{ki}$ (7 h)	Variable: $L_{ki} \in \{0,12,14,16,18,20\}$ (6-10 h)
Días trabajados / esquema de descanso	$\sum_i y_{ki}$	Exactamente 6	5 o 6
Hora de inicio del turno	$start_k$ constante por empleado durante la semana (elegida por el modelo)	Común a ambos	Común a ambos
No cruce de día	$start_k + L_{ki} \leq 48 \forall ki$ con $y_{ki} = 1$	Común a ambos	Común a ambos
Nivel de cobertura	$coverage = 1 - \left(\frac{\sum \sum under_{ij}}{\sum \sum Req_{ij}} \right) \geq \gamma$, con $\gamma = 0.90$	Común a ambos	Común a ambos

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Nota: $y_{ki} = 1$ si el empleado k trabaja el día i , 0 si descansa. L_{ki} es la duración del turno del empleado k el día i en intervalos de 30 minutos. $start_k$ es el intervalo de inicio del turno, constante durante la semana. La función objetivo del modelo minimiza el faltante total:

$$\min \sum \sum under_{ij}.$$

Varios elementos fueron descartados deliberadamente: turnos con cruce de día, por la complejidad combinatoria que introducen; distancia mínima entre turnos consecutivos, por no ser un requerimiento habitual; y duración continua, reemplazada por valores discretos entre 6 y 10 horas, límite coherente con escenarios operativos plausibles en centros de contacto. La formulación ILP completa se presenta en el Anexo E.

Orquestador de Escenarios

El orquestador operacionaliza el diseño experimental y garantiza ejecución sistemática, reproducible y auditable. Un escenario se define como una base de demanda (parámetros interdiarios e intradía que determinan v_{ij} y Req_{ij}) evaluada bajo un caso de restricciones de scheduling (run). Cada escenario se ejecuta en dos etapas: el generador produce v_{ij} y Req_{ij} ; el scheduling resuelve el ILP para N_{final} con $coverage \geq \gamma$. Mantener la misma demanda bajo distintos runs aísla el efecto de la política de scheduling.

Por corrida se registran parámetros del escenario, outputs (HC_{req} , HC_{real} , M_{obs} , $coverage$, $\sum under$, $\sum over$, entre otros), y metadatos de ejecución, consolidados en una tabla por escenario. El barrido paramétrico produce 2268 escenarios (1134 bases de demanda $\times$ 2 casos run); los detalles de implementación se presentan en el Orquestación de Escenarios

Árbol de Decisión

Sobre el conjunto de datos consolidado por el orquestador se entrena un árbol de regresión (Decision Tree Regressor, DTR) que identifica particiones recursivas del espacio de parámetros minimizando la varianza de M_{obs} dentro de cada subgrupo. Cada hoja del árbol agrupa escenarios con condiciones similares y concentra una distribución empírica de M_{obs} ; el

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

valor de M correspondiente a cada hoja se define con alguna medida de tendencia central del M_{obs} del grupo. El árbol se ejecuta una única vez sobre los datos simulados y su resultado se consolida en una tabla de consulta. Cada fila de la tabla, correspondiente a una hoja del árbol, se clasifica en un nivel de complejidad según el valor de M resultante, anclado empíricamente en los percentiles globales de la distribución de M_{obs} sobre el total de escenarios simulados.

Para operativizar la aplicación del modelo, se diseña un formulario estructurado de preguntas cerradas sobre la morfología de la curva de demanda y las políticas de turno vigentes. Las respuestas se codifican en los niveles definidos en el diseño experimental (Tabla 1) y permiten ubicar el caso del usuario en una de las hojas del árbol de decisión, cada una asociada a un factor M y un nivel de complejidad específicos. La clasificación del caso de restricciones de scheduling se deriva internamente de las respuestas, sin requerir conocimiento de la nomenclatura del modelo.

Validación

La validación del instrumento se basa en verificaciones automáticas de consistencia y trazabilidad por corrida, asegurando coherencia con las definiciones del modelo y comparabilidad entre escenarios. Como la evidencia proviene de datos sintéticos, la validez se apoya en invariantes internos y en registros auditables de ejecución.

En el módulo de demanda se verifican por escenario: conservación de volumen $\sum_i \sum_j v_{ij} = V$, no negatividad $v_{ij} \geq 0$, malla temporal 7×48 ($T = 0.5 h$) y consistencia dimensional del requerido. El contraste intradía logrado se compara contra el objetivo, detectando desajustes de parametrización o discretización.

En el módulo de scheduling se verifica que el solver retorne solución factible bajo las restricciones del run y que dicha solución cumpla las restricciones por construcción. Por corrida se registran el estado de solución (óptimo/factible/infeasible/timeout), tiempo de cómputo y valor objetivo, exportados como bitácora.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Ante fallas por *timeout* u otras condiciones recuperables, el orquestador reejecuta el escenario bajo los mismos parámetros, registrando estado, tiempo y mensajes en cada intento. Si la falla persiste, se ajustan de forma controlada los recursos de cómputo manteniendo trazabilidad. Solo los escenarios con solución factible u óptima se consolidan en la base experimental; los demás quedan etiquetados y excluidos del análisis comparable.

En el árbol de regresión, la validación se realiza mediante una partición aleatoria del conjunto de escenarios en subconjuntos de entrenamiento y validación (80/20, con semilla fija para garantizar reproducibilidad). El desempeño del modelo sobre el subconjunto de validación, medido por el R^2 sobre datos no vistos, construye el criterio principal para seleccionar la profundidad óptima del árbol y para evaluar el poder explicativo del modelo de síntesis. Esta separación asegura que los indicadores de ajuste reportados no incorporen datos vistos durante el entrenamiento.

Técnicas para el Análisis de la Información

El análisis busca caracterizar la brecha M_{obs} entre el HC determinístico y el mínimo factible bajo restricciones, tanto a nivel global como dentro de cada hoja del árbol, con el fin de definir el factor M recomendado y los umbrales de clasificación por complejidad. Para ello se aplica estadística descriptiva sobre M_{obs} (media, mediana, desviación estándar, asimetría y curtosis) y una distribución de frecuencias, con el fin de describir la forma de la distribución de la brecha. Se aplica la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para determinar qué medida de tendencia central resulta apropiada como recomendación del factor M dentro de cada hoja y para evaluar si el uso de percentiles globales es un criterio adecuado para definir los umbrales entre niveles de complejidad. Finalmente, la importancia de variables derivada del árbol se emplea como indicador del peso relativo de cada variable del diseño experimental sobre la explicación de M_{obs} .

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Limitaciones y Supuestos

El diseño del simulador se construyó bajo supuestos que acotan el espacio experimental, aseguran comparabilidad entre escenarios y mantienen viable el cómputo del barrido paramétrico.

1. Volumen semanal total V , AHT, OCC, SHK y Hg constantes en todas las corridas. Los escenarios aíslan efectos de redistribución temporal, no variaciones de escala.
2. Discretización fija en intervalos de 30 minutos sobre malla 7×48 . No se evalúan otras granularidades. La demanda se redondea a enteros preservando $\sum_i \sum_j v_{ij} = V$; los efectos de redondeo se asumen secundarios.
3. Curvas intradía restringidas a patrones unimodales o bimodales mediante gaussianas discretizadas en mezcla convexa con uniforme. No se modelan asimetrías pronunciadas, más de dos picos, discontinuidades ni mesetas. El contraste pico–valle se controla por λ .
4. Distribución interdiaria limitada a dos familias (uniforme y con carga en días hábiles). No se modelan estacionalidades por día, festivos ni dependencias entre forma interdiaria e intradía más allá de $v_{ij} = V \cdot w_i \cdot p_j$.
5. Req_{ij} asume homogeneidad de atención y ocupación por intervalo. SHK se aplica solo en el agregado HC_{req} ; el scheduling no modela shrinkage intradía. En consecuencia, N_{final} es el mínimo factible sin degradación intradía y HC_{real} incorpora SHK de forma agregada.
6. El tiempo de solución del ILP crece con la complejidad de restricciones y el tamaño experimental. El diseño usa variables discretas y un número acotado de casos de scheduling representativos.
7. Existen limitaciones computacionales inherentes al enfoque: el tiempo de solución del ILP puede ser elevado por corrida y crece con la complejidad del conjunto de restricciones y el tamaño del espacio experimental. Por esta razón, el diseño se apoya en

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

discretización de variables y en la evaluación de un número acotado de casos de scheduling, priorizando configuraciones representativas y trazables frente a una exploración exhaustiva de políticas operativas.

Bajo estos supuestos, la metodología permite generar evidencia reproducible sobre el efecto de la forma de demanda y las restricciones de turno en la brecha entre workload y scheduling, y sustenta la construcción de un ajuste M aplicable a planeación táctica.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Trabajo de Campo

La tabla siguiente sintetiza los elementos técnicos y metodológicos del estudio, facilitando su caracterización y replicabilidad.

Tabla 5

Ficha técnica del estudio

Campo	Contenido
Tipo de estudio	Experimental basado en simulación
Enfoque	Cuantitativo
Diseño	Factorial (barrido de escenarios)
Alcance / población	Operaciones de call center de canal único, agentes de habilidad homogénea
Unidad de análisis	El escenario (combinación de parámetros de demanda y caso de scheduling)
Tamaño del conjunto	2.268 escenarios
Factores y niveles	Patrón semanal, concentración en laborales, número y posición de picos, ancho de picos, relación entre picos, ratio pico/valle, caso de scheduling
Variable objetivo	$M_{obs} = \frac{HC_{real}}{HC_{req}}$
Instrumento	StaffSim (generador de demanda, programador de turnos ILP, orquestador, árbol de decisión)
Solver	OR-Tools CP-SAT
Técnica de síntesis	Árbol de regresión (Decision Tree Regressor)
Validación	Partición 80/20, semilla fija; R^2 de validación = 0.73
Herramientas	Python, OR-Tools, scikit-learn, Streamlit

Procesamiento de los Datos

La ejecución del simulador (StaffSim) sobre el diseño factorial descrito en la metodología produjo 2268 escenarios, todos con estado de solución factible u óptimo, por lo que ningún escenario fue excluido del análisis. Cada escenario registra la configuración completa de parámetros de demanda y scheduling, junto con las métricas de salida del optimizador CP-SAT⁸:

N_{final} , $coverage$, $\sum_{under}$ y $\sum_{over}$.

A partir de N_{final} , se calcularon las variables de análisis según las ecuaciones definidas en la metodología:

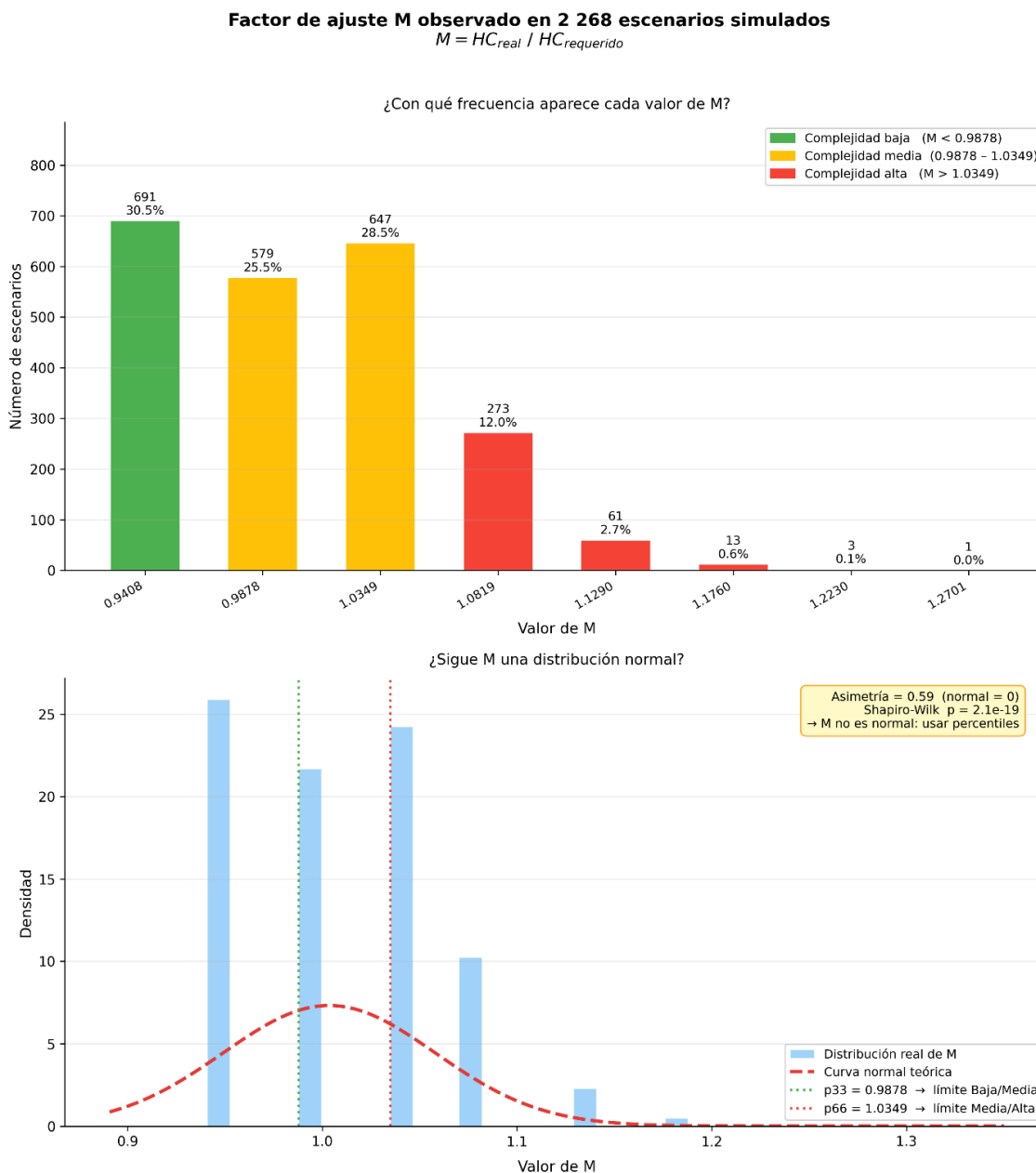
⁸ CP-SAT Constraint Programming — Satisfiability, solver de optimización combinatoria de Google OR-Tools empleado para resolver el ILP.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

$$HC_{real} = \frac{N_{Final}}{1 - SHK}, M_{obs} = \frac{HC_{real}}{HC_{req}}$$

Figura 3

Distribución de $M_{obs} = HC_{real} / HC_{req}$ ($n = 2268$ escenarios)



Nota: Distribución del factor M en los 2268 escenarios simulados. La asimetría positiva y el

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

rechazo de normalidad (Shapiro-Wilk $p < 0.05$) justifican el uso de percentiles como criterio de clasificación y recomendación.

El resultado es un conjunto de datos con 2268 observaciones de M_{obs} , distribuidas sobre 378 escenarios con un solo pico ($K=1$) y 1890 escenarios con dos picos ($K=2$). El conjunto de datos completo con los 2268 escenarios y sus métricas de salida se documenta en el Anexo H. La Figura 3 presenta la distribución completa de M_{obs} sobre los 2268 escenarios.

Un primer hallazgo del procesamiento es que M_{obs} no es una variable continua, sino que toma exactamente ocho valores discretos. Esta propiedad emerge de la estructura del simulador: HC_{req} es constante en 26.57 para todos los escenarios, dado que V , AHT y OCC se mantienen fijos en el diseño experimental; N_{final} , por su parte, solo puede tomar valores enteros. En consecuencia, el cociente M_{obs} produce un conjunto finito de fracciones, cuyos valores y frecuencias se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6

Distribución de frecuencias de M_{obs}

M_{obs}	Frecuencia	% del total	Nivel de Complejidad
0.9408	691	30.47%	Baja
0.9878	579	25.53%	Media
1.0349	647	28.53%	Media
1.0819	273	12.04%	Alta
1.129	61	2.69%	Alta
1.176	13	0.57%	Alta
1.223	3	0.13%	Alta
1.2701	1	0.04%	Alta

Nota: El 84.5% de los escenarios presenta M_{obs} inferior a 1.0349, lo que indica que en la mayoría de los casos el scheduling resuelve con un HC muy próximo al estimado por workload. El 15.5% restante supera ese umbral, con un máximo de 1.2701 en escenarios de alta complejidad morfológica y restricciones rígidas.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Las estadísticas descriptivas de M_{obs} son: media de 1.0036, mediana de 0.9878, desviación estándar de 0.0545, asimetría de 0.59 y curtosis de 0.01. El valor medio cercano a 1.0 indica que en la mayoría de los escenarios el scheduling resuelve con un HC muy próximo al teórico; la asimetría positiva señala que los casos de overstaffing significativo, aunque menos frecuentes, alcanzan valores relevantes.

Sobre el conjunto de datos se entrenó un DTR con las once variables de entrada del diseño experimental como predictores y M_{obs} como variable objetivo. Para seleccionar la profundidad óptima del árbol, se evaluaron profundidades de 1 a 11 sobre una partición 80/20 del conjunto de datos (1814 escenarios de entrenamiento y 454 de validación, semilla 42). La Figura 4 presenta las métricas de ajuste por profundidad.

Durante el diseño del modelo se exploró la posibilidad de incorporar Σ_{over} como variable predictora del árbol, con el objetivo de mitigar el overstaffing: si un escenario tendía a generar exceso de cobertura, un M conservador evitaría amplificar ese efecto. Esta aproximación resultó metodológicamente incorrecta, dado que Σ_{over} es una salida del mismo proceso que se busca anticipar y se produce simultáneamente con N_{final} , incorporarla como predictor implicaría entrenar el modelo con información que no está disponible en el momento de la consulta, comprometiendo la validez del procedimiento. Por esta razón, el rol de Σ_{over} se limitó a informar el criterio de selección del M recomendado dentro de cada hoja.

Se seleccionó profundidad 6 por maximizar el R^2 de validación (0.73), activar 10 de las 11 variables disponibles y producir 60 hojas, un número suficientemente granular para capturar los patrones del espacio experimental y suficientemente compacto para ser interpretable. A partir de profundidad 7, el R^2 de validación comienza a decrecer mientras el de entrenamiento continúa creciendo, evidencia de sobreajuste (overfitting). La única variable que no aporta en ninguna profundidad es el gradiente entre días hábiles, dado que toma un único valor constante en todos los escenarios y el árbol no puede usarla como criterio de división.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Con profundidad 6, el árbol produce 60 hojas. Para cada hoja se calculó la distribución empírica de M_{obs} y el valor de M recomendado se definió como la mediana del grupo, estimador robusto para variables no normales que no requiere parámetros adicionales.

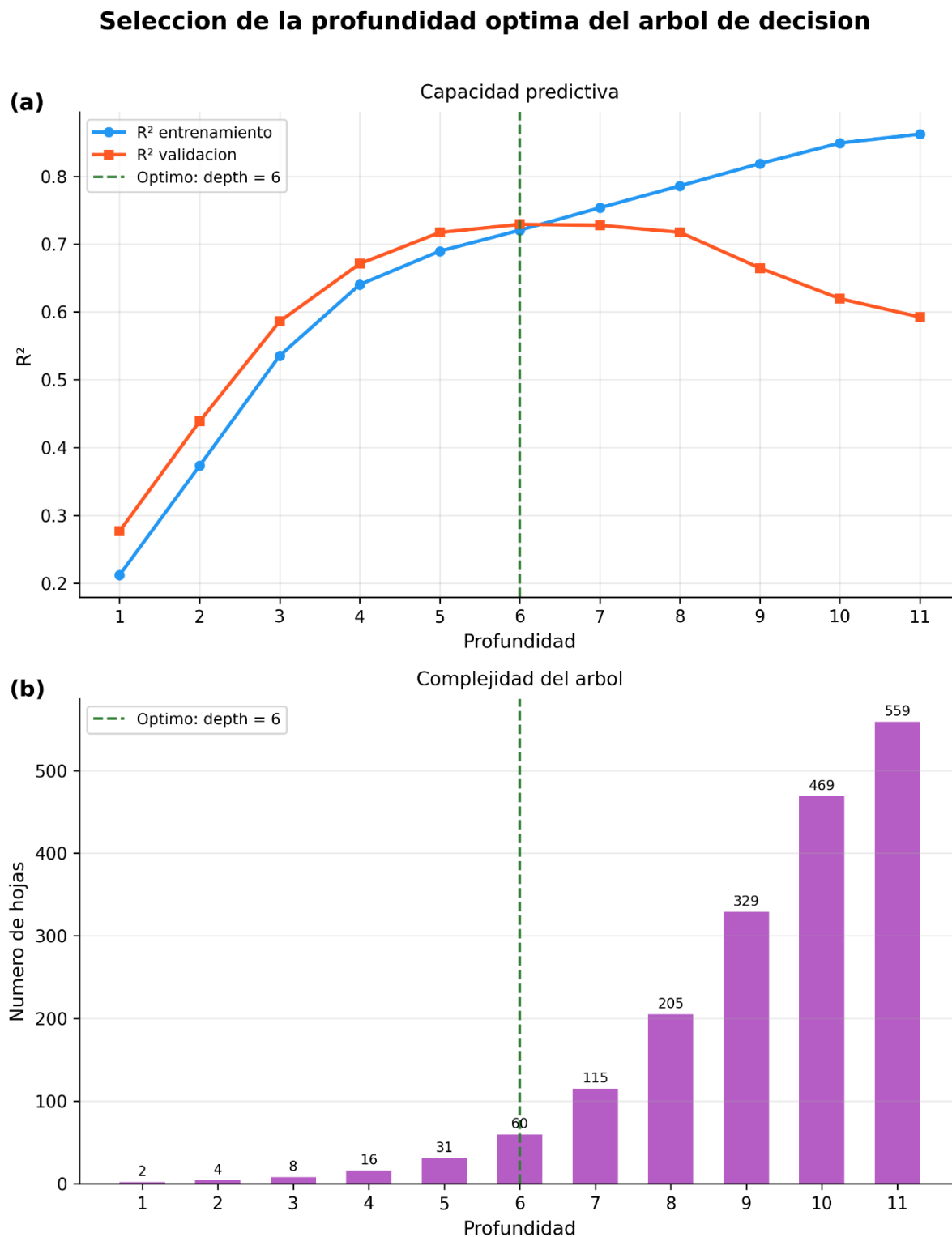
Se elige la mediana sobre la media porque la distribución de M_{obs} no es normal (Shapiro-Wilk $p < 0.05$): la mediana es un estimador robusto frente a la asimetría positiva de la distribución (0.59) y a los valores extremos de overstaffing, no requiere supuestos distribucionales ni parámetros adicionales, y es directamente reproducible. La opción de incorporar $\sum_{over}$ en la selección del M se evaluó y descartó por tratarse de una salida del mismo proceso que se busca anticipar (no disponible al momento de la consulta), lo que comprometería la validez del procedimiento.

Finalmente, cada hoja se clasificó en un nivel de complejidad según los percentiles globales de M_{obs} : complejidad baja para $M_{obs} < 0.9878$ (p_{33}), complejidad media para $0.9878 \geq M_{obs} \geq 1.0349$ (p_{66}), y complejidad alta para $M_{obs} > 1.0349$. El resultado es una tabla de consulta con 60 filas, donde cada fila especifica las condiciones que definen la hoja, el M recomendado y el nivel de complejidad asociado. De las 60 hojas, 15 corresponden a complejidad baja, 35 a complejidad media y 10 a complejidad alta. La tabla de consulta completa con las 60 hojas, el M recomendado por grupo y el nivel de complejidad asociado se presenta en el Anexo G.

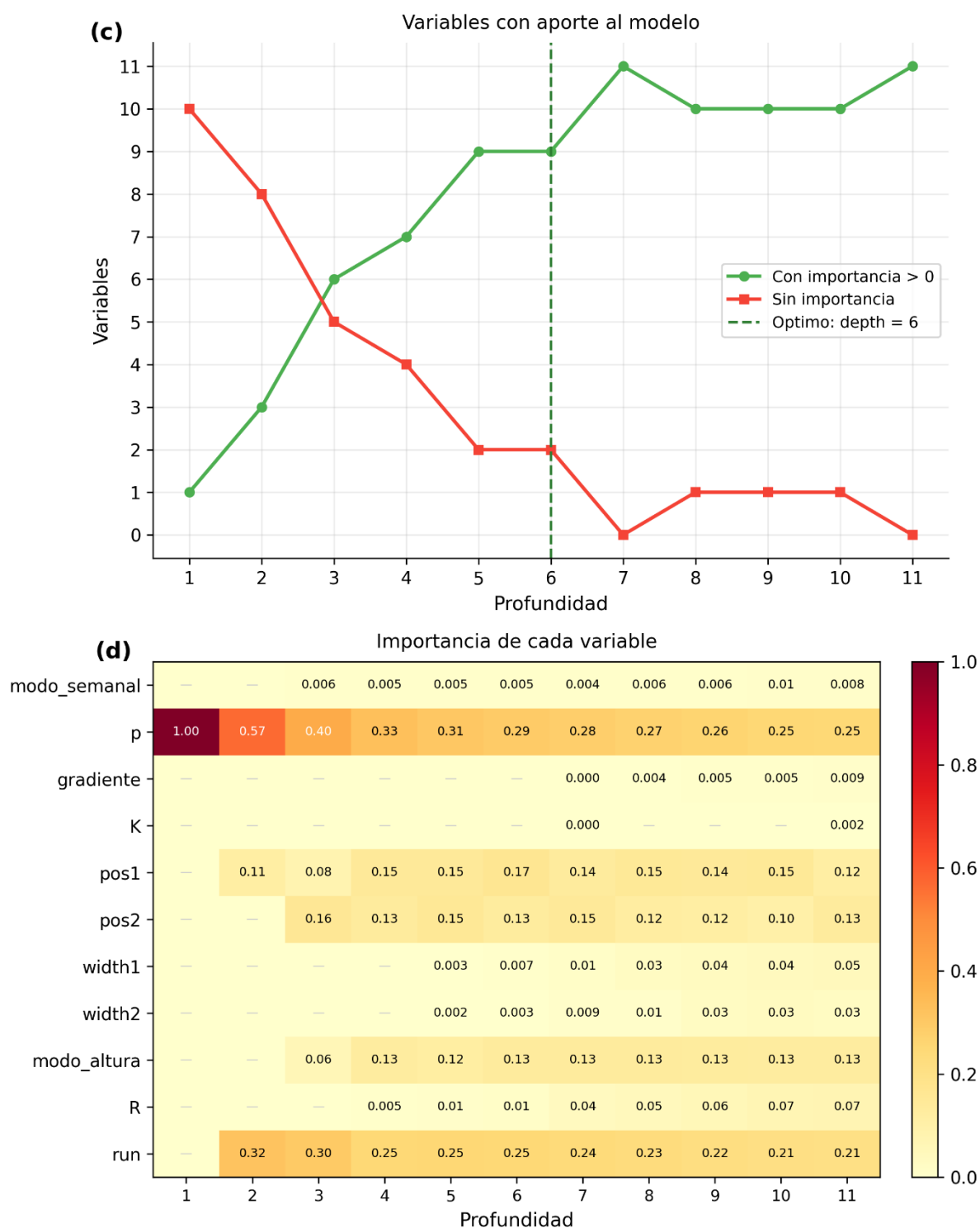
EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Figura 4

Selección de profundidad del árbol de decisión.



EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO



Nota: Criterios de selección de la profundidad óptima del árbol de decisión. (a) El R^2 de validación alcanza su máximo en profundidad 6 (0.73) y decrece a partir de ahí, indicando

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

sobreajuste. (b) El número de hojas crece exponencialmente con la profundidad, a partir de 6 la complejidad supera los 100 grupos. (c) Con profundidad 6, 10 de las 11 variables aportan al modelo; la única que nunca aporta es gradiente, por tener un único valor en todos los escenarios. (d) Las variables p y run dominan la importancia desde los primeros niveles; $pos1$, $pos2$ y $modo_altura$ se activan progresivamente en profundidades mayores.

Análisis de Resultados

El primer resultado relevante es la importancia de las variables en la determinación de M_{obs} , presentada en el panel (d) de la Figura 4. La Tabla 7 resume la importancia relativa de cada variable en el árbol de profundidad 6.

Tabla 7

Importancia de variables en el árbol de regresión (profundidad = 6)

Variable	Qué representa en la operación	Importancia
p	Qué tan concentradas están las llamadas en días laborales vs. fin de semana	31.29%
run	Estrategia de turnos: fijos de 7h (run1) o flexibles de 6–10h (run2)	24.07%
pos_1	A qué hora del día ocurre el pico principal de llamadas	17.85%
$modo_altura$	Cuál de los dos picos concentra más volumen (solo cuando $K=2$)	12.33%
pos_2	A qué hora ocurre el segundo pico de llamadas (solo cuando $K=2$)	11.97%
R	Qué tan marcada es la diferencia entre la hora más cargada y la más tranquila	1.48%
$width_1$	Qué tan prolongado en el tiempo es el pico principal	0.57%
$modo_semanal$	Si la carga se reparte igual todos los días o varía entre laborales y fin de semana	0.25%
$width_2$	Qué tan prolongado es el segundo pico (solo cuando $K=2$)	0.17%
K	Número de picos en el día	0.03%
$gradiente$	Ritmo de variación entre días laborales — constante en todas las simulaciones	0.00%

Las primeras cinco variables concentran el 97.3% del poder explicativo del modelo. Este patrón revela que la brecha entre el requerido por workload y el HC real está determinada principalmente por dos dimensiones: la distribución temporal de la demanda, representada por la concentración interdiaria, la posición del pico principal y la posición del segundo pico, y la rigidez de las políticas de turno, representada por el caso de scheduling. El contraste pico-valle y

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

los anchos de pico tienen un aporte marginal, lo que sugiere que la posición de la demanda en el tiempo importa más que su pronunciamiento. El gradiente entre días laborales no aporta información al modelo porque toma un único valor en todos los escenarios simulados.

La distribución de niveles de complejidad sobre el espacio experimental, visible en la **Figura 3** y la Un primer hallazgo del procesamiento es que M_{obs} no es una variable continua, sino que toma exactamente ocho valores discretos. Esta propiedad emerge de la estructura del simulador: HC_{req} es constante en 26.57 para todos los escenarios, dado que V , AHT y OCC se mantienen fijos en el diseño experimental; N_{final} , por su parte, solo puede tomar valores enteros. En consecuencia, el cociente M_{obs} produce un conjunto finito de fracciones, cuyos valores y frecuencias se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6, muestra que la complejidad media predomina en el espacio experimental. Los grupos de complejidad alta se asocian a dos patrones principales: alta concentración interdiaria combinada con picos ubicados en horarios extremos del día, ya sea en la mañana temprana o en la tarde avanzada, o escenarios con dos picos donde el segundo concentra mayor volumen que el primero. En ambos casos, la ubicación temporal de la demanda dificulta la construcción de turnos que cubran eficientemente los intervalos de mayor carga. Los grupos de complejidad baja corresponden predominantemente a demanda uniforme o poco concentrada con turnos flexibles (run2).

En conjunto, los resultados muestran que M_{obs} varía de forma sistemática con los parámetros de entrada y que esa variación es capturada con un R^2 de validación de 0.73, lo que indica que las características morfológicas de la demanda y las políticas de turno contienen información suficiente para aproximar la brecha antes de ejecutar el scheduling.

Propuesta de Solución a la Problemática

El proceso de staffing táctico en centros de contacto se apoya típicamente en el método workload, que opera con parámetros agregados compatibles con el horizonte táctico, pero es

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

determinístico y no incorpora la forma de la curva de demanda ni las restricciones de las políticas de turno. Los métodos que sí podrían capturar estos criterios, como Erlang-C, Erlang-A y el enfoque SIPP, exigen análisis a nivel intervalo, supuestos distribucionales y alta granularidad de datos, lo que los ubica en el nivel operativo de decisión y dificulta su uso en planeación táctica. La brecha observada en esta investigación, con valores de M_{obs} entre 0.94 y 1.27, cuantifica el efecto sistemático de esta omisión: en el mejor caso el scheduling resuelve con un 6% menos de agentes de los estimados por workload, y en el peor caso requiere un 27% más.

Los resultados demuestran que esta brecha es predecible. La concentración interdiaria de la demanda, la posición temporal de los picos y la rigidez de las políticas de turno explican conjuntamente el 97.51% de la varianza de M_{obs} , con un R^2 de validación de 0.73. Estas variables son observables antes de ejecutar el scheduling, lo que hace viable incorporar un ajuste táctico al cálculo de workload sin necesidad de simulación por intervalos ni modelos estocásticos complejos.

Metodología de Staffing Táctico Basada en Complejidad

Objetivo y alcance.

La metodología está dirigida a equipos de Workforce Management que apoyan la tarea de staffing y buscan mejorar la precisión de la estimación de personal.

Su objetivo es brindar un ajuste al requerimiento calculado mediante el método Workload que permita anticipar la brecha entre ese dimensionamiento y el headcount real necesario una vez ejecutado el proceso de programación de turnos. Para su aplicación se requiere el requerimiento de personal obtenido por Workload, conocimiento de la morfología de la curva de demanda y las políticas de turno vigentes en la operación.

Justificación.

El método Workload es la referencia de la industria para el staffing por su simplicidad y compatibilidad con horizontes de planeación de semanas o meses. Sin embargo, opera con

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

parámetros agregados que no capturan dos dimensiones que sí inciden sobre el headcount real ejecutable: la forma de la curva de demanda a lo largo del día y las restricciones que las políticas de turno imponen sobre la programación. Esa información solo se hace visible durante el scheduling, cuando el dimensionamiento ya está definido.

Los métodos que sí incorporan esa estructura, como el enfoque SIPP con modelos Erlang, requieren análisis intervalo a intervalo y supuestos distribucionales propios del nivel operativo, lo que los hace incompatibles con el horizonte y el grado de agregación en que se toman las decisiones de capacidad a mediano plazo.

La brecha entre el requerimiento calculado por Workload y el headcount mínimo factible tras el scheduling no es un error residual: es un efecto estructural y predecible a partir de la morfología de la demanda y las reglas de turno. Esta metodología actúa sobre ese punto. Mediante un factor de ajuste derivado de ambas dimensiones, permite incorporar esa complejidad antes del scheduling, fortaleciendo la estimación sin reemplazar el método Workload ni exigir la granularidad del nivel operativo.

Fase 1 – Caracterización operativa.

Entrada: conocimiento operativo de la distribución de la demanda y las políticas de turno vigentes en el centro de contacto.

El primer paso consiste en caracterizar el contexto operativo del centro de contacto mediante el formulario de la Tabla 8, compuesto por preguntas cerradas sobre la morfología de la curva de demanda y las políticas de turno vigentes. Las respuestas se codifican directamente en los niveles del espacio experimental, y la clasificación del caso de restricciones de scheduling se deriva internamente, sin requerir conocimiento de la nomenclatura del modelo.

Tabla 8

Formulario de caracterización operativa

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

#	Pregunta	Opciones válidas
1	¿Cómo se distribuye la carga de trabajo durante la semana?	• Uniforme: igual todos los días • Concentrada: más carga de lunes a viernes
2	Si es concentrada: ¿qué fracción del volumen semanal llega en días laborales?	• 85% en días laborales • 95% en días laborales
3	¿Cuántos picos de demanda tiene el día?	• Un solo pico • Dos picos
4	¿A qué hora ocurre el pico principal?	• Con un pico: 07:00 · 12:30 · 18:00 • Con dos picos: 05:00 · 06:00 · 11:00
5	¿Qué tan prolongado es el pico principal?	• Con un pico: 8 h · 10 h · 12 h • Con dos picos: 6.5 h · 7.5 h · 8.5 h · 12.5 h
6	¿A qué hora ocurre el segundo pico? <i>(solo si hay dos picos)</i>	• 14:00 · 19:00 · 20:00
7	¿Qué tan prolongado es el segundo pico? <i>(solo si hay dos picos)</i>	• 6.5 h · 7.5 h · 8 h · 8.5 h · 10 h · 12.5 h
8	¿Cuál pico concentra más volumen de llamadas? <i>(solo si hay dos picos)</i>	• Los dos iguales • El primero es más alto • El segundo es más alto
9	¿Qué tan marcada es la diferencia entre la hora más ocupada y la más tranquila?	• Poca variación (2:1) • Variación moderada (4:1) • Alta variación (6:1)
10	¿Los turnos de trabajo tienen siempre la misma duración?	• Sí, todos duran 7 horas • No, pueden durar entre 6 y 10 horas
11	¿El número de días trabajados por semana es siempre el mismo?	• Sí, siempre 6 días • No, puede ser 5 o 6 días

Nota: Las preguntas 10 y 11 determinan internamente el caso de restricciones de scheduling: respuestas "Sí" en ambas corresponden a run1 (restrictivo); cualquier combinación con "No" corresponde a run2 (flexible). Elaboración propia.

Salida: vector de caracterización operativa codificado según las opciones del formulario.

Fase 2 – Consulta del factor de ajuste.

Entrada: vector de caracterización operativa obtenido en la Fase 1.

Con el vector codificado, se consulta el factor de ajuste M mediante alguno de los dos recursos derivados del árbol de regresión.

El primer recurso es el árbol de decisión visual, que permite navegar las condiciones del escenario siguiendo ramas de arriba abajo hasta llegar a una hoja. Cada nodo del árbol plantea una condición binaria sobre una variable, por ejemplo, si la concentración interdiaria supera o

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

no el 90%, y conduce a la rama correspondiente. Al llegar a la hoja, se leen directamente el factor M recomendado y el nivel de complejidad asociado.

El segundo recurso es la tabla de consulta de 60 filas, donde cada fila corresponde a una hoja del árbol y especifica explícitamente las condiciones que la definen, el factor M recomendado y el nivel de complejidad. Se identifica la fila cuyas condiciones coinciden con su vector codificado y lee los valores directamente.

Salida: factor de ajuste M y nivel de complejidad asociado.

Fase 3 – Cálculo del headcount estimado.

Entrada: requerimiento base de personal (HC_{req}) calculado por Workload y factor M obtenido en la Fase 2.

Independientemente del recurso utilizado, el factor M obtenido se aplica sobre el HC_{req} determinístico:

$$HC_{estimado} = HC_{req} \times M$$

Salida: headcount estimado ajustado por complejidad morfológica y políticas de turno.

Fase 4 – Interpretación del nivel de complejidad.

Entrada: nivel de complejidad obtenido en la Fase 2.

El resultado de la consulta incluye, además del factor M , un nivel de complejidad que permite interpretar el riesgo asociado al dimensionamiento. La tabla siguiente consolida los tres niveles, su rango de M , el perfil operativo que los caracteriza y su implicación para el staffing.

Tabla 9

Niveles de complejidad: rangos de M , perfil operativo e implicación para el staffing.

Nivel	Rango de M (percentil)	Perfil operativo típico	Implicación para el staffing
Baja	$M < 0.9878$ ($< p_{33}$)	Demanda uniforme o poco concentrada.	El scheduling cubre la demanda con igual o menos HC que el estimado por workload. Bajo riesgo de understaffing.
Media	$0.9878 \leq M \leq 1.0349$ ($p_{33} - p_{66}$)	Concentración y morfología moderadas.	El HC factible queda muy próximo al teórico. Ajuste marginal sobre el workload.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Nivel	Rango de M (percentil)	Perfil operativo típico	Implicación para el staffing
Alta	$M > 1.0349 (> p66)$	Alta concentración interdiaria con picos en horarios extremos, o dos picos donde el segundo concentra más volumen.	La forma de la demanda fuerza más HC que el teórico. Riesgo elevado de understaffing si se usa workload sin ajuste.

Nota: Los umbrales corresponden a los percentiles $p33$ y $p66$ de la distribución global de M_{obs} sobre los 2.268 escenarios. Se usan percentiles, en lugar de la media, porque M_{obs} no sigue una distribución normal (Shapiro-Wilk $p < 0.05$; asimetría 0.59). El perfil operativo de cada nivel se deriva del análisis de importancia de variables (Tabla 5) y de la partición del árbol de decisión (Anexo G).

Cuando el vector de caracterización no encuentre una correspondencia exacta en la tabla de consulta, se recomienda aproximar al perfil más cercano disponible e interpretar el factor M resultante con cautela.

Salida: interpretación del riesgo de understaffing u overstaffing comunicable a los distintos niveles de la organización.

Ejemplo de aplicación

A modo de ilustración, un centro de contacto con demanda concentrada al 95% en días laborales, dos picos a las 07:00 y 19:00, contraste 4:1 y turnos flexibles obtiene $M = 1.0819$ y nivel de complejidad alta. Aplicando la ecuación 13 sobre un HC_{req} redondeado de 27:

$$HC_{estimado} = 27 \times 1.0819 \approx 30 \text{ agentes.}$$

El método Workload estimaría 27 agentes; sin embargo, al incorporar la complejidad morfológica y las restricciones de turno, el HC estimado asciende a 30. Esta diferencia de 3 personas cuantifica el efecto conjunto que Workload no captura. El nivel de complejidad alta indica que la operación se encuentra en el tercio superior de la distribución de brechas observadas, lo que implica un riesgo elevado de understaffing si se usa únicamente el requerido por Workload sin ajuste.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Lineamientos para integración en tablero de control.

El factor M y el nivel de complejidad pueden integrarse en tableros de inteligencia de negocios para automatizar el ajuste del dimensionamiento sobre múltiples líneas de negocio de forma simultánea. La implementación requiere incorporar tres tablas al modelo de datos existente.

Las dos primeras son tablas estáticas derivadas de este documento. La primera corresponde a la tabla de consulta del árbol de decisión (Anexo G), que contiene las 60 combinaciones posibles de caracterización, cada una con su factor M y nivel de complejidad asociados. La segunda es la tabla de niveles de complejidad (Tabla 9), que asocia cada nivel con su perfil operativo típico y su implicación para el dimensionamiento. Estas dos tablas se cargan una sola vez y se actualizan únicamente si se regenera el árbol de decisión.

La tercera tabla la construye el equipo de planeación: una tabla de caracterización de líneas de negocio, donde cada registro corresponde a una línea e incluye su nombre o identificador y el vector codificado obtenido en la Fase 1. Esta estructura permite agregar o eliminar líneas según las necesidades de la operación, y actualizar el vector de cualquier línea cuando cambien sus condiciones de demanda o políticas de turno.

Con estas tres tablas conectadas mediante sus llaves naturales, el tablero resuelve automáticamente el factor M y el nivel de complejidad para cada línea, los aplica sobre el requerimiento calculado por Workload y presenta el $HC_{estimado}$ junto con la interpretación del riesgo, sin intervención manual adicional.

Herramienta de apoyo.

La metodología cuenta con una implementación interactiva en Python `App_consulta.py`⁹. La herramienta guía al usuario a través de las preguntas del formulario de caracterización, determina el factor M correspondiente, solicita el HC_{req} calculado por Workload y entrega el

⁹ Disponible en [app_consulta.py](#)

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

headcount estimado junto con la interpretación del nivel de complejidad. Constituye una alternativa automatizada a la consulta manual del árbol de decisión o la tabla de 60 filas, sin alterar la lógica ni los resultados de la metodología.

Quienes requieran adaptar o extender la metodología a contextos operativos distintos pueden remitirse a la lectura completa del documento para comprender los fundamentos del modelo. El simulador StaffSim¹⁰, también disponible en el repositorio, permite replicar el espacio experimental, incorporar nuevas configuraciones y regenerar la tabla de consulta a partir de los nuevos escenarios. Las secciones de Conclusiones y Trabajo Futuro del documento orientan sobre las extensiones identificadas y las líneas de desarrollo recomendadas.

La metodología hace explícito el efecto de la complejidad morfológica y las políticas de turno sobre el dimensionamiento, e incorpora un nivel de complejidad comunicable a los distintos niveles de la organización, fortaleciendo la gobernanza del proceso de planeación de la fuerza laboral.

¹⁰ Disponible en <https://github.com/mgutier57131/StaffSim>

Discusión

Los resultados de esta investigación se sitúan en la brecha que la literatura de WFM reconoce, pero no resuelve en el nivel táctico del contexto de planeación jerárquica. Koole & Li (2021) describen el ciclo de planeación de la fuerza laboral como un conjunto de procesos interdependientes donde cada nivel alimenta al siguiente con distintas actividades: forecasting, staffing y scheduling. En ese marco, el método workload opera en el nivel de staffing con parámetros agregados compatibles con el horizonte táctico, lo que lo hace escalable y adoptable, pero limita su alcance a un cálculo que no anticipa la forma intradiaria de la demanda ni las restricciones que el scheduling impondrá sobre esa cifra. Los métodos que sí capturan esa estructura, como el enfoque SIPP descrito también por Koole & Li (2021), requieren análisis por intervalo y supuestos distribucionales que corresponden al nivel operativo, dificultando su uso cuando se planea con semanas de anticipación. Aksin et al. (2007) identifican esta misma tensión al distinguir entre decisiones de adquisición de recursos y despliegue operativo, señalando que la complejidad combinatoria del scheduling no siempre es visible desde el nivel de staffing. El factor M propuesto en esta investigación actúa precisamente en ese punto: sin reemplazar el workload ni requerir granularidad operativa, incorpora la información morfológica de la demanda y la rigidez de las políticas de turno como variables observables antes del scheduling, produciendo una estimación táctica más representativa de lo que el proceso de programación efectivamente demande.

Desde la perspectiva del ciclo de WFM, la metodología propuesta no introduce un nuevo proceso, sino que fortalece uno existente. El método workload seguirá siendo el punto de partida del staffing táctico, dada su simplicidad y compatibilidad con el horizonte de planeación, y el scheduling continuará como el proceso que determina la programación operativa definitiva. Lo que M aporta es una señal anticipatoria entre ambos: permite que la estimación táctica incorpore información sobre la complejidad morfológica de la demanda y la rigidez de las

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

políticas de turno antes de que el scheduling la revele. En términos del ciclo descrito por Koole & Li (2021), esto equivale a reducir la incertidumbre en el paso de capacidad a programación, fortaleciendo la trazabilidad de las decisiones de dimensionamiento y la capacidad de comunicar el riesgo de under u overstaffing a distintos niveles de la organización.

La interpretación de los resultados requiere considerar un conjunto de limitaciones que acotan el alcance de las conclusiones sin invalidar la metodología propuesta. En cuanto al diseño del modelo, la naturaleza NP-completa del ILP (Floudas & Lin, 2005; Karger et al., 1999) determinó que las restricciones de scheduling se evaluarán en dos configuraciones discretas que representan los extremos del espectro de rigidez, a diferencia de la curva de demanda, cuyos parámetros fueron variados mediante un barrido factorial sistemático. De igual forma, la función de cobertura y su umbral $\gamma = 0.90$ se mantuvieron constantes en todos los escenarios; ambos son decisiones del modelo que podrían variar según el criterio operativo de cada organización, produciendo factores M distintos a los reportados. La metodología se circunscribe además a operaciones de canal único con agentes de habilidad homogénea; en entornos multicanal o con habilidades diferenciadas, la brecha entre el modelo y la realidad operativa puede ser mayor.

En cuanto a la validación, el árbol de regresión alcanzó un R^2 de validación de 0.73, lo que indica que el 27% de la varianza de M_{obs} no es explicado por el modelo, resultado esperable en un espacio experimental discretizado (Breiman et al., 2017). La validez externa enfrenta además la limitación inherente a toda metodología basada en simulación: confirmar que M_{obs} reproduce fielmente la brecha en operaciones reales exigiría ejecutar la planeación operativa sobre datos de campo, que es precisamente el proceso que esta metodología busca anticipar (Sargent, 2013). Finalmente, la representatividad del factor M puede verse afectada en operaciones con volúmenes extremos, donde el efecto del redondeo entero de N_{final} amplifica o reduce la granularidad del cociente, y el formulario de caracterización tiene respaldo empírico

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

únicamente para configuraciones dentro de los niveles simulados; ante configuraciones no contempladas, la aproximación al escenario más cercano disponible introduce incertidumbre adicional.

En conjunto, los hallazgos respaldan que la brecha entre el dimensionamiento táctico y la programación operativa no es un error residual sino un efecto estructural predecible a partir de la forma de la demanda y las reglas de turno. Reconocerlo y cuantificarlo abre la posibilidad de fortalecer el staffing táctico sin reemplazar las prácticas establecidas de la industria, integrando la complejidad morfológica como una dimensión más del proceso de planeación de la fuerza laboral.

Conclusiones

La investigación logró modelar matemáticamente los atributos morfológicos cuantificables las curvas de demanda en CC mediante curvas gaussianas discreteadas: el número de picos, su posición temporal, su anchura y el contraste entre el nivel pico y el nivel valle. Así se construyó un espacio experimental con patrones de demanda coherentes con la realidad de la industria y constituyen una base formal para la caracterización de la curva en el contexto de la planeación táctica.

Las políticas de turno fueron modeladas como un sistema de restricciones bajo programación lineal entera. Los dos casos, turno fijo de siete horas con un día de descanso y turno variable de seis a diez horas con uno o dos días de descanso, capturan el espectro entre rigidez y flexibilidad que las caracteriza. Este modelado permitió cuantificar el efecto de las restricciones de scheduling sobre el HC mínimo factible de forma sistemática y replicable.

A partir de estos modelamientos, se definieron tres niveles de complejidad, baja, media y alta, diferenciados por el grado de exigencia que imponen al proceso de scheduling. Para cada uno se estableció como factor de ajuste M la mediana de M_{obs} dentro del grupo, criterio robusto que no depende de supuestos de normalidad y es reproducible sin parámetros adicionales.

La metodología está compuesta por un formulario de caracterización operativa y una tabla de consulta de 60 filas derivada del árbol de regresión, constituye un procedimiento replicable en distintos CC. El contexto operativo se caracteriza mediante preguntas cerradas, se ubica el perfil en la tabla de consulta y se obtiene directamente el factor M con el que se ajusta el HC_{req} determinístico. Este procedimiento no requiere conocimientos de optimización ni ejecución del simulador, lo que facilita su adopción en entornos de planeación táctica y su integración en tableros de inteligencia de negocios o plataformas de WFM como un instrumento auditable y de fácil actualización.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

El simulador StaffSim, desarrollado íntegramente como parte de esta investigación y disponible en repositorio público, constituye un instrumento replicable que permite reproducir el espacio experimental, generar nuevos escenarios y actualizar la tabla de consulta ante cambios en los parámetros operativos.

La viabilidad del árbol de regresión como mecanismo de síntesis del espacio experimental quedó demostrada con un R^2 de validación de 0.73 sobre datos no vistos durante el entrenamiento. Este resultado confirma que es posible construir una tabla de consulta interpretable y aplicable a partir de datos sintéticos generados por simulación, sin necesidad de modelos estadísticos complejos ni supuestos distribucionales.

Un hallazgo adicional de la investigación es que las variables de distribución temporal de la demanda y las restricciones de turno concentran el mayor poder explicativo sobre M_{obs} : las cinco variables con mayor importancia, que acumulan el 97.51% de la varianza explicada, corresponden a la concentración interdiaria, el caso de scheduling, la posición del pico principal, el modo de altura entre picos y la posición del segundo pico. El contraste pico-valle, con un aporte de apenas 1.48%, tuvo un efecto marginal sobre la brecha medida, lo que sugiere que su impacto se manifiesta principalmente sobre el overstaffing generado por el plan de turnos y no sobre el HC mínimo factible.

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis del estudio: un factor de ajuste multiplicativo M , derivado de la forma de la curva de demanda y las políticas de turno, permite anticipar la brecha entre el HC estimado por workload y el HC mínimo factible después del scheduling con un poder predictivo de 0.73. Esta brecha, que oscila entre 6% menos y 27% más de agentes frente al cálculo determinístico, surge porque el método Workload opera con parámetros agregados que no anticipan la forma intradiaria de la demanda ni las restricciones de turno. Al incorporarla mediante el factor M , el dimensionamiento se aproxima al HC

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

realmente ejecutable, representando un avance concreto en la precisión del staffing táctico en CC.

En cuanto a la complejidad analítica, la metodología la reduce sin abandonar el horizonte táctico en el que se sitúa el staffing. Capturar el efecto de la morfología de la demanda y las restricciones de turno normalmente exige métodos del nivel operativo, como el scheduling por intervalos o los modelos estocásticos, que demandan datos granulares y alto costo computacional, y que son incompatibles con el nivel de agregación y el horizonte de la decisión táctica. La metodología traslada ese esfuerzo a un paso previo realizado una sola vez, de modo que el planeador incorpora la complejidad consultando una tabla derivada del árbol de decisión, manteniendo la decisión dentro del nivel táctico al que pertenece.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Trabajo Futuro

La metodología desarrollada abre múltiples líneas de extensión futuras. En el aspecto experimental, ampliar el espacio de restricciones de scheduling evaluadas, incorporar nuevas variables de demanda y realizar un barrido paramétrico sistemático de cada restricción de turno de forma independiente, el modo en que se varió la curva de demanda, son extensiones naturales que fortalecerían la robustez de la metodología. De igual manera, explorar el valor de γ y la función de cobertura como variables del modelo, en lugar de parámetros fijos, permitiría generalizar los resultados a operaciones con distintos criterios de nivel de servicio.

En el aspecto técnico, el simulador construido constituye una plataforma base que puede extenderse para incorporar otras funciones de forma en la caracterización de la curva de demanda, lo que permitiría representar patrones de industrias o empresas específicas y generar tablas de consulta ajustadas a esos contextos. Esta capacidad de generar datos sintéticos controlados para entrenar modelos de decisión representa un enfoque alternativo al análisis directo de datos operacionales para el staffing, con potencial de responder de manera más ágil a las necesidades dinámicas de la industria.

En cuanto a de validación externa, disponer de datos históricos de CC permitiría contrastar el $HC_{estimado}$ con el HC efectivamente ejecutado en distintos contextos operativos, cuantificando la validez externa de la metodología más allá del espacio simulado y sentando las bases para su adopción en entornos de planeación táctica con mayor confianza.

En cuanto a la aplicabilidad organizacional, la tabla de consulta, los niveles de complejidad y el formulario de caracterización son instrumentos diseñados para ser comprensibles y operables por equipos de planeación sin formación técnica avanzada, lo que facilita su integración en los procesos de gestión de la fuerza laboral. Su incorporación en tableros de inteligencia de negocios permitiría que el factor M y el nivel de complejidad operen como indicadores de gestión dentro del ciclo de planeación táctica, fortaleciendo la trazabilidad

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

de las decisiones de dimensionamiento y la comunicación del riesgo de understaffing a distintos niveles organizacionales.

A medida que se disponga de nueva evidencia operativa, el modelo puede actualizarse reentrenando el árbol de regresión sobre un conjunto de datos ampliado, lo que le confiere una capacidad de mejora continua coherente con la evolución del sector.

Finalmente esta investigación establece una base técnica y conceptual sobre la cual construir capacidades analíticas más avanzadas en la gestión de la fuerza laboral de los CC, contribuyendo a cerrar la brecha entre la estimación táctica y la ejecución operativa que motivó este trabajo.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Referencias

- Aksin, O., Armony, M., & Mehrotra, V. (2007). The Modern Call Center: A Multi-Disciplinary Perspective on Operations Management Research. *Production and Operations Management*, 16, 665–688. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2007.tb00288.x>
- AmericaMalls & Retail. (2025). Colombia, potencia confiable del BPO global. *AmericaMalls & Retail*. <https://americaretail-malls.com/paises/colombia/colombia-potencia-confiable-del-bpo-global/>
- Anderson, D. R. (2019). *Fundamentos de Métodos Cuantitativos Para Los Negocios*. Cengage Learning. <https://books.google.com.co/books?id=zVI4zAEACAAJ>
- Anderson, D. R., Sweeney, D., Williams, T. S., Rosales, L. P., & Malagamba, M. E. O. (2011). *Estadística para negocios y economía (11a. ed.)*. CENGAGE Learning. <https://books.google.com.co/books?id=cVtKAQAACAAJ>
- Beaudoin, D., Frayret, J.-M., & LeBel, L. (2008). Hierarchical forest management with anticipation: an application to tactical–operational planning integration. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(8), 2198–2211. <https://doi.org/10.1139/X08-055>
- Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (2017). *Classification and regression trees*. Chapman and Hall/CRC.
- Bromley, L. (2017). *Welcome to erlang.co.uk*. Erlang for Excel. <http://www.erlang.co.uk/default.htm>
- Brown, L., Gans, N., Mandelbaum, A., Sakov, A., Shen, H., Zeltyn, S., & Zhao, L. (2005). Statistical analysis of a telephone call center: A queueing-science perspective. *Journal of the American Statistical Association*, 100(469), 36–50.
- Call Center Studio. (2023, April 25). *Call Center Studio*. Contact Center Staffing: How Many Agents Do You Need in a Contact Center? <https://callcenterstudio.com/blog/call-center-staffing-how-many-agents-do-you-need-in-a-contact-center/>

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Chaudhary, S., Nasir, N., Ur Rahman, S., & Masood Sheikh, S. (2023). Impact of Work Load and Stress in Call Center Employees: Evidence from Call Center Employees. *Pakistan Journal of Humanities and Social Sciences*, 11(1), 160–171.

<https://doi.org/10.52131/pjhss.2023.1101.0338>

Chintala, S. (2024). Boost Call Center Operations: Google's Speech-to-Text AI Integration. *International Journal of Computer Trends and Technology*, 72, 83–86.

<https://doi.org/10.14445/22312803/IJCTT-V72I7P110>

Cleveland, B., & Mayben, J. (2004). *Call Center Management On Fast Forward* (15th ed.). Call Center Press.

Código Sustantivo del Trabajo. (2011). *Código Sustantivo del Trabajo: Artículo 161* (Ley 2663 de 1950).

Deri Apriadi. (2022). WORKLOAD ANALYSIS USING THE FULL TIME EQUIVALENT (FTE) METHOD TO OPTIMIZE THE WORKFORCE OF THE LEGAL SETTLEMENT UNIT AND ITS SUPPORTING UNIT PT TELKOM INDONESIA (PERSERO) TBK. *Jurnal Ekonomi*, 11(01), 140–149. <https://ejournal.seaninstitute.or.id/index.php/Ekonomi/article/view/211>

Ding, S., & Koole, G. (2022). Optimal call center forecasting and staffing. *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, 36(2), 254–263. <https://doi.org/DOI:10.1017/S0269964820000595>

Doellgast, V., & O'Brady, S. (2020). *Making call center jobs better: The relationship between management practices and worker stress*. <https://ecommons.cornell.edu/server/api/core/bitstreams/e4ae98ca-9034-4f68-8be9-86885905f403/content>

First Research Industry Profiles. (2025). Telephone Call Centers - Quarterly Update 11/17/2025. In *First Research Industry Profiles*. Mergent. <https://login.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/login?url=https://www.proquest.com/re>

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

ports/telephone-call-centers-quarterly-update-11-17/docview/3272677245/se-
2?accountid=34925

Floudas, C. A., & Lin, X. (2005). Mixed Integer Linear Programming in Process Scheduling: Modeling, Algorithms, and Applications. *Annals of Operations Research*, 139(1), 131.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10479-005-3446-x>

Gans, N., Koole, G., & Mandelbaum, A. (2003). Telephone Call Centers: Tutorial, Review, and Research Prospects. *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(2), 79–141.

<https://doi.org/10.1287/msom.5.2.79.16071>

Germain, T., Gruffaz, S., Truong, C., Oudre, L., & Durmus, A. (2024). Shape analysis for time series. In A. Globerson, L. Mackey, D. Belgrave, A. Fan, U. Paquet, J. Tomczak, & C. Zhang (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems* (Vol. 37, pp. 95607–95638).

Curran Associates, Inc. <https://doi.org/10.52202/079017-3029>

Green, L., & Soares, J. (2009). An Improved Heuristic for Staffing Telephone Call Centers with Limited Operating Hours. *Production and Operations Management - PROD OPER*

MANAG, 12, 46–61. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2003.tb00197.x>

Hoyos, C., & Poler, R. (2013). Propuesta metodológica para la previsión de la demanda con modelos causales. *Dirección y Organización*, 44–54.

Iyer, A. S., & Jain, V. (2023). *Fundamentals of Strategic Management*. Books Arcade.

Karger, D. R., Stein, C., & Wein, J. (1999). Scheduling algorithms. *Algorithms and Theory of Computation Handbook*, 1, 20.

Kashyap, B., Horne, M., Pathirana, P. N., Power, L., & Szmulewicz, D. (2020). Automated Topographic Prominence based quantitative assessment of speech timing in Cerebellar Ataxia. *Biomedical Signal Processing and Control*, 57(2), 101759.

<https://doi.org/10.1016/j.bspc.2019.101759>

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Kettele, M., & Lechner, G. (2025). Assessing resilience measures in the Austrian dairy supply chain: a case-based simulation integrating strategic, tactical, and operational decisions.

International Journal of Production Research, 63(11), 3982–4015.

<https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2432472>

Kiygi-Calli, M., Weverbergh, M., & Franses, P. H. (2021). Forecasting time-varying arrivals:

Impact of direct response advertising on call center performance. *Journal of Business*

Research, 131(6), 227–240. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.03.014>

Koole, G. M., & Li, S. (2021). A Practice-Oriented Overview of Call Center Workforce Planning.

Stochastic Systems, 13(4), 479–495. <https://doi.org/10.1287/stsy.2021.0008>

Lapide, L. (2022). The Relationship Between Operational Planning & Strategic Planning—

What's Changed? *Journal of Business Forecasting*, 41(4), 23–29.

<https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=cd800d2e-1deb-3b67-a021-a7cac990abc4>

Lugo, B. S. (2014). *Estadística descriptiva, introducción al análisis de datos* (1a. ed). Ediciones

de la U. <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=5759>

Mabotja, S. P., & Mkhomazi, S. S. (2024). Critical components enhancing the functionality and

performance of contact centre operations. *International Journal of Research in Business*

and Social Science, 13(8), 234–247.

<https://doi.org/https://doi.org/10.20525/ijrbs.v13i8.3764>

Malali, N. (2024). Digital Transformation in the Age of AI: Contact Center and Back Office

Transformation. *Computers in Human Behavior*.

[https://www.researchgate.net/profile/Nihar-](https://www.researchgate.net/profile/Nihar-Malali/publication/390746818_Digital_Transformation_and_IVR-_v5_19-9-24-final_Paperback/links/67fc36bf60241d51400bc330/Digital-Transformation-and-IVR-v5-19-9-24-final-Paperback.pdf)

[Malali/publication/390746818_Digital_Transformation_and_IVR-_v5_19-9-24-](https://www.researchgate.net/profile/Nihar-Malali/publication/390746818_Digital_Transformation_and_IVR-_v5_19-9-24-final_Paperback/links/67fc36bf60241d51400bc330/Digital-Transformation-and-IVR-v5-19-9-24-final-Paperback.pdf)

[final_Paperback/links/67fc36bf60241d51400bc330/Digital-Transformation-and-IVR-v5-19-9-24-final-Paperback.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Nihar-Malali/publication/390746818_Digital_Transformation_and_IVR-_v5_19-9-24-final_Paperback/links/67fc36bf60241d51400bc330/Digital-Transformation-and-IVR-v5-19-9-24-final-Paperback.pdf)

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

- Mandelbaum, A., & Zeltyn, S. (2007). Service Engineering in Action: The Palm/Erlang-A Queue, with Applications to Call Centers. In D. Spath & K.-P. Fähnrich (Eds.), *Advances in Services Innovations* (pp. 17–45). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-540-29860-1_2
- Nag, K., & Helal, M. (2017). Evaluating erlang C and erlang A models for staff optimization: A case study in an airline call center. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2017-December*, 1–5.
<https://doi.org/10.1109/IEEM.2017.8289839>
- Patgiri, R. (2023, July 14). *10 Best Workforce Management(WFM) Software for Call Centers*Convin. Convin.Ai. <https://convin.ai/blog/call-center-workforce-management-software>
- Pearce, J. (2025, April 11). *The History of the Call Centre – Updated*. Call Centre Helper.
<https://www.callcentrehelper.com/the-history-of-the-call-centre-15085.htm>
- Plaza, M., & Pawlik, L. (2021). Influence of the Contact Center Systems Development on Key Performance Indicators. *IEEE ACCESS*, 9, 44580–44591.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3066801>
- Reynolds, P. (2016). *SCHEDULING PRINCIPLES AND PROBLEMS*. Society of Workforce Planning Professionals. <https://swpp.org/certification/articles/scheduling-principles-and-problems/>
- Rossetti, M. D. (2015). *Simulation Modeling and Arena*. Wiley.
<https://books.google.com.co/books?id=Xo6vCQAAQBAJ>
- Sahut, J. M., & Laroche, M. (2025). Using artificial intelligence (AI) to enhance customer experience and to develop strategic marketing: An integrative synthesis. *Computers in Human Behavior*, 170(3), 108684. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2025.108684>

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Santanna Barbosa, L. H., Simões Gomes, C. F., & Chaves, M. C. C. (2017). SCHEDULING OF AGENTS IN INBOUND MULTILINGUAL CALL CENTERS. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 14(2), 228–238.

<https://doi.org/10.14488/BJOPM.2017.v14.n2.a11>

Sargent, R. G. (2013). Verification and validation of simulation models. *Journal of Simulation*, 7(1), 12–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1057/jos.2012.20>

Schmidt, G., & Wilhelm, W. (2000). Strategic, Tactical and Operational Decisions in Multi-national Logistics Networks: A Review and Discussion of Modeling Issues. *International Journal of Production Research - INT J PROD RES*, 38, 1501–1523.

<https://doi.org/10.1080/002075400188690>

Sectorial. (2025). Colombia - Informe Sector Contact Center y BPO - Junio 2025. https://www-emis-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/v2/documents/report/895175879?display_lang=es

Shova, R. A. (2022). Difficulties and Challenges Faced by Call Center Agents while Using English: A Case Study on Two Global Call Centers. *International Journal of Trends in English Language and Literature*, (2). [https://www.ijtell.com/papers/v3i2/6.IJTELL-Rifa\(28-40\).pdf](https://www.ijtell.com/papers/v3i2/6.IJTELL-Rifa(28-40).pdf)

Silverman, B. W. (1982). Algorithm AS 176: Kernel density estimation using the fast Fourier transform. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 31(1), 93–99.

Squaretalk. (2024, March). *Squaretalk*. Your Ultimate Guide to Call Center Shrinkage: Understanding, Measuring, and Minimizing Its Negative Impact. <https://squaretalk.com/call-center-shrinkage/>

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Suarez Vargas, F. C. (2020). *Análisis matemático de señales y sistemas*. Jorge Sarmiento Editor.

Taha, H. A. (2017). *Investigación de operaciones*. Pearson Educación.

<https://books.google.com.co/books?id=1PWezQEACAAJ>

Tailor, R. (2023, April 12). *Workforce Planning vs. Workforce Management: Key Differences and Best Practices*. Genesys Blog. <https://www.genesys.com/blog/post/back-to-basics-contact-center-workforce-optimization#:~:text=In%20the%20context%20of%20real,of%20minutes%2C%20hours%2C%20or%20days>

Tijms, H. C. (2003). *A First Course in Stochastic Models*. Wiley.

Türker, T., & Demiriz, A. (2018). An Integrated Approach for Shift Scheduling and Rostering Problems with Break Times for Inbound Call Centers. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2018/7870849>

Vashista, M., & Paul, S. (2012). Correlation between full width at half maximum (FWHM) of XRD peak with residual stress on ground surfaces. *Philosophical Magazine*, 92(33), 4194–4204. <https://doi.org/10.1080/14786435.2012.704429>

Whelan, C. (2025, June 24). *El costo oculto del cambio: comprender el impacto total de la conmutación de soluciones WFM*. Aspect Software – Blog de recursos sobre gestión de la fuerza laboral.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Anexo A Cobertura 24/7

La teoría indica que una línea de atención continua podría cubrirse con seis agentes distribuidos adecuadamente, distribuyendo sus jornadas de forma tal que se cubran las 24 horas de los 7 días, ver la Tabla A-1. Sin embargo, cuando en determinados intervalos solo un agente se encuentra en operación, existen riesgos de incumplimiento de los niveles de servicio ante eventualidades como pausas, almuerzo, llegadas tarde o salidas temprano (por mencionar algunas). En tales casos, aunque la capacidad calculada en el dimensionamiento resulta suficiente en términos globales, no lo es para garantizar el cumplimiento de la cobertura y/o los niveles de servicio en intervalos específicos.

Tabla A-1

Distribución de 6 turnos para cobertura 24/7

	Lun.	Mar.	Mie.	Jue.	Vie.	Sab.	Dom.
Persona 1	AM	AM	AM	AM	AM	OFF	OFF
Persona 2	AM	AM	AM	OFF	OFF	AM	AM
Persona 3	PM	PM	PM	PM	PM	OFF	OFF
Persona 4	PM	PM	PM	OFF	OFF	PM	PM
Persona 5	ON	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF
Persona 6	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON

Nota: AM = turno mañana, PM = turno tarde, ON = turno nocturno, OFF = día de descanso.

Dos personas por jornada con diferentes días de descanso permiten cubrir los 7 días de la semana.

Esta situación ilustra cómo el dimensionamiento teórico puede resultar insuficiente al no considerar las restricciones de turno. Para abordar esta brecha, la presente investigación propone una metodología de estimación táctica de capacidad basada en factores de complejidad. Estos factores actúan como multiplicadores del requerimiento de FTE calculado mediante el método de carga laboral, con el propósito de representar con mayor realismo las condiciones operativas sin depender de modelos computacionalmente costosos ni de simulación por intervalos.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Anexo B Picos Altos de Demanda

En servicios con estacionalidad intradía la demanda se concentra en horas específicas (Ej. líneas de soporte a servicios de comida, en las horas de desayuno, almuerzo y cena). La Tabla B-1 muestra un requerimiento por hora de una línea. Para determinar la cantidad de personas necesarias para cubrir esta línea, se suman todos los requerimientos, y con base en las políticas de turno se convierte a personas, así, para la Tabla B-1, el total de requerimiento es de 74 horas y si asumimos que un turno es de 8 horas-persona por día, se necesitan nueve personas, Ver ecuación 1:

$$\frac{74 \text{ horas}}{8 \frac{\text{horas}}{\text{Persona}}} = 9.25 \text{ Personas} \quad (1)$$

Sin embargo, al ubicar estos agentes en turnos de ocho horas, como se observa en la Tabla B-2, persisten franjas con capacidad desperdiciada y franjas sin cobertura, evidenciando que, aunque el dimensionamiento inicial estimaba nueve agentes de jornada completa, la distribución real de la curva hacía necesario considerar más personas o incluir turnos de menor intensidad que reforzaran los picos de demanda.

Tabla B-1

Requerimiento en personas conectadas por hora de una línea de servicio.

Hora día	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Req. Personas	1	7	10	9	3	2	7	8	7	3	2	2	4	5	3	1

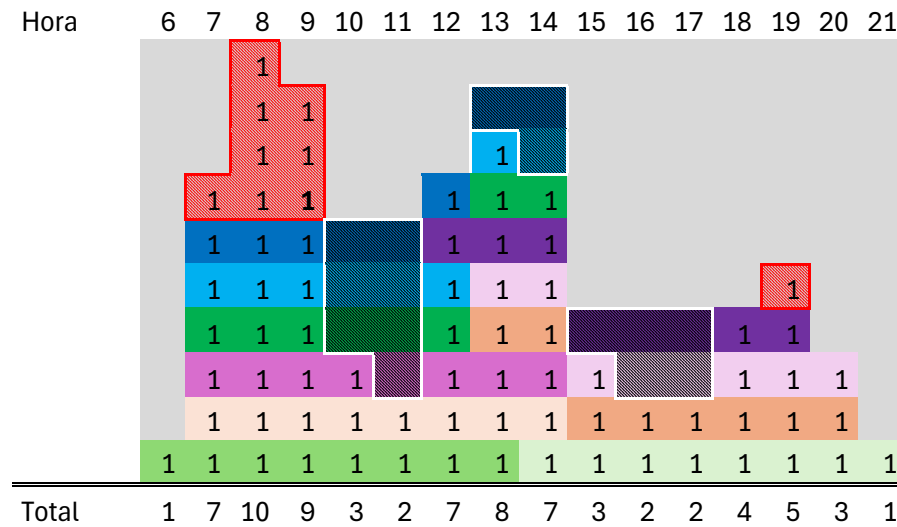
Esta situación ilustra cómo el dimensionamiento teórico puede resultar insuficiente al no considerar las restricciones de turno. Para abordar esta brecha, la presente investigación propone una metodología de estimación táctica de capacidad basada en factores de complejidad. Estos factores actúan como multiplicadores del requerimiento de FTE calculado mediante el método de carga laboral, con el propósito de representar con mayor realismo las condiciones

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

operativas sin depender de modelos computacionalmente costosos ni de simulación por intervalos.

Tabla B-2

Distribución de turnos, para cubrimiento del requerimiento.



Nota: Los bloques de colores horizontales corresponden al turno de una persona, las zonas en negro representan capacidad ociosa (agentes disponibles sin llamadas que atender), mientras que las zonas en rojo indican demanda no atendida.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Anexo C Formulación Determinística de Workload y Consistencia Agregada a

Intervalo

Bajo la discretización semanal 7×48 (intervalos de duración T horas), se demuestra que la agregación del requerido por intervalo reconstruye el workload productivo agregado cuando se conserva el volumen semanal.

Sea $i \in \{0, \dots, 6\}$ el día y $j \in \{0, \dots, 47\}$ el intervalo intradía. Sea V el volumen semanal total y v_{ij} el volumen por intervalo, cumpliendo:

$$\sum_{i=0}^6 \sum_{j=0}^{47} v_{ij} = V$$

Sea AHT el tiempo promedio de atención ($\frac{seg}{llamada}$) y $OCC \in (0,1)$ la ocupación objetivo.

El requerido por intervalo (agentes simultáneos conectados) se define como:

$$Req_{ij} = \frac{v_{ij} \cdot AHT}{3600 \cdot T \cdot OCC}$$

El workload productivo agregado se define como:

$$H_{prod} = \frac{V \cdot AHT}{3600 \cdot OCC}$$

Las horas productivas agregadas reconstruidas desde la malla por intervalos se obtienen sumando el workload productivo por intervalo:

$$\sum_{i=0}^6 \sum_{j=0}^{47} (Req_{ij} \cdot T) = \sum_i \sum_j \left(\frac{v_{ij} \cdot AHT}{3600 \cdot T \cdot OCC} \cdot T \right) = \sum_i \sum_j \left(\frac{v_{ij} \cdot AHT}{3600 \cdot OCC} \right)$$

Factorizando constantes:

$$= \frac{AHT}{3600 \cdot OCC} \sum_i \sum_j v_{ij} = \frac{AHT}{3600 \cdot OCC} \cdot V = \frac{V \cdot AHT}{3600 \cdot OCC} = H_{prod}.$$

Por tanto, $\sum_{ij} (Req_{ij} \cdot T) = H_{prod}$ bajo conservación de volumen.

Nota Dimensional

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

$v_{ij} \cdot AHT/3600$ tiene unidades de horas de gestión contenidas en ese intervalo. Al dividir por $T \cdot OCC$ se obtiene Req_{ij} en unidades de agentes simultáneos (conectados) requeridos durante el intervalo.

Aplicación del SHK

El parámetro SHK se aplica a nivel agregado para convertir workload productivo en workload pagado:

$$H_{paid} = \frac{H_{prod}}{1 - SHK}, HC_{req} = \frac{H_{paid}}{H_g}.$$

No se incluye en Req_{ij} debido a que Req_{ij} representa concurrencia conectada requerida, mientras que SHK modela pérdidas de disponibilidad sobre el tiempo pagado.

Anexo D Generación de la Demanda

Este anexo describe la construcción del patrón intradía p_j y la generación de la matriz de demanda v_{ij} para cada escenario experimental. La construcción se realiza en tres etapas: definición de la forma intradía, ajuste del contraste pico–valle y escalamiento a volumen semanal total.

Sea $j \in \{0, \dots, 47\}$ el índice intradía para intervalos de 30 minutos. Se define un patrón intradía discreto p_j tal que:

$$\sum_j p_j = 1.$$

El patrón p_j representa la distribución porcentual del volumen dentro de un día.

Como caso base (curva plana), se define la distribución uniforme:

$$u_j = \frac{1}{48}.$$

Definición de la Forma Intradía Mediante Picos Suaves

Para modelar escenarios con picos de demanda se emplean funciones gaussianas discretizadas. La elección de gaussianas responde a: continuidad y suavidad, control explícito de posición mediante pos_k , y control de dispersión mediante $width_k$.

Sea K el número de picos ($K \in \{1, 2\}$). Para cada pico k , se define:

$$g_k(j) = \exp\left(-\frac{(j - pos_k)^2}{2 \cdot \left(\frac{width_k}{2}\right)^2}\right) = \exp\left(-\frac{(j - pos_k)^2}{2 \cdot \sigma_k^2}\right),$$

donde $pos_k \in [0, 47]$ es la posición del pico en unidades de intervalos y σ_k controla la dispersión. En esta formulación se adopta:

$$\sigma_k = \frac{width_k}{2}.$$

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Caso $K = 1$

Se define una forma intradía normalizada:

$$f_j = \frac{g(j)}{\sum_{t=1}^{47} g_1(t)}.$$

Caso $K = 2$

Cuando existen dos picos, se normaliza cada componente por su propia cresta para preservar relaciones de altura aun cuando $width_1 \neq width_2$:

$$g_{1n}(j) = \frac{g_1(j)}{\max_t g_1(t)}, g_{2n}(j) = \frac{g_2(j)}{\max_t g_2(t)}.$$

Se define una combinación lineal ponderada:

$$f_{raw}(j) = \alpha_1 g_{1n}(j) + \alpha_2 g_{2n}(j),$$

donde los coeficientes α_1, α_2 dependen del modo de altura entre picos:

- Igualdad de crestas: $\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 1$
- Relación r , pico 1 mayor: $\alpha_1 = r, \alpha_2 = 1$
- Relación r , pico 2 mayor: $\alpha_1 = 1, \alpha_2 = r$

Finalmente, se normaliza para recuperar suma unitaria:

$$f_j = \frac{f_{raw}(j)}{\sum_{t=0}^{47} f_{raw}(t)}.$$

Ajuste Contraste Pico-Valle

Con la base uniforme u_j y la forma parametrizada f_j , se define el patrón intradía como una mezcla convexa:

$$p_j(\lambda) = (1 - \lambda)u_j + \lambda f_j, \quad \lambda \in [0,1]$$

El parámetro λ controla el grado de concentración temporal: $\lambda = 0$ produce curva plana y $\lambda = 1$ produce la forma completa f_j .

Para imponer un contraste pico–valle objetivo R , se ajusta λ mediante búsqueda numérica por bisección hasta aproximar:

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

$$R(\lambda) \approx \frac{\max_j p_j(\lambda)}{\min_j p_j(\lambda)}$$

Escalamiento a Volumen Semanal y Construcción de v_{ij}

Una vez obtenido p_j , se incorpora una distribución interdiaria w_i (con $\sum_i w_i = 1$) correspondiente al modo semanal seleccionado y se construye la demanda esperada:

$$v_{ij} = V \cdot w_i \cdot p_j$$

Los valores v_{ij} se convierten a enteros preservando la suma semanal exacta:

$$\sum_i \sum_j v_{ij} = V$$

A partir de v_{ij} , el requerido por intervalo Req_{ij} se calcula mediante la ecuación definida en el cuerpo metodológico (bloque de workload).

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Anexo E Programador de Turnos

Este anexo describe el programador de turnos basado en Programación Lineal Entera (ILP). El módulo recibe como entrada el requerido por intervalo Req_{ij} (generado por el módulo de demanda) y, para un número fijo de empleados N por corrida, construye una programación de turnos que induce una cobertura planeada C_{ij} sobre la misma malla semanal. La comparación entre C_{ij} y Req_{ij} permite cuantificar faltantes y excesos por intervalo y derivar métricas agregadas de desempeño del plan.

Métricas de Faltante, Cobertura y Auditoría

Para cuantificar el incumplimiento por intervalo se define la variable auxiliar de understaff $under_{ij}$, tal que:

$$under_{ij} \geq Req_{ij} - C_{i,j}, under_{ij} \geq 0$$

La cobertura global del plan se define como:

$$coverage = 1 - \frac{\sum_{ij} under_{ij}}{\sum_{ij} Req_{ij}}.$$

La meta de factibilidad operacional del experimento es:

$$coverage \geq \gamma, \quad \gamma = 0.90$$

Para auditoría se reportan métricas complementarias:

$$\Delta_{i,j} = C_{ij} - Req_{ij}$$

$$over_{ij} = \max(0, C_{ij} - Req_{ij}),$$

Estas métricas permiten identificar franjas con déficit/exceso y evitan interpretación errónea por “compensación” entre intervalos, dado que el modelo penaliza exclusivamente faltantes.

Función Objetivo

El ILP prioriza la minimización del faltante total:

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

$$\min \sum_{ij} under_{ij}$$

En el experimento, una corrida con N empleados se considera exitosa si el óptimo (o una solución factible) cumple $coverage \geq \gamma$.

Definición del Headcount Mínimo Bajo Scheduling

Se define el mínimo HC factible bajo restricciones como:

$$N_{final} = \min\{N \in \mathbb{Z}_+ : coverage(N) \geq 0.90\}$$

En la implementación, N_{final} se obtiene ejecutando el ILP para valores sucesivos de N , iniciando en un punto de partida N_0 (derivado del cálculo determinístico sin modelar shrinkage intradía) y ajustando N hasta hallar el menor N exitoso.

Para comparar contra el requerido determinístico semanal con shrinkage (variable HC_{req} definida en el capítulo de Variables), se reporta también un equivalente pagado:

$$HC_{real} = \frac{N_{Final}}{1 - SHK},$$

donde SHK se aplica como ajuste agregado sobre horas pagadas (no como disponibilidad intradía dentro del ILP).

Conjuntos, Parámetros y Variables del ILP

Conjuntos e índices:

- Empleados: $k \in \{1, \dots, N\}$
- Días: $i \in \{0, \dots, 6\}$
- Intervalos intradía: $j \in \{0, \dots, 47\}$

Parámetros:

- Req_{ij} : requerido por intervalo (input del ILP)
- $T = 0.5$: duración del intervalo en horas (ya usada en el cálculo de Req_{ij})
- $\gamma = 0.90$: meta de cobertura

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Variables de decisión:

1. Asignación de trabajo por día:

$$y_{ki} \in \{0,1\},$$

si el empleado k trabaja el día i , y 0 si descansa.

2. Hora de inicio por empleado (constante en la semana):

$$start_k \in \{0, \dots, 47\}$$

representa el intervalo de inicio intradía del empleado k y se mantiene constante para sus días trabajados.

3. Duración diaria por empleado y día (en intervalos):

$$L_{ki} \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$$

Por consistencia operativa: si $y_{k,i} = 0$ entonces $L_{k,i} = 0$.

4. Cobertura planeada y faltante:

$$C_{ij} \in \mathbb{Z}_{\geq 0}, \quad under_{ij} \in \mathbb{R}_{\geq 0}$$

Construcción de Cobertura y Restricciones Comunes (Definición Conceptual)

Para describir la cobertura por intervalo se utiliza el indicador conceptual a_{kij} , que vale 1 si el empleado k está programado y activo en el intervalo j del día i , y 0 en caso contrario. Con este indicador, la cobertura planeada se expresa como:

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^N a_{kij}.$$

En la práctica, a_{kij} no se modela como una variable independiente; es una forma de representar el conteo de empleados activos por intervalo a partir del turno asignado a cada empleado (inicio y duración) y de las restricciones del caso (run). Es decir, C_{ij} es el resultado del plan construido por el ILP y se usa para evaluar faltantes $under_{ij}$, cobertura *coverage* y la factibilidad respecto a la meta γ .

Restricciones Comunes del Modelo

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

- Restricción de intensidad semanal (común):

$$\sum_{i=0}^6 L_{k,i} = 84 \forall k$$

- Restricción de no cruce de día (común):

$$start_k + L_{k,i} \leq 48, \quad \forall k, i \text{ con } y_{ki} = 1$$

Casos de Restricciones

Ambos casos comparten: $start_k$ constante por empleado durante la semana, no cruce de día, y suma semanal exacta de 84 intervalos por empleado. La diferencia entre runs es el grado de flexibilidad permitido en días trabajados y duración diaria.

Run1 (Restrictivo)

- Días trabajados exactamente 6:

$$\sum_{i=0}^6 y_{k,i} = 6 \forall k$$

- Duración diaria fija 14 intervalos (y cero si no trabaja):

$$L_{k,i} = 14 \cdot y_{k,i} \forall k, i$$

Run2 (Flexible)

- Días trabajados en {5, 6}:

$$\sum_{i=0}^6 y_{k,i} \in \{5, 6\} \forall k$$

- Duración diaria discreta:

$$L_{k,i} \in \{0, 12, 14, 16, 18, 20\} \forall k, i$$

donde $L_{k,i} = 0$ representa día libre.

Salidas del módulo (por corrida y por escenario). Para el N exitoso mínimo (es decir, N_{final}), el módulo exporta como mínimo:

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

- Matriz requerida Req_{ij}
- Matriz de cobertura planeada C_{ij}
- Matrices de auditoría: $under_{ij}$, $over_{ij}$, Δ_{ij}
- KPIs agregados: N , $coverage$, $\sum Req$, $\sum under$, $\sum over$
- Estado del solver (óptimo, factible, infeasible, timeout) y tiempo de cómputo
- Tabla de horarios por empleado (inicio y fin por día)
- Gráfico requerido vs. planeado (serie aplanada de 336 intervalos) para inspección visual y validación manual

Anexo F Orquestación de Escenarios

Este anexo documenta el funcionamiento del orquestador de escenarios del simulador, responsable de ejecutar de forma sistemática el diseño experimental, garantizar trazabilidad de cada corrida y consolidar resultados comparables por escenario. El anexo se enfoca en dos aspectos: cómo se construye el conjunto de escenarios a partir de los niveles definidos en el diseño factorial discreto y cómo el orquestador identifica, ejecuta, registra y audita cada corrida.

Construcción del Conjunto de Escenarios

En este estudio, un escenario se define como la evaluación de una base de demanda (configuración completa de parámetros interdiarios e intradía) bajo un caso específico de restricciones de scheduling (run). La base de demanda determina la matriz de llamadas por intervalo v_{ij} y el requerido por intervalo Req_{ij} ; posteriormente, el caso run determina el conjunto de restricciones aplicado por el módulo ILP para obtener el mínimo HC factible y métricas asociadas.

Los niveles utilizados para construir el conjunto de escenarios se especifican en la Tabla F 1. En términos operacionales, la combinatoria se estructura en tres bloques:

1. Bloque interdiario (semana). Define w_i , es decir, la distribución del volumen semanal total V entre los días de la semana (patrón uniforme o weekday, con perfiles definidos dentro de lunes–viernes cuando aplica).
2. Bloque intradía (día). Define p_j , es decir, la distribución porcentual intradía del volumen dentro del día (número de picos K , posiciones pos_k , anchos $width_k$, regla de amplitud relativa y contraste pico–valle objetivo).
3. Bloque de scheduling (run). Define el caso de restricciones de turno aplicado sobre el mismo Req_{ij} , permitiendo comparar el efecto de políticas de turnos manteniendo fija la demanda.

Bajo esta estructura, el número total de escenarios se obtiene como:

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

$$\#Escenarios = \#BasesDeDemanda \times \#Runs$$

donde:

$$\#BasesDeDemanda = \#ConfigInterdiarias \times \#ConfigIntradia$$

En la implementación reportada en este documento, el diseño produce 1134 bases de demanda y cada base se evalúa bajo dos casos $\{run1, run2\}$, para un total de 2268 escenarios. Cada escenario corresponde a una observación del sistema bajo condiciones controladas y reproducibles.

Tabla F 1

Variables y niveles para el diseño de escenarios de demanda

Bloque	Variable	Niveles
Fijos	Volumen semanal V	{7500 llamadas/semana}
Fijos	AHT, OCC, SHK, H_g	{AHT=300, OCC =70%, SHK=20%, H_g = 42}
Inter-diario	Tipo de patrón semanal	{Uniforme, Weekday-heavy}
Inter-diario*	% asignado a lunes–viernes	{95%,85%}
Inter-diario*	Perfil dentro de lun–vie	{Uniforme, Creciente (2%), Decreciente (2%)}
Intradía	Número de picos K	{1, 2}
Intradía (K=1)	Posición del pico	{14, 25, 36}
Intradía	Ancho(s) $width_k$	{Bajo, Medio, Alto} $\rightarrow$ [16,20,24]
Intradía	Relación pico/valle objetivo	{Baja, Media, Alta} $\rightarrow$ [6,4,2]
Intradía (K=2)	Par de posiciones de picos (pos_1, pos_2)	{10 – 28, 12 – 38, 22 – 40}
Intradía (K=2)	Conjunto de anchos permitidos por configuración $W(pos_1, pos_2)$	$W^{(10,28)} = \{25,20,16\}$ $W^{(12,38)} = \{17,15,13\}$ $W^{(22,40)} = \{17,15,13\}$
Intradía (K=2)	Reglas de asignación de anchos entre picos ($width_1, width_2$)	{Iguales, Extremos (alto – bajo), Extremos (bajo – alto)}
Intradía (K=2)	Regla de amplitudes por pico	{Iguales, Diferentes (1 > 2), Diferentes (1 < 2)} $r = 2$
Casos	Caso de restricciones de turnos	{Caso 1 (restrictivo), Caso 2 (flexible)}

Anexo G Árbol de Decisión

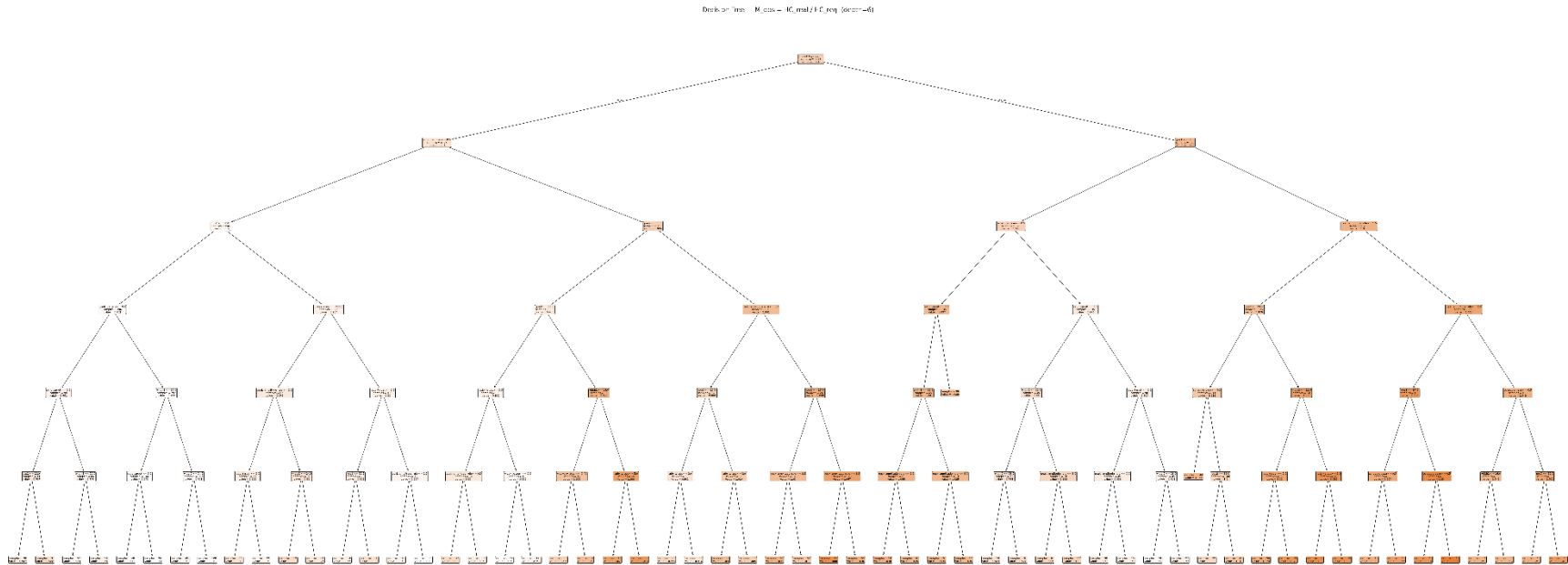
Este anexo contiene los recursos de consulta derivados del árbol de regresión. Los recursos pueden consultarse de dos formas: navegando el diagrama de la Figura G-1 del árbol de decisión, siguiendo las ramas desde la raíz hasta una hoja según las condiciones de su contexto, o consultando las tablas de forma secuencial.

En caso de usar las tablas, el proceso es el siguiente. La Tabla G-1 presenta las condiciones que definen cada grupo, identificado por un código de hoja (*leaf_id*). Se comparan las respuestas del formulario de caracterización con las condiciones de cada fila y selecciona el *leaf_id* cuyas condiciones coincidan con su contexto operativo. Con el *leaf_id* identificado, consulta la Tabla G-2, que reporta para ese grupo el factor M recomendado, el nivel de complejidad asociado y las estadísticas descriptivas de M_{obs} del grupo. El factor M recomendado se aplica directamente sobre el HC_{req} determinístico para obtener el HC estimado.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Figura G-1

Árbol de decisión completo para la estimación del factor M (profundidad = 6).



Nota: Elaboración propia. La imagen se encuentra disponible en alta resolución en el siguiente enlace: [decision_tree_mobs.pdf](#). Se recomienda su consulta en formato digital para visualizar el detalle de cada nodo mediante zoom.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Tabla G-1

Condiciones de caracterización por grupo de escenarios (leaf_id).

<i>leaf_id</i>	<i>condiciones</i>
6	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 <= 18 AND week_pattern in {W1} AND ratio_target <= 3 AND pos1 <= 13
7	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 <= 18 AND week_pattern in {W1} AND ratio_target <= 3 AND pos1 > 13
9	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 <= 18 AND week_pattern in {W1} AND ratio_target > 3 AND width1 <= 22
10	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 <= 18 AND week_pattern in {W1} AND ratio_target > 3 AND width1 > 22
13	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 <= 18 AND week_pattern in {W2} AND width1 <= 16.5 AND ratio_target <= 3
14	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 <= 18 AND week_pattern in {W2} AND width1 <= 16.5 AND ratio_target > 3
16	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 <= 18 AND week_pattern in {W2} AND width1 > 16.5 AND width2 <= 14.5
17	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 <= 18 AND week_pattern in {W2} AND width1 > 16.5 AND width2 > 14.5
21	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 > 18 AND p_weekdays <= -0.075 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2} AND ratio_target <= 3
22	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 > 18 AND p_weekdays <= -0.075 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2} AND ratio_target > 3
24	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 > 18 AND p_weekdays <= -0.075 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND width1 <= 14
25	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 > 18 AND p_weekdays <= -0.075 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND width1 > 14
28	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 > 18 AND p_weekdays > -0.075 AND ratio_target <= 3 AND pos1 <= 30.5
29	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 > 18 AND p_weekdays > -0.075 AND ratio_target <= 3 AND pos1 > 30.5
31	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 > 18 AND p_weekdays > -0.075 AND ratio_target > 3 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2,different_1_lt_2}
32	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run1} AND pos1 > 18 AND p_weekdays > -0.075 AND ratio_target > 3 AND peak_amplitude_rule in {equal}
37	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 <= 33 AND pos1 <= 30.5 AND ratio_target <= 3 AND peak_amplitude_rule in {N/A}
38	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 <= 33 AND pos1 <= 30.5 AND ratio_target <= 3 AND peak_amplitude_rule in {different_1_gt_2,different_1_lt_2,equal}
40	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 <= 33 AND pos1 <= 30.5 AND ratio_target > 3 AND week_pattern in {W1}
41	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 <= 33 AND pos1 <= 30.5 AND ratio_target > 3 AND week_pattern in {W2}
44	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 <= 33 AND pos1 > 30.5 AND width1 <= 18 AND weekday_step <= -0.49

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

<i>leaf_id</i>	<i>condiciones</i>
45	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 <= 33 AND pos1 > 30.5 AND width1 <= 18 AND weekday_step > -0.49
47	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 <= 33 AND pos1 > 30.5 AND width1 > 18 AND ratio_target <= 5
48	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 <= 33 AND pos1 > 30.5 AND width1 > 18 AND ratio_target > 5
52	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 > 33 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2} AND pos1 <= 17 AND ratio_target <= 3
53	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 > 33 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2} AND pos1 <= 17 AND ratio_target > 3
55	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 > 33 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2} AND pos1 > 17 AND ratio_target <= 3
56	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 > 33 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2} AND pos1 > 17 AND ratio_target > 3
59	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 > 33 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND pos1 <= 17 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2,different_1_lt_2}
60	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 > 33 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND pos1 <= 17 AND peak_amplitude_rule in {equal}
62	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 > 33 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND pos1 > 17 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2,different_1_lt_2}
63	p_weekdays <= 0.9 AND schedule_case in {run2} AND pos2 > 33 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND pos1 > 17 AND peak_amplitude_rule in {equal}
69	p_weekdays > 0.9 AND pos1 <= 11 AND schedule_case in {run1} AND ratio_target <= 3 AND width1 <= 22.5 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2,different_1_lt_2}
70	p_weekdays > 0.9 AND pos1 <= 11 AND schedule_case in {run1} AND ratio_target <= 3 AND width1 <= 22.5 AND peak_amplitude_rule in {equal}
72	p_weekdays > 0.9 AND pos1 <= 11 AND schedule_case in {run1} AND ratio_target <= 3 AND width1 > 22.5 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2}
73	p_weekdays > 0.9 AND pos1 <= 11 AND schedule_case in {run1} AND ratio_target <= 3 AND width1 > 22.5 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal}
74	p_weekdays > 0.9 AND pos1 <= 11 AND schedule_case in {run1} AND ratio_target > 3
78	p_weekdays > 0.9 AND pos1 <= 11 AND schedule_case in {run2} AND ratio_target <= 3 AND width2 <= 22.5 AND width2 <= 18
79	p_weekdays > 0.9 AND pos1 <= 11 AND schedule_case in {run2} AND ratio_target <= 3 AND width2 <= 22.5 AND width2 > 18
81	p_weekdays > 0.9 AND pos1 <= 11 AND schedule_case in {run2} AND ratio_target <= 3 AND width2 > 22.5 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2}
82	p_weekdays > 0.9 AND pos1 <= 11 AND schedule_case in {run2} AND ratio_target <= 3 AND width2 > 22.5 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal}
85	p_weekdays > 0.9 AND pos1 <= 11 AND schedule_case in {run2} AND ratio_target > 3 AND ratio_target <= 5 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2,different_1_lt_2}
86	p_weekdays > 0.9 AND pos1 <= 11 AND schedule_case in {run2} AND ratio_target > 3 AND ratio_target <= 5 AND peak_amplitude_rule in {equal}
88	p_weekdays > 0.9 AND pos1 <= 11 AND schedule_case in {run2} AND ratio_target > 3 AND ratio_target > 5 AND width2 <= 18

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

<i>leaf_id</i>	<i>condiciones</i>
89	p_weekdays > 0.9 AND pos1 <= 11 AND schedule_case in {run2} AND ratio_target > 3 AND ratio_target > 5 AND width2 > 18
93	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2} AND pos1 <= 30.5 AND schedule_case in {run1}
95	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2} AND pos1 <= 30.5 AND schedule_case in {run2} AND pos2 <= 39
96	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2} AND pos1 <= 30.5 AND schedule_case in {run2} AND pos2 > 39
99	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2} AND pos1 > 30.5 AND width1 <= 22 AND ratio_target <= 5
100	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2} AND pos1 > 30.5 AND width1 <= 22 AND ratio_target > 5
102	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2} AND pos1 > 30.5 AND width1 > 22 AND ratio_target <= 3
103	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2} AND pos1 > 30.5 AND width1 > 22 AND ratio_target > 3
107	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2,different_1_lt_2} AND pos1 <= 17 AND schedule_case in {run1}
108	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2,different_1_lt_2} AND pos1 <= 17 AND schedule_case in {run2}
110	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2,different_1_lt_2} AND pos1 > 17 AND schedule_case in {run1}
111	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND peak_amplitude_rule in {N/A,different_1_gt_2,different_1_lt_2} AND pos1 > 17 AND schedule_case in {run2}
114	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND peak_amplitude_rule in {equal} AND schedule_case in {run1} AND width2 <= 16
115	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND peak_amplitude_rule in {equal} AND schedule_case in {run1} AND width2 > 16
117	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND peak_amplitude_rule in {equal} AND schedule_case in {run2} AND pos2 <= 39
118	p_weekdays > 0.9 AND pos1 > 11 AND peak_amplitude_rule in {different_1_lt_2,equal} AND peak_amplitude_rule in {equal} AND schedule_case in {run2} AND pos2 > 39

Nota: Las condiciones reproducen la nomenclatura interna del simulador. Para la correspondencia entre los nombres de variable y sus definiciones conceptuales, véase la Tabla 1.

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Tabla G-2

Factor *M* recomendado y nivel de complejidad por grupo (*leaf_id*).

Leaf_id	n escenarios	M obs min	M obs median	M obs max	HC real median	M recomendado	HC real rec	complejidad
6	30	0.9408	0.9878	0.9878	26.25	0.9878	26.25	media
7	3	0.9878	0.9878	0.9878	26.25	0.9878	26.25	media
9	52	0.9408	0.9408	0.9878	25	0.9408	25	baja
10	14	0.9408	0.9643	0.9878	25.62	0.9643	25.62	baja
13	48	0.9408	0.9408	0.9878	25	0.9408	25	baja
14	96	0.9408	0.9408	0.9878	25	0.9408	25	baja
16	45	0.9408	0.9408	1.0819	25	0.9408	25	baja
17	108	0.9408	0.9408	1.0349	25	0.9408	25	baja
21	11	0.9408	0.9878	0.9878	26.25	0.9878	26.25	media
22	22	0.9408	0.9408	0.9878	25	0.9408	25	baja
24	12	0.9878	0.9878	0.9878	26.25	0.9878	26.25	media
25	18	0.9408	0.9878	0.9878	26.25	0.9878	26.25	media
28	54	0.9408	0.9643	1.0349	25.62	0.9643	25.62	baja
29	9	0.9408	0.9878	0.9878	26.25	0.9878	26.25	media
31	96	0.9408	0.9408	1.0819	25	0.9408	25	baja
32	30	0.9408	0.9408	1.0349	25	0.9408	25	baja
37	24	0.9408	0.9878	1.0819	26.25	0.9878	26.25	media
38	60	0.9408	0.9878	1.0349	26.25	0.9878	26.25	media
40	42	0.9408	0.9408	1.0349	25	0.9408	25	baja
41	126	0.9408	0.9408	1.0819	25	0.9408	25	baja
44	3	0.9878	0.9878	1.0349	26.25	0.9878	26.25	media
45	9	0.9878	1.0349	1.0819	27.5	1.0349	27.5	media

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Leaf_id	n escenarios	M obs min	M obs median	M obs max	HC real median	M recomendado	HC real rec	complejidad
47	16	0.9878	1.0584	1.129	28.12	1.0584	28.12	alta
48	8	0.9878	1.0819	1.129	28.75	1.0819	28.75	alta
52	20	0.9408	0.9878	1.0819	26.25	0.9878	26.25	media
53	40	0.9408	0.9878	1.0349	26.25	0.9878	26.25	media
55	20	0.9408	1.0349	1.129	27.5	1.0349	27.5	media
56	40	0.9408	0.9878	1.0819	26.25	0.9878	26.25	media
59	60	0.9408	1.0349	1.129	27.5	1.0349	27.5	media
60	60	0.9408	1.0349	1.0819	27.5	1.0349	27.5	media
62	60	0.9878	1.0819	1.223	28.75	1.0819	28.75	alta
63	60	0.9878	1.0349	1.129	27.5	1.0349	27.5	media
69	18	1.0349	1.0349	1.0819	27.5	1.0349	27.5	media
70	9	1.0349	1.0349	1.0349	27.5	1.0349	27.5	media
72	6	1.0349	1.0349	1.0349	27.5	1.0349	27.5	media
73	12	1.0349	1.0349	1.0349	27.5	1.0349	27.5	media
74	90	1.0349	1.0349	1.0349	27.5	1.0349	27.5	media
78	18	0.9408	0.9878	1.0349	26.25	0.9878	26.25	media
79	9	0.9408	0.9878	1.0349	26.25	0.9878	26.25	media
81	6	0.9878	0.9878	1.0349	26.25	0.9878	26.25	media
82	12	0.9878	0.9878	1.0819	26.25	0.9878	26.25	media
85	30	0.9408	0.9878	1.0349	26.25	0.9878	26.25	media
86	15	0.9408	0.9408	0.9878	25	0.9408	25	baja
88	18	0.9408	0.9408	0.9878	25	0.9408	25	baja
89	27	0.9408	0.9408	1.0819	25	0.9408	25	baja
93	144	1.0349	1.0349	1.0349	27.5	1.0349	27.5	media
95	99	0.9408	0.9878	1.129	26.25	0.9878	26.25	media
96	45	0.9408	1.0349	1.0819	27.5	1.0349	27.5	media
99	24	0.9878	1.0349	1.0819	27.5	1.0349	27.5	media
100	12	1.0349	1.0819	1.129	28.75	1.0819	28.75	alta

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Leaf_id	n escenarios	M obs min	M obs median	M obs max	HC real median	M recomendado	HC real rec	complejidad
102	6	1.0819	1.0819	1.129	28.75	1.0819	28.75	alta
103	12	1.0349	1.0819	1.129	28.75	1.0819	28.75	alta
107	45	1.0349	1.0349	1.129	27.5	1.0349	27.5	media
108	45	0.9878	1.0819	1.176	28.75	1.0819	28.75	alta
110	45	1.0349	1.0819	1.129	28.75	1.0819	28.75	alta
111	45	1.0349	1.0819	1.2701	28.75	1.0819	28.75	alta
114	54	1.0349	1.0349	1.0819	27.5	1.0349	27.5	media
115	36	1.0349	1.0349	1.0819	27.5	1.0349	27.5	media
117	45	0.9878	1.0349	1.129	27.5	1.0349	27.5	media
118	45	1.0349	1.0819	1.176	28.75	1.0819	28.75	alta

EXTENSIÓN DEL MÉTODO WORKLOAD PARA LA PLANEACIÓN EN CALL CENTERS INCORPORANDO LA MORFOLOGÍA DE LA DEMANDA Y LAS POLÍTICAS DE TURNO

Anexo H Resultados del Orquestador

Este anexo proporciona acceso al conjunto de datos completo generado por el orquestador, sobre el cual se realizaron el procesamiento, el entrenamiento del árbol de regresión y el análisis de resultados reportados en el cuerpo del documento. El archivo contiene una fila por cada uno de los 2268 escenarios simulados, con la configuración de entrada (modo semanal, parámetros intradía y caso run) y las métricas de salida del optimizador (HC_{req} , N_{final} , HC_{real} , M_{obs} , $coverage$, Σ_{under} , Σ_{over}) junto con metadatos de ejecución (estado del solver y tiempo de cómputo).

Enlace al archivo en GitHub:

https://github.com/mgutier57131/StaffSim/blob/main/Resultados%20Final/summary_valor_cp_sat.csv

Descarga directa (CSV):

https://raw.githubusercontent.com/mgutier57131/StaffSim/main/Resultados%20Final/summary_valor_cp_sat.csv