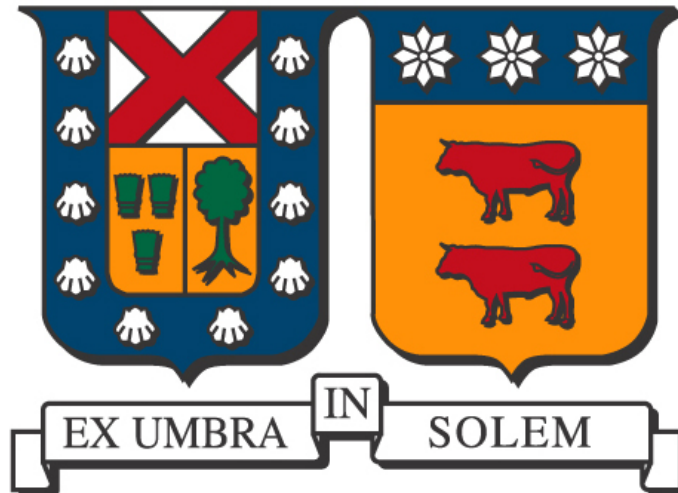


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
SANTIAGO - CHILE



**«SISTEMA DE RECOMENDACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE
ROLES SAP INTEGRANDO INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN
LA GESTIÓN DE ACCESOS PARA ENTORNOS
EMPRESARIALES»**

JAVIER IGNACIO ACUÑA PINO

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
TELEMÁTICO**

PROFESORA GUÍA:

BERIOSKA CONTRERAS VARGAS

PROFESOR CORREFERENTE:

GABRIEL TORRES YARZA

MARZO - 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Sistema de Recomendación y Estandarización de Roles SAP Integrando Inteligencia Artificial en la Gestión de Accesos para Entornos Empresariales

Nombre del candidato(a): Javier Ignacio Acuña Pino

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Telemática

Campus: San Joaquín

Departamento: Electrónica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Berioska Maureen Contreras Vargas, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 24/03/2026

Firma:

BERIOSKA MAUREEN
CONTRERAS VARGAS

Digitally signed by
BERIOSKA MAUREEN
CONTRERAS VARGAS
Date: 2026.03.24 09:35:03
-03'00'

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 04/03/2026

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, por apoyarme incondicionalmente a lo largo de toda mi etapa de formación. A Stephanie, por amarme, acompañarme y sostenerme en los momentos que todo parecía ir cuesta arriba. A mi perrita Olivia, por su fiel compañía durante las largas noches de estudio.

Asimismo, quisiera agradecer a los grandes profesores que me guiaron por el camino del saber, inspirándome y ampliando los horizontes de mi mente: Rigoberto Becerra (Q.E.P.D.) y Heriberto Cortés, del Colegio Don Orione; la profesora Berioska Contreras, de la UTFSM; y Katherine Velásquez, Psicóloga de la UTFSM.

A mis amigos de la universidad por su compañerismo y su amistad invaluable: Pablo Etcheberry, Francisco Cárdenas, Nicolás González, Osvaldo Fuentes y Pablo Retamal.

Finalmente a todos quienes me dieron su mano en tiempos difíciles y de adversidad.

Dedicado a Gloria y René por siempre hacerlo posible...

Resumen

Se diseñó, implementó y evaluó un sistema web de recomendación y estandarización de roles SAP mediante aprendizaje automático, orientado a reducir permisos durmientes en entornos empresariales. El sistema compara usuarios del mismo cargo y sucursal usando similitud de Jaccard para identificar roles faltantes, y los valida con un clasificador CatBoost con umbral $\tau = 0,7$, configuración que prioriza la precisión sobre el *recall* en línea con el principio de menor privilegio. La retroalimentación del equipo de gestión de accesos queda registrada para un posterior proceso de aprendizaje asistido, en el que un administrador puede incorporar manualmente las etiquetas validadas al conjunto de entrenamiento. La evaluación del sistema integró tres dimensiones complementarias: el desempeño en tareas —medido mediante tiempos de completitud y errores observados—, la satisfacción percibida —recogida con los instrumentos ASQ y SUS— y los hallazgos cualitativos obtenidos en entrevistas semiestructuradas. La triangulación de estas dimensiones con tres participantes —dos expertos en gestión IAM y un usuario general— arrojó un puntaje SUS promedio de 76,7 sobre 100 (categoría *Acceptable*) y un promedio ASQ de 6,0 sobre 7, con todas las tareas completadas sin asistencia. En cuanto al impacto operativo, el sistema reduce el tiempo de procesamiento desde 20 minutos por usuario en el proceso manual a 0,005 minutos al procesar lotes de 1.000 trabajadores, lo que representa una reducción del 99,97 %, liberando al equipo de gestión de una carga operativa significativa.

Palabras clave: IAM; control de acceso basado en roles (RBAC); SAP; ERP; permisos durmientes; principio de menor privilegio; *role mining*; recomendación de roles; usabilidad; métricas de proceso.

CCS Concepts: Security and privacy → Access control; Information systems → Recommender systems; Computing methodologies → Machine learning; Supervised learning; Human-centered computing → Usability testing; Empirical studies in HCI.

Abstract

A web-based SAP role recommendation and standardization system was designed, implemented and evaluated using machine learning techniques, aimed at reducing dormant permissions in enterprise environments. The system compares users sharing the same job title and branch via Jaccard similarity to identify missing roles, and validates candidates using a CatBoost classifier with threshold $\tau = 0,7$, a configuration that prioritizes precision over recall in accordance with the principle of least privilege. Feedback from the access management team is recorded to support a future assisted learning process, in which an administrator can manually incorporate validated labels into the training set. The system evaluation integrated three complementary dimensions: task performance—measured through completion times and observed errors—, perceived satisfaction—captured with the ASQ and SUS instruments— and qualitative findings from semi-structured interviews. The triangulation of these dimensions across three participants—two IAM management experts and one non-specialized user—yielded an average SUS score of 76,7 out of 100 (*Acceptable* category) and an average ASQ score of 6,0 out of 7, with all tasks completed without assistance. Regarding operational impact, the system reduces processing time from 20 minutes per user in the manual process to 0,005 minutes when processing batches of 1,000 workers, representing a 99,97 % reduction and freeing the access management team from significant operational overhead.

Keywords: IAM; Role-Based Access Control (RBAC); SAP; ERP; dormant permissions; principle of least privilege; role mining; role recommendation; usability; process metrics.

CCS Concepts: Security and privacy → Access control; Information systems → Recommender systems; Computing methodologies → Machine learning; Supervised learning; Human-centered computing → Usability testing; Empirical studies in HCI.

Glosario

Embeddings Representaciones vectoriales densas de entidades (usuarios, roles, permisos) en un espacio de baja dimensión, que capturan relaciones semánticas entre ellas.

Role mining Descubrimiento/optimización de roles a partir de asignaciones usuario–permiso existentes.

ASQ *After Scenario Questionnaire*: cuestionario post-escenario para satisfacción/facilidad percibida.

Coeficiente de Jaccard Medida de similitud entre conjuntos, $|A \cap B|/|A \cup B|$.

ERP *Enterprise Resource Planning*: conjunto integrado de módulos para gestionar procesos de negocio.

GNN *Graph Neural Networks*: familia de redes neuronales diseñadas para operar sobre datos estructurados en forma de grafos.

ML *Machine Learning*: rama de la inteligencia artificial que desarrolla algoritmos capaces de aprender patrones a partir de datos.

RBAC *Role-Based Access Control* (Control de Acceso Basado en Roles): modelo en el que los permisos se asignan a roles y los usuarios los heredan al ser asignados a dichos roles.

SAP Plataforma ERP ampliamente utilizada para la gestión administrativa y operativa en organizaciones.

SUS *System Usability Scale*: cuestionario estandarizado para evaluar usabilidad percibida.

Zero-Trust Arquitectura de seguridad que asume que ninguna entidad —interna o externa— es confiable por defecto, requiriendo verificación continua de identidad y permisos mínimos en cada acceso.

Tabla de Contenido

1	Introducción	1
1.1	Objetivo General	1
1.2	Objetivos Específicos	1
2	Marco teórico	3
2.1	Identity and Access Management (IAM)	4
2.2	Permisos Durmientes y Principio de Menor Privilegio	4
2.3	Roles y Perfiles	4
2.4	Inteligencia Artificial orientada al Control de Acceso	5
2.4.1	Técnicas de <i>clustering</i> para agrupación de usuarios	5
2.4.2	Redes neuronales de grafos para modelado de relaciones de acceso	6
2.4.3	Clasificación supervisada para filtrado de recomendaciones	6
2.4.4	Métricas de evaluación	7
2.5	Fundamentos de Diseño de Interfaces	7
2.5.1	Diseño de interfaces y evaluación de usabilidad	7
3	Arquitectura y metodología	9
3.1	Diagrama de arquitectura	9
3.2	Componentes del sistema	10
3.2.1	Interfaz Web	11
3.2.2	Recolección de Datos	11
3.2.3	Predicción de Permisos	12
3.2.4	Recomendación de Roles	12
3.2.5	Procesador de Feedback	13
3.3	Validación de Usabilidad e Impacto del Sistema	13
3.3.1	Pruebas de Usuario	13

3.4	Guiones de Pruebas de Usabilidad	15
3.4.1	Guion — Participante Experto	15
3.4.2	Guion — Participante No Especializado	18
3.4.3	Comparación de indicadores de tiempo de procesamiento AS- IS / TO-BE	20
3.5	Visión integrada del método	21
4	Resultados	23
4.1	Prototipo funcional del sistema	23
4.2	Tiempos de completitud de tareas	29
4.3	Resultados ASQ (<i>After-Scenario Questionnaire</i>)	30
4.4	Resultados SUS (<i>System Usability Scale</i>)	31
4.5	Síntesis de indicadores de usabilidad	32
4.6	Respuestas a preguntas abiertas	32
4.6.1	Participantes expertos (P001 y P002)	32
4.6.2	Participante no especializado (P003)	34
4.7	Comparación de tiempos de procesamiento AS-IS vs. TO-BE	35
5	Análisis y discusión	37
5.1	Desempeño en tareas y carga temporal	37
5.2	Análisis de la satisfacción post-tarea (ASQ)	38
5.3	Análisis de la usabilidad percibida global (SUS)	39
5.4	Triangulación con los hallazgos cualitativos	39
5.5	Impacto operativo: análisis de la comparación AS-IS vs. TO-BE	40
5.6	Limitaciones del estudio	41
6	Conclusión y trabajo futuro	43
6.1	Conclusiones	43
6.2	Trabajo futuro	43

Referencias

44

Índice de figuras

3.1	Diagrama de arquitectura del sistema.	10
4.1	Vista de inicio del sistema con guía de uso para nuevos usuarios.	24
4.2	Formulario de creación de nuevo análisis con validación de campos obligatorios.	25
4.3	Vista de historial de análisis con opciones de descarga y eliminación. . .	26
4.4	Vista de revisión del análisis (1/3): Muestra datos generales de la recomendación	27
4.5	Vista de revisión del análisis (2/3): Muestra barra de progreso de feedback y roles recomendados.	28
4.6	Vista de revisión del análisis (3/3): Incluye botones de acción para guardar feedback, eliminar recomendación o descargar la recomendación en formato .csv	28
4.7	Tiempos de completitud de tareas por participante.	29
4.8	Resultados del cuestionario ASQ por participante y tarea (escala 1–7). .	30
4.9	Resultados del cuestionario SUS por participante (escala 0–100).	31

Índice de tablas

3.1	Archivos de entrada y volúmenes esperados	11
3.2	Tareas de usabilidad y métricas asociadas	14
3.3	Comparación de indicadores de tiempo de procesamiento AS-IS vs TO-BE	21
4.1	Indicadores de usabilidad por participante	32
4.2	Resultados de la comparación AS-IS vs. TO-BE	35

1. Introducción

En el contexto actual de transformación digital empresarial, la gestión de identidades y accesos (IAM) se ha consolidado como uno de los pilares fundamentales de la seguridad informática organizacional. Uno de los principales problemas en la gestión de accesos es la existencia de permisos durmientes, esto es, privilegios asignados a usuarios que nunca son utilizados. Estudios recientes muestran que optimizar políticas IAM para reducir permisos durmientes disminuye significativamente la superficie de ataque tras el compromiso de credenciales (p. ej., estudio con datos reales en organizaciones de nube) (Kazdagli et al., 2022).

Este documento se estructura en seis capítulos. El Capítulo 2 presenta el marco teórico; el Capítulo 3 describe la metodología y arquitectura del sistema; el Capítulo 4 resume los resultados; el Capítulo 5 analiza hallazgos y limitaciones; y el Capítulo 6 entrega conclusiones y trabajo futuro.

1.1. Objetivo General

Optimizar, estandarizar y automatizar el proceso de gestión de accesos en sistemas SAP mediante el desarrollo de un sistema inteligente de recomendación de roles basado en técnicas de aprendizaje automático que analice permisos de usuarios y prediga futuras necesidades de accesos.

1.2. Objetivos Específicos

1. Desarrollar un sistema de recomendación de roles que permita completar perfiles de acceso de usuarios acotados a sus cargos, priorizando precisión en concordancia con el principio de menor privilegio para evitar la asignación de permisos no requeridos.
2. Estandarizar la asignación de roles entre usuarios del mismo cargo, identifican-

do discrepancias en los permisos asignados para mitigar sesgos funcionales y garantizar consistencia en los accesos según el cargo desempeñado.

3. Implementar un mecanismo de detección y validación de roles candidatos mediante similitud de Jaccard entre usuarios del mismo cargo y sucursal, complementado por un clasificador supervisado con umbral de decisión calibrado que descarte recomendaciones no pertinentes antes de presentarlas al equipo de gestión de accesos.
4. Diseñar e implementar una interfaz web intuitiva que permita al equipo de gestión de accesos visualizar las recomendaciones generadas, facilitando la evaluación y seguimiento de las asignaciones sugeridas por el sistema.
5. Validar que los usuarios con perfil similares al del equipo de gestión de accesos puedan interactuar con el sistema de manera efectiva y experimenten su uso satisfactoriamente utilizando encuestas.

2. Marco teórico

El presente marco teórico provee los fundamentos conceptuales y técnicos que sustentan el sistema propuesto para la gestión y recomendación de permisos en entornos corporativos. En primer lugar, se describe *Identity and Access Management* (IAM) como marco estructural que articula las políticas y tecnologías mediante las cuales una organización controla quién puede acceder a qué recursos; dentro de este marco, emerge la problemática central de los *permisos durmientes* —privilegios asignados pero no utilizados— cuya existencia constituye una violación del principio de menor privilegio, que establece que cada usuario debe operar únicamente con los accesos estrictamente necesarios para sus funciones. Para gestionar estos accesos de forma estructurada, se introduce el modelo RBAC (*Role-Based Access Control*), el cual organiza los permisos en torno a roles que representan funciones laborales y que, en entornos de gran escala, se vinculan a perfiles y cargos organizacionales; la inferencia automática de estos roles desde datos históricos se aborda mediante técnicas de *role mining*. Sobre esta base, se presentan las técnicas de inteligencia artificial aplicadas al control de acceso: algoritmos de *clustering* para agrupar usuarios con comportamientos similares, redes neuronales de grafos (GNN) para modelar relaciones entre entidades de acceso, y modelos de clasificación supervisada para filtrar y validar recomendaciones de permisos bajo umbrales de decisión calibrados. Finalmente, se abordan los fundamentos de diseño de interfaces orientadas a sistemas de recomendación, considerando principios de usabilidad, transparencia e interpretabilidad, organización visual, retroalimentación mediante ciclos *human-in-the-loop*, y métricas de evaluación de adopción, elementos que en conjunto aseguran que las recomendaciones generadas sean comprensibles y accionables por el equipo de gestión de accesos.

2.1. Identity and Access Management (IAM)

Identity and Access Management (IAM), o gestión de identidades y accesos, es un marco de políticas y tecnologías que garantiza que los usuarios correctos tengan el acceso apropiado a los recursos tecnológicos de una organización. Un sistema IAM ejecuta dos funciones principales: gestión de identidades y gestión de accesos. La relevancia de IAM radica en prevenir accesos no autorizados mediante modelos como RBAC y el principio de menor privilegio (Saltzer & Schroeder, 1975).

2.2. Permisos Durmientes y Principio de Menor Privilegio

Los permisos durmientes son privilegios asignados a usuarios que nunca son utilizados en el ejercicio de sus funciones, y cuya existencia constituye una violación directa del principio de menor privilegio. Este principio, formulado por Saltzer & Schroeder (1975), establece que cada usuario debe operar únicamente con el conjunto mínimo de accesos estrictamente necesarios para cumplir su rol. En entornos SAP de gran escala, esta situación es frecuente: un trabajador puede acumular roles de etapas laborales anteriores o de procesos que ya no ejecuta, ampliando innecesariamente su superficie de exposición. Evidencia empírica en entornos *cloud* muestra que políticas optimizadas que minimizan permisos durmientes reducen significativamente el número de recursos accesibles tras el compromiso de credenciales (Kazdagli et al., 2022), lo que refuerza la necesidad de revisar y estandarizar periódicamente las asignaciones de roles.

2.3. Roles y Perfiles

El modelo de Control de Acceso Basado en Roles (RBAC) organiza los permisos en torno a roles que representan funciones laborales dentro de una organización. Formalmente, el modelo considera un conjunto de usuarios (U), roles (R) y permisos (P), vinculados mediante relaciones de asignación usuario-rol (UA) y rol-permiso (PA).

De este modo, los usuarios no reciben permisos directamente, sino que los heredan al ser asignados a uno o más roles, lo que simplifica la administración de accesos y reduce el riesgo de asignaciones inconsistentes. Para inferir estos roles automáticamente desde datos históricos de asignaciones usuario–permiso, se recurre a técnicas de *role mining*: enfoques probabilísticos generativos permiten obtener roles con buena capacidad de generalización (Frank et al., 2013), mientras que métodos de descomposición de matrices booleanas abordan variantes orientadas a restricciones operacionales (Lu et al., 2014).

En organizaciones de gran escala, como empresas con múltiples sucursales y cargos estandarizados, los perfiles de acceso están estrechamente ligados a las funciones que desempeña cada trabajador. Esto implica que dos usuarios con el mismo cargo y sucursal deberían tener asignaciones de roles similares; cuando existen discrepancias, estas pueden indicar permisos durmientes, errores de asignación o sesgos funcionales acumulados con el tiempo. Detectar y corregir estas diferencias es precisamente el punto de partida del sistema propuesto en esta memoria.

2.4. Inteligencia Artificial orientada al Control de Acceso

2.4.1. Técnicas de *clustering* para agrupación de usuarios

Para datos categóricos como los roles SAP, se emplean algoritmos de agrupación especializados que operan sobre medidas de similitud adecuadas, como el coeficiente de Jaccard. K-modes (Huang, 1998) extiende el algoritmo K-means al dominio categórico, asignando cada usuario al grupo cuyo modo —vector de valores más frecuentes— minimiza la distancia de Hamming; su principal ventaja es la eficiencia computacional, aunque requiere definir el número de grupos a priori. DBSCAN (Ester et al., 1996), en cambio, descubre grupos de forma automática basándose en densidad local, identificando además puntos atípicos como ruido, lo que lo hace robusto frente a asignaciones irregulares; sin embargo, su desempeño es sensible a la elección de sus parámetros de

vecindad. ROCK (Guha et al., 2000) es un algoritmo de *clustering* jerárquico aglomerativo optimizado para datos categóricos, que utiliza enlaces robustos (*robust links*) como criterio de conectividad: en lugar de comparar pares de puntos directamente, mide cuántos vecinos comparten dos usuarios, capturando mejor la estructura global de los grupos a costa de una mayor complejidad computacional.

2.4.2. Redes neuronales de grafos para modelado de relaciones de acceso

Las redes neuronales de grafos (GNN) modelan relaciones entre usuarios, roles y recursos. Por ejemplo, variantes con *pesos estructurales* y atención (p. ej., WGCN) mejoran la representación de nodos y su contexto relacional (Zhao, Qi, Liu, & Zhang, 2021). Nuestro sistema usa vectores semánticos (*embeddings*) de usuarios para agrupar y comparar comportamientos de acceso.

2.4.3. Clasificación supervisada para filtrado de recomendaciones

Tras generar candidatos por similitud/*clustering*, se filtra con clasificación binaria. Modelos de incremento de gradientes (*gradient boosting*), como CatBoost, manejan categorías de forma nativa, sin requerir codificación *one-hot*; esta última transforma una categoría en un vector binario de presencia/ausencia y puede generar una explosión de dimensionalidad en escenarios de alta cardinalidad (Prokhorenkova et al., 2018).

Para recomendar, se define un umbral de decisión τ sobre la probabilidad calibrada. Adoptamos $\tau = 0,7$ como punto operativo conservador que prioriza *precisión/PPV* cuando los costos de falsos positivos son relevantes: la literatura sugiere seleccionar umbrales con base en curvas Precisión–Recall en escenarios desbalanceados y usar probabilidades calibradas para tomar decisiones de coste (Saito & Rehmsmeier, 2015; Niculescu-Mizil & Caruana, 2005).

2.4.4. Métricas de evaluación

La calidad de los grupos formados se evalúa con tres métricas internas. El índice de Dunn (Dunn, 1974) y el índice de Silhouette (Rousseeuw, 1987) miden, desde perspectivas complementarias, qué tan compactos y separados están los grupos: Dunn compara distancias extremas entre y dentro de los clusters, mientras que Silhouette evalúa la coherencia de cada punto con su propio grupo. La Complejidad Estructural Ponderada (WSC) es específica del *role mining* y penaliza configuraciones que generen demasiados roles o asignaciones redundantes (Lu et al., 2014). Cabe señalar que el sistema propuesto no realiza *clustering* explícito, por lo que estas métricas se presentan como referencia del estado del arte.

Para evaluar las recomendaciones generadas, se emplean precisión, *recall* y F1-Score. En el contexto de gestión de accesos, el *recall* es prioritario: omitir un rol que el usuario necesita puede bloquear tareas críticas. Complementariamente, la interpretabilidad de los roles se evalúa mediante cohesión semántica intra-rol; la propuesta IRMAOC introduce métricas explícitas al respecto y reporta reducciones de WSC alineadas con marcos de Arquitectura Zero-Trust (Yang et al., 2025).

2.5. Fundamentos de Diseño de Interfaces

2.5.1. Diseño de interfaces y evaluación de usabilidad

El diseño de la interfaz de nuestra solución debe garantizar que el usuario pueda operar el sistema con efectividad, eficiencia y satisfacción, criterios que la norma ISO 9241-11 establece como dimensiones centrales de la usabilidad (ISO, 2018). Para lograrlo, Nielsen propone diez heurísticas de diseño que permiten identificar problemas de interacción de forma experta antes de llegar a los usuarios finales (Nielsen & Molich, 1990; Nielsen, 1994). La organización visual del sistema sigue principios de Gestalt y jerarquía: patrones como el «escenario central» priorizan el contenido principal —en

este caso, las recomendaciones de roles— y relevan los controles de filtrado a paneles secundarios, reduciendo la carga cognitiva del equipo de gestión de accesos.

La confianza del usuario en las sugerencias del sistema depende también de la transparencia con que se presentan las decisiones. Las explicaciones locales, como las generadas por LIME, permiten al usuario comprender por qué se realizó una recomendación específica, facilitando la detección de errores y fomentando la adopción del sistema (Ribeiro et al., 2016; Holzinger et al., 2020). Para medir estas percepciones de forma estructurada, se emplean dos instrumentos estandarizados: el cuestionario SUS (Brooke, 1996), que entrega una puntuación global de usabilidad entre 0 y 100, y el ASQ (Lewis, 1991), que evalúa la satisfacción del usuario tras cada tarea específica. Ambos instrumentos fueron aplicados en la validación del sistema desarrollado en esta memoria.

3. Arquitectura y metodología

La arquitectura propuesta organiza el sistema en cinco módulos independientes y acoplados de manera flexible: *Interfaz Web*, *Recolección de Datos*, *Predicción de Permisos*, *Recomendación de Roles* y *Procesador de Feedback*. Este diseño modular facilita el mantenimiento y la evolución independiente de cada componente. El flujo de información es unidireccional entre las etapas analíticas y bidireccional con la Interfaz Web, que concentra tanto la entrada de datos como la captura de retroalimentación del equipo de gestión de acceso para un posterior aprendizaje asistido. Cabe señalar que el reentrenamiento automático del modelo a partir de dicha retroalimentación no forma parte del alcance de esta memoria, quedando como trabajo futuro.

3.1. Diagrama de arquitectura

La Figura 3.1 ilustra los módulos del sistema y el flujo de datos entre ellos. El equipo de gestión de accesos representa el factor humano: carga los archivos temporales extraídos de SAP, revisa las recomendaciones generadas y registra su retroalimentación para el aprendizaje asistido.

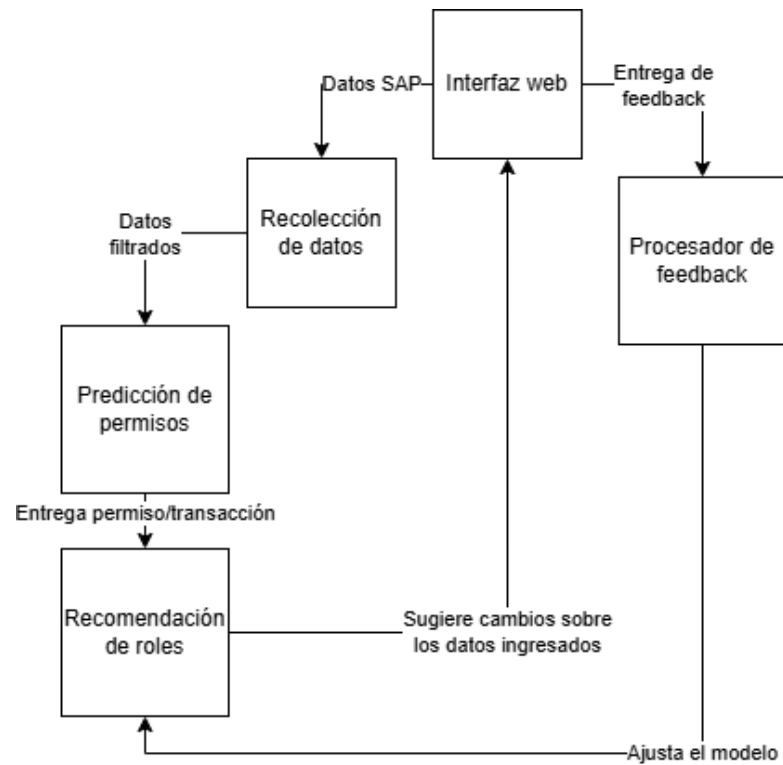


Figura 3.1: Diagrama de arquitectura del sistema.

3.2. Componentes del sistema

El flujo de datos del sistema inicia cuando el usuario interactúa con la Interfaz Web, donde ingresa los archivos con las asignaciones de roles extraídos del sistema SAP. Estos son recibidos por el Módulo de Recolección de Datos, el cual organiza la información por cargo y sucursal. El Módulo de Predicción de Permisos identifica roles faltantes comparando cada trabajador con sus pares mediante similitud de Jaccard. Los roles candidatos son validados por el Módulo de Recomendación de Roles, que aplica un clasificador entrenado para filtrar sugerencias no pertinentes. Finalmente, las recomendaciones validadas se presentan en la Interfaz Web para su evaluación; la retroalimentación es capturada por el Procesador de Feedback para un posterior aprendizaje asistido.

3.2.1. Interfaz Web

Punto de entrada y visualización del sistema. Proporciona al equipo de gestión de accesos una plataforma para cargar archivos, explorar recomendaciones con filtros, búsqueda y paginación, y registrar retroalimentación sobre cada sugerencia. Incluye validaciones previas en la carga para asegurar integridad de datos. La Tabla 3.1 resume los archivos de entrada esperados y sus volúmenes en el entorno actual.

Tabla 3.1: Archivos de entrada y volúmenes esperados

Archivo	Formato	Columnas clave (ejemplos)	Tamaño/filas (estimado)
AGR_USERS_summary.csv	CSV (UTF-8)	id_usuario, cargo, sucursal	10k–200k filas; 5–20 MB
resumen_20XX.csv	CSV (UTF-8)	id_rol, descripcion	0.5k–5k filas; 1–5 MB
feedback_analysis_XX.csv	CSV (UTF-8)	id_usuario, id_rol, feedback	1k–50k filas; 1–10 MB

3.2.2. Recolección de Datos

Procesa los archivos cargados por el usuario, validando formatos, deduplicando y estandarizando los campos; organiza la información según cargos y sucursales para conformar grupos homogéneos. Para garantizar la integridad del *pipeline*, se aplican tres funciones de control: `find_missing_values()` verifica la existencia y legibilidad de los archivos clave, deteniendo el proceso si alguno falta; `analyze_csv_data()` valida el esquema, tipos y valores nulos aplicando reglas de negocio (p.ej., campo

cargo no vacío); e `impute_or_drop()` aplica imputación conservadora en campos no críticos y descarta con trazabilidad las filas con campos clave ausentes.

3.2.3. Predicción de Permisos

Identifica discrepancias en los roles asignados a trabajadores con el mismo cargo y sucursal mediante análisis de similitud. Dado que los roles SAP constituyen variables categóricas binarias, los vectores de usuario se representan sobre el universo de roles del grupo cargo–sucursal. Sobre esta representación se calcula el coeficiente de Jaccard (Ecuación 1), que opera de forma nativa sobre conjuntos sin requerir reducción de dimensionalidad previa:

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}. \quad (1)$$

La función `pair_similarity(u, V)` restringe la comparación a usuarios del mismo cargo y sucursal, selecciona los k más similares y propone como candidatos los roles presentes en V pero ausentes en u , reteniéndolos si superan un umbral mínimo de similitud antes de enviarlos al módulo de validación.

3.2.4. Recomendación de Roles

Refina y valida las predicciones comprobando su pertinencia al cargo específico. Emplea un clasificador entrenado con datos históricos para descartar recomendaciones que no correspondan al perfil del cargo. La retroalimentación del equipo de gestión de accesos es registrada y almacenada por el Procesador de Feedback, habilitando un proceso de aprendizaje asistido en el que un administrador puede incorporar manualmente las etiquetas validadas para futuras iteraciones del modelo. La automatización de este ciclo de reentrenamiento constituye una línea de trabajo futuro del sistema.

3.2.5. Procesador de Feedback

Captura, almacena y depura la retroalimentación registrada por el equipo de gestión de accesos sobre las recomendaciones revisadas. La información recopilada queda disponible para el reentrenamiento asistido, en el que un administrador puede incorporar manualmente las etiquetas validadas al conjunto de entrenamiento. Para orientar este proceso, se definen parámetros de referencia: un volumen mínimo de $N \geq 200$ nuevas decisiones y un umbral de deriva $PSI > 0,25$ como indicadores de que el modelo podría beneficiarse de una actualización. La automatización de este ciclo constituye trabajo futuro.

3.3. Validación de Usabilidad e Impacto del Sistema

3.3.1. Pruebas de Usuario

Se evaluó la experiencia de usuarios reales del equipo de gestión de accesos (expertos) y un usuario no especializado para validar su percepción general del sistema. El procedimiento incluyó preparación del entorno, consentimiento informado, técnica de pensar en voz alta (*think-aloud*), observación no intrusiva, cuestionarios post-tarea (ASQ) y post-sesión (SUS), y una entrevista semiestructurada con preguntas abiertas.

Tareas evaluadas La Tabla 3.2 describe las tareas aplicadas durante las sesiones de prueba, junto con las métricas e instrumentos asociados a cada una.

Tabla 3.2: Tareas de usabilidad y métricas asociadas

Tarea	Descripción	Métricas e instrumento
T1 — Carga y descarga	Cargar los archivos CSV, visualizar las recomendaciones generadas y descargar el archivo de resultados (expertos).	Tiempo de completitud (min), errores observados, consultas al facilitador. Satisfacción post-tarea: ASQ (escala 1–7).
T2 — Historial y <i>feedback</i>	Acceder al historial de recomendaciones, revisar al menos tres roles sugeridos y registrar retroalimentación de aprobación o rechazo (expertos).	Facilidad de navegación, comprensión de controles. Satisfacción post-tarea: ASQ (escala 1–7).
T3 — Login y visualización	Iniciar sesión y navegar por el panel principal interpretando las visualizaciones sin instrucción previa (expertos y no especializado).	Tiempo hasta orientarse, consultas al facilitador, comprensión de visualizaciones. Satisfacción post-tarea: ASQ (escala 1–7); usabilidad global: SUS (escala 0–100).

3.4. Guiones de Pruebas de Usabilidad

3.4.1. Guion — Participante Experto

Preparativos (facilitador)

1. Inicie sesión en el sistema con las credenciales de prueba y deje la interfaz en la pantalla principal del panel de recomendaciones.
2. Prepare los archivos CSV de prueba (`usuarios.csv`, `roles.csv` y `asignaciones.csv`) en el escritorio.
3. Inicie la reunión.
4. Comience la grabación únicamente cuando el participante haya dado su consentimiento.

Bienvenida e introducción Hola, muchas gracias por participar en esta prueba de usabilidad. Hoy vamos a evaluar el sistema de recomendación de roles SAP, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora en su interfaz y flujo de trabajo. Quiero aclarar desde el principio que **lo que se evalúa es el sistema, no su desempeño**: no existen respuestas correctas ni incorrectas.

Durante la sesión, si tiene dudas o comentarios, no dude en expresarlos. Si en algún momento desea detenerse, puede hacerlo sin ningún inconveniente.

¿Está de acuerdo en que grabemos esta sesión? La grabación se utilizará exclusivamente con fines académicos y será tratada de forma confidencial.

[El participante acepta. Se inicia la grabación y se comparte la pantalla del sistema.]

Por favor, piense en voz alta en todo momento: exprese lo que ve, lo que entiende y lo que le genera dudas. Esto nos ayuda a comprender su experiencia de uso.

Instrucciones generales Vamos a realizar tres tareas. No hay apuro: puede tomarse el tiempo que necesite. Yo estaré observando y tomando notas, pero no podré guiarle durante las tareas. Entregaré cada tarea de forma individual para evitar distracciones.

Tareas

Tarea 1 — Carga de datos y descarga de recomendaciones Tiene disponibles tres archivos CSV en el escritorio: `usuarios.csv`, `roles.csv` y `asignaciones.csv`. Por favor, cárguelos en el sistema, espere a que se generen las recomendaciones y descargue el archivo de resultados.

Registrar: tiempo de inicio, tiempo de término, errores críticos/mayores/menores, consultas de ayuda.

Tarea 2 — Revisión de historial y retroalimentación Acceda al historial de recomendaciones generadas. Revise al menos tres roles sugeridos para un trabajador y proporcione retroalimentación sobre cada uno (aprobación o rechazo) indicando el motivo.

Registrar: facilidad de navegación, comprensión de controles, satisfacción expresada.

Tarea 3 — Login y visualización del panel Cierre sesión en el sistema. Luego inicie sesión nuevamente con sus credenciales y, sin instrucción adicional, navegue por el panel principal e intente interpretar la información presentada en las visualizaciones.

Registrar: tiempo hasta orientarse, número de consultas al facilitador, comprensión de visualizaciones.

Entre cada tarea, tome el tiempo que necesite antes de continuar.

Cuestionario posterior a cada tarea (ASQ) Responda en escala del 1 al 7 (1 = Totalmente en desacuerdo, 7 = Totalmente de acuerdo):

- ¿Le resultó fácil completar esta tarea?
- ¿El tiempo requerido para completar la tarea fue adecuado?
- ¿La información y controles del sistema fueron suficientes para completar la tarea sin asistencia externa?

Cuestionario SUS (post-sesión) A continuación, responda las siguientes afirmaciones sobre el sistema en general, en escala del 1 al 5 (1 = Muy en desacuerdo, 5 = Muy de acuerdo):

1. Creo que me gustaría usar este sistema frecuentemente.
2. Encontré el sistema innecesariamente complejo.
3. Pensé que el sistema era fácil de usar.
4. Creo que necesitaría apoyo técnico para usar este sistema.
5. Las distintas funciones del sistema estaban bien integradas.
6. Había demasiada inconsistencia en este sistema.
7. Imagino que la mayoría de personas aprendería a usar este sistema rápidamente.
8. Encontré el sistema muy complicado de usar.
9. Me sentí muy seguro/a usando el sistema.
10. Necesité aprender muchas cosas antes de poder usar el sistema.

Preguntas abiertas

- ¿Utiliza habitualmente herramientas digitales para gestión de accesos o roles en SAP?
- ¿Qué fue lo que más le facilitó el uso del sistema durante las tareas?
- ¿Qué aspectos le resultaron confusos o podrían mejorar?
- ¿Las recomendaciones generadas le parecieron comprensibles y justificadas?
- ¿Estaría dispuesto/a a utilizar este sistema en su trabajo cotidiano?

Cierre Le agradezco sinceramente su tiempo y disposición. Sus comentarios son fundamentales para mejorar el sistema y hacerlo más útil para el equipo de gestión de accesos. Si tiene alguna sugerencia final o desea agregar algo, este es el momento. Si tiene dudas sobre cómo se utilizarán los resultados, con gusto se las resuelvo.

Muchas gracias por su valioso aporte.

3.4.2. Guion — Participante No Especializado

[Mismos preparativos de la Versión A.]

Bienvenida e introducción Hola, muchas gracias por participar. Hoy vamos a revisar una aplicación web de gestión interna. Le pido que intente usarla de forma natural, como si la estuviera explorando por primera vez. No se preocupe si algo no le resulta claro: eso es exactamente lo que queremos descubrir. **Lo que se evalúa es el sistema, no usted.**

¿Está de acuerdo en que grabemos esta sesión con fines académicos y de forma confidencial?

[El participante acepta. Se inicia la grabación y se comparte pantalla.]

Por favor, piense en voz alta: cuéntenos qué ve, qué interpreta y qué le genera dudas a medida que navega.

Instrucciones generales Realizaremos una sola tarea. No hay apuro, puede tomarse el tiempo que necesite. No recibirá instrucciones adicionales durante la tarea, pero puede expresar sus dudas en voz alta en todo momento.

Tarea

Tarea 3 — Login y visualización del panel principal Inicie sesión en el sistema con las credenciales que le entregamos e intente navegar por el panel principal. Explore las secciones disponibles e intente **describir con sus palabras** qué información muestra cada visualización.

Registrar: tiempo hasta orientarse en el panel, número de consultas al facilitador, comprensión de visualizaciones, errores de navegación.

Cuestionario posterior a la tarea (ASQ) Responda en escala del 1 al 7 (1 = Totalmente en desacuerdo, 7 = Totalmente de acuerdo):

- ¿Le resultó fácil iniciar sesión y orientarse en el sistema?
- ¿El tiempo que le tomó fue adecuado para lo que se le pedía?
- ¿La información presentada en la pantalla fue suficiente para entender qué hace el sistema?

Cuestionario SUS (post-sesión) *[Idéntico al cuestionario SUS de la Versión A.]*

Preguntas abiertas

- ¿Qué tan seguido utiliza aplicaciones web en su trabajo?

- Al ver el panel principal, ¿qué creyó que hacía el sistema?
- ¿Qué elementos le resultaron más intuitivos?
- ¿Qué cambiaría para que sea más fácil de entender?

Cierre Muchas gracias por su participación. Su perspectiva como usuario sin experiencia previa en el sistema es muy valiosa para validar la intuitividad de la interfaz. Si tiene algún comentario adicional, no dude en compartirlo.

Le deseamos un excelente día y agradecemos su tiempo.

3.4.3. Comparación de indicadores de tiempo de procesamiento AS-IS / TO-BE

Finalmente, se mide el impacto en términos del tiempo en comparación al flujo normal del sistema, es decir, que los usuarios soliciten normalmente una asignación de usuario comparado a como se pueden asignar con el software propuesto. Para ello, se utilizó una comparación directa de indicadores de tiempo de procesamiento entre el escenario actual (AS-IS) y el escenario con el software implementado (TO-BE). Este método consiste en contrastar métricas equivalentes obtenidas de ambos escenarios para evidenciar el ahorro de tiempo y esfuerzo atribuible al sistema.

Los datos de entrada para la comparación son los siguientes:

- **Escenario AS-IS:** tiempo promedio que demora el equipo en procesar manualmente una solicitud de acceso SAP, medido en minutos por usuario.
- **Escenario TO-BE:** tiempo que demora el software en procesar un lote de 1.000 usuarios, medido en minutos totales.

A partir de estos datos, se derivan los siguientes indicadores comparables:

Tabla 3.3: Comparación de indicadores de tiempo de procesamiento AS-IS vs TO-BE

Indicador	AS-IS (manual)	TO-BE (software)
Tiempo total para 1.000 usuarios (min)	$T_{AS-IS} \times 1,000$	T_{TO-BE}
Tiempo promedio por usuario (min)	T_{AS-IS}	$T_{TO-BE}/1,000$
Ahorro de tiempo por usuario (min)	$\Delta T = T_{AS-IS} - T_{TO-BE}/1,000$	
Ahorro total para 1.000 usuarios (min)	$\Delta T_{total} = \Delta T \times 1,000$	
Reducción porcentual	$\% = \left(1 - \frac{T_{TO-BE}/1,000}{T_{AS-IS}}\right) \times 100$	

donde T_{AS-IS} corresponde al tiempo promedio de procesamiento manual por usuario y T_{TO-BE} al tiempo total que emplea el software en procesar un lote de 1.000 usuarios.

3.5. Visión integrada del método

La validación del sistema combina tres dimensiones complementarias que, aunque presentadas de forma secuencial en este capítulo, operan de manera articulada: el desempeño en tareas —medido mediante tiempos de completitud y errores observados—, la satisfacción percibida —recogida con los instrumentos ASQ y SUS— y los hallazgos cualitativos obtenidos en las entrevistas semiestructuradas. Esta triangulación permite contrastar si las dificultades objetivas observadas durante las tareas se corresponden con las percepciones subjetivas de los participantes, y si las sugerencias emergentes de las entrevistas apuntan a los mismos focos de mejora que los indicadores cuantitativos. Complementariamente, la comparación AS-IS / TO-BE sitúa los resultados de usabilidad en un contexto de impacto operativo concreto: no basta con que el sistema sea usable si no reduce la carga de trabajo del equipo de gestión de accesos de forma



significativa. El Capítulo 5 retoma estas dimensiones de forma integrada, interpretando los resultados a la luz del marco teórico y discutiendo las limitaciones que condicionan su alcance.

4. Resultados

En esta sección se presentan las principales vistas del programa desarrollado y los resultados obtenidos durante las pruebas de usabilidad realizadas con tres participantes: dos expertos del equipo de gestión de accesos SAP (P001 y P002) y un usuario no especializado (P003). Se reportan los resultados de tiempos de completitud de tareas, los cuestionarios ASQ y SUS, y las respuestas a las preguntas abiertas de la entrevista semiestructurada.

4.1. Prototipo funcional del sistema

Como primer resultado del proyecto se obtuvo un prototipo web funcional del sistema de recomendación y estandarización de roles SAP, desplegado localmente y validado con datos reales de la organización. La interfaz implementa los cinco flujos principales definidos en la arquitectura: creación de análisis, visualización de resultados, revisión de recomendaciones por usuario y registro de retroalimentación. A continuación se describe cada vista del sistema.

Vista de inicio y onboarding La Figura 4.1 muestra la pantalla principal del sistema cuando el usuario no cuenta con análisis previos. Se presenta una guía de uso en cinco pasos que describe el flujo completo del sistema — desde la carga del archivo SAP hasta el registro de retroalimentación para futuras iteraciones del modelo —, reduciendo la curva de aprendizaje para usuarios que acceden por primera vez.

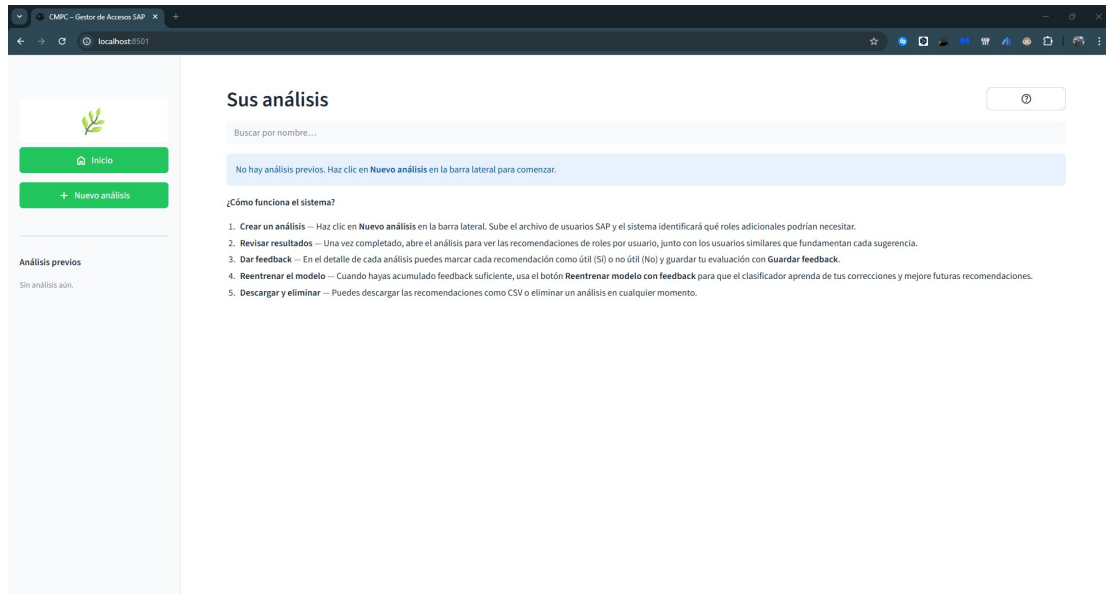
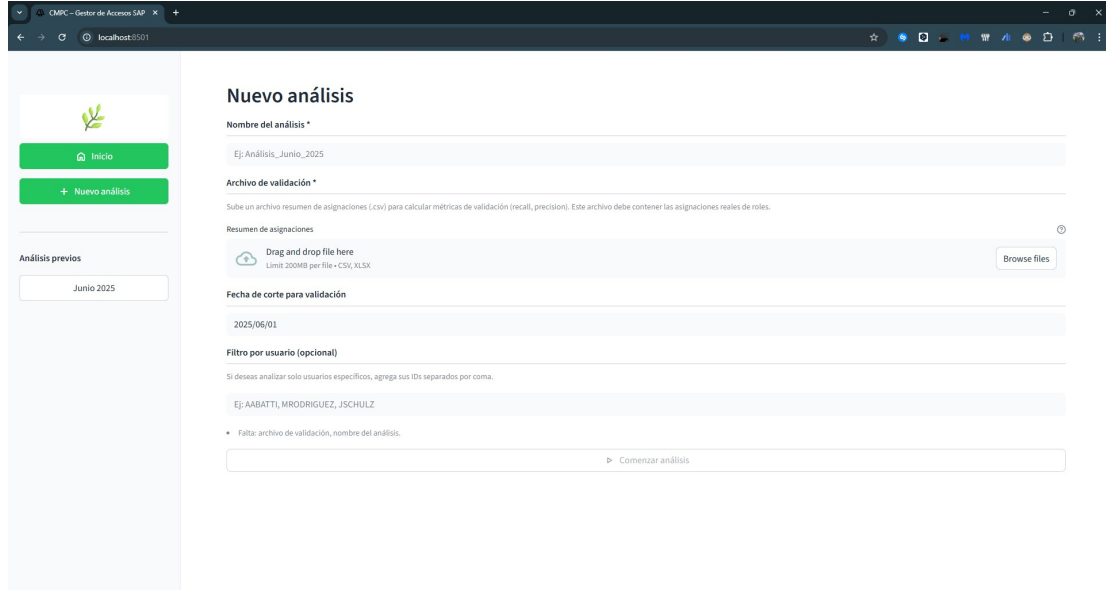


Figura 4.1: Vista de inicio del sistema con guía de uso para nuevos usuarios.

Formulario de nuevo análisis La Figura 4.2 presenta el formulario de creación de un nuevo análisis. El usuario ingresa un nombre identificador, carga el archivo de resumen de asignaciones en formato CSV o XLSX, define una fecha de corte para la validación y, opcionalmente, filtra el procesamiento a un subconjunto de usuarios mediante sus IDs. El sistema valida los campos obligatorios antes de habilitar el botón de inicio, previniendo ejecuciones con datos incompletos.



CMPC - Gestor de Accesos SAP

localhost:5501

Nuevo análisis

Nombre del análisis *

Ej: Análisis_Junio_2025

Archivo de validación *

Sube un archivo resumen de asignaciones (.csv) para calcular métricas de validación (recall, precision). Este archivo debe contener las asignaciones reales de roles.

Resumen de asignaciones

Drag and drop file here
Limit: 200MB per file • CSV, XLSX

Browse files

Fecha de corte para validación

2025/06/01

Filtro por usuario (opcional)

Si deseas analizar solo usuarios específicos, agrega sus IDs separados por coma.

Ej: AABATTI, MRODRIGUEZ, JSCHULZ

Falta: archivo de validación, nombre del análisis.

Comenzar análisis

Inicio

+ Nuevo análisis

Análisis previos

Junio 2025

Figura 4.2: Formulario de creación de nuevo análisis con validación de campos obligatorios.

Gestión de análisis previos La Figura 4.3 muestra la vista de historial de análisis, donde se listan los análisis completados con su fecha de creación y estado. Desde esta vista el equipo puede acceder al detalle de cada análisis, descargar las recomendaciones en formato CSV o eliminar un análisis. Adicionalmente, el botón *Reentrenar modelo con feedback* permite a un administrador iniciar manualmente un ciclo de reentrenamiento asistido a partir del feedback acumulado, incorporando las etiquetas validadas al conjunto de entrenamiento del clasificador.

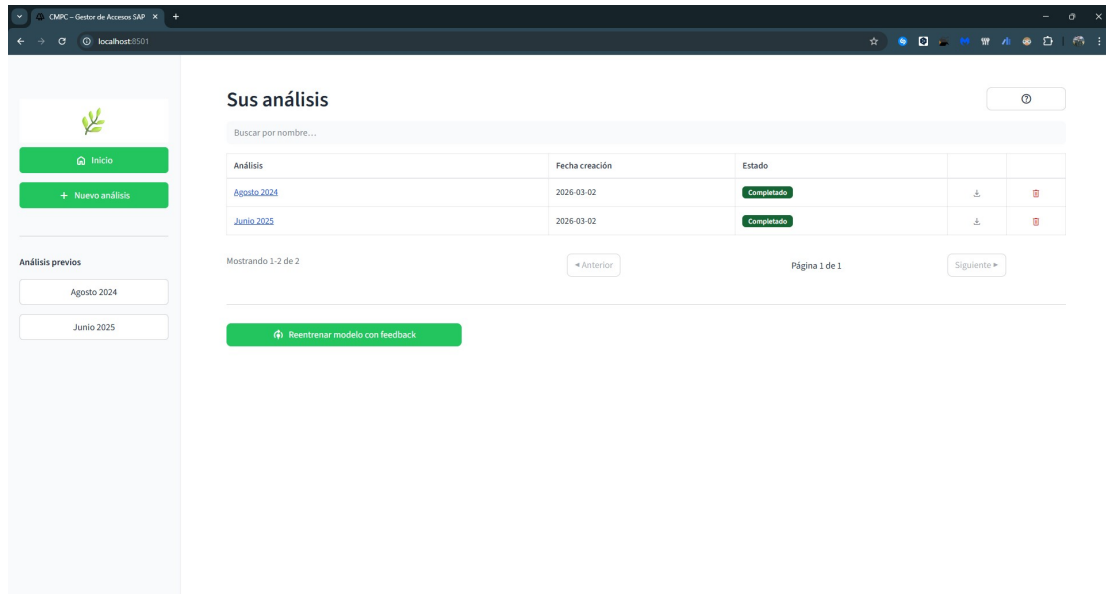


Figura 4.3: Vista de historial de análisis con opciones de descarga y eliminación.

Resumen del análisis La Figura 4.4 presenta la vista de resumen del análisis *Junio 2025*, ejecutado sobre los datos reales de la organización. El sistema procesó **1.041 usuarios** y generó **10.351 recomendaciones de roles**, mostrando en la tabla inferior el detalle por usuario con su función, departamento y cantidad de roles actuales. Esta vista permite al equipo identificar rápidamente qué usuarios concentran mayor cantidad de roles y priorizar la revisión de sus recomendaciones.



Figura 4.4: Vista de revisión del análisis (1/3): Muestra datos generales de la recomendación

Vista de recomendaciones por usuario Las Figuras 4.5 y 4.6 muestran la vista de detalle del análisis, donde las recomendaciones se presentan agrupadas por usuario en un acordeón expandible que indica el nombre de usuario, su función y departamento, y la cantidad de roles sugeridos. En la parte superior se registra el progreso del feedback: al momento de la evaluación, **253 de las 10.351 recomendaciones** habían sido validadas automáticamente contra el archivo de resumen (2,4 %), lo que evidencia el registro progresivo de retroalimentación acumulada disponible para futuras iteraciones asistidas del modelo. En la parte inferior se ubican los botones de acción principales: *Guardar feedback*, *Eliminar análisis* y *Descargar recomendaciones (CSV)*.

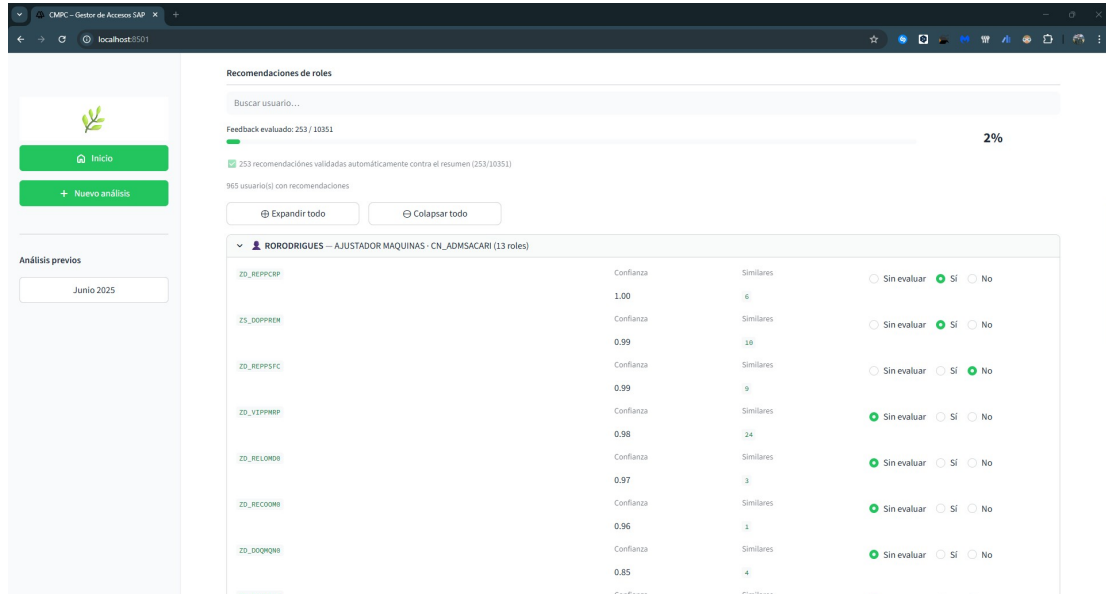


Figura 4.5: Vista de revisión del análisis (2/3): Muestra barra de progreso de feedback y roles recomendados.

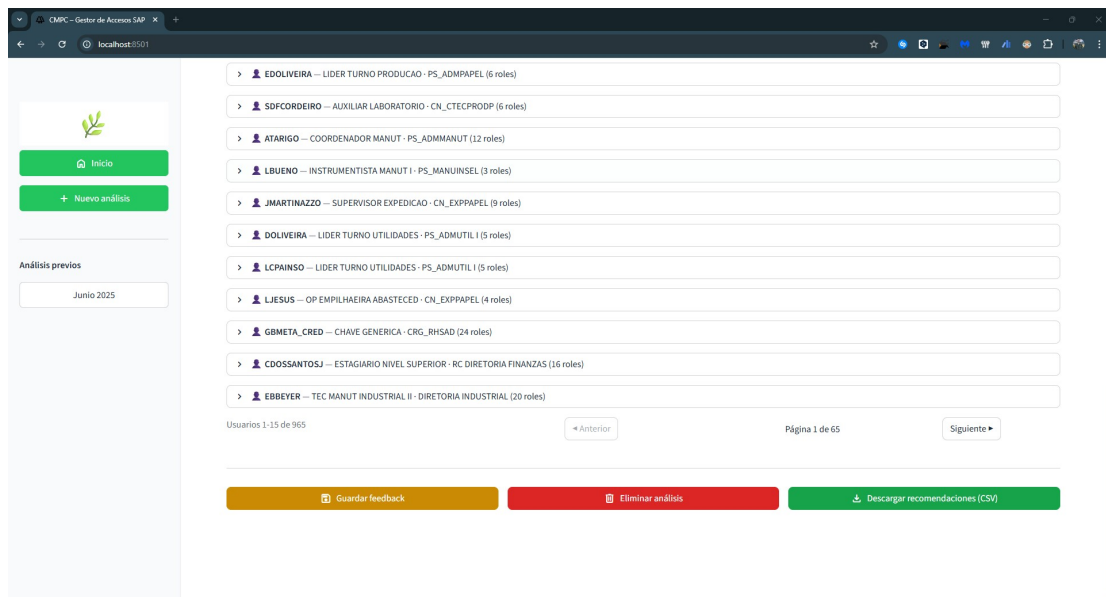


Figura 4.6: Vista de revisión del análisis (3/3): Incluye botones de acción para guardar feedback, eliminar recomendación o descargar la recomendación en formato .csv .

4.2. Tiempos de completitud de tareas

La Figura 4.7 resume los tiempos de completitud (CT_{min} , expresados en minutos) por tarea y participante, registrados durante la sesión de prueba. El indicador CT_{min} se define como $CT_{min} = t_{fin}/60$, expresando en minutos el tiempo bruto medido en segundos.

Participante	Rol	Tarea	t_fin_seg	CT_min (=CT_seg/60)	Completa
P001	Experto - Gestor IAM Senior	Tarea 1: Carga de datos y descarga	312	5,2	Sí
		Tarea 2: Revisión historial y feedback	388	6,5	Sí
		Tarea 3: Login y visualización	105	1,8	Sí
P002	Experto - Analista de Seguridad	Tarea 1: Carga de datos y descarga	445	7,4	Sí
		Tarea 2: Revisión historial y feedback	530	8,8	Sí
		Tarea 3: Login y visualización	130	2,2	Sí
P003	No especializado - Usuario general	Tarea 3: Login y visualización	712	11,9	Sí
				CT_min_T1	6,3
				CT_min_T2	7,7
				CT_min_T3	5,3

Figura 4.7: Tiempos de completitud de tareas por participante.

Todos los participantes completaron las tareas asignadas según el protocolo establecido. Los expertos P001 y P002 realizaron las tres tareas correspondientes a su perfil, mientras que P003 únicamente ejecutó la Tarea 3, conforme al guion para participante no especializado. El mayor tiempo de completitud correspondió a P003 en la Tarea 3 (712 segundos, $CT_{min} = 11,9$ min), resultado esperable dado que carecía de experiencia previa con el sistema y con el dominio de gestión de accesos SAP. Entre los expertos, la Tarea 2 (revisión de historial y retroalimentación) fue la más demandante: P001 la completó en 388 segundos ($CT_{min} = 6,5$ min) y P002 en 530 segundos ($CT_{min} = 8,8$ min), lo que sugiere que el flujo de navegación hacia el historial y los controles de feedback presentan mayor fricción que las demás tareas. La Tarea 3 fue la más ágil para los expertos (P001: 105 s, $CT_{min} = 1,8$ min; P002: 130 s, $CT_{min} = 2,2$ min), evidenciando que el flujo de login y navegación básica del panel resulta intuitivo para usuarios con experiencia en herramientas digitales. Al consolidar los tiempos por tarea, los promedios de CT_{min} fueron: Tarea 1 = 6,3 min, Tarea 2 = 7,7 min y Tarea 3 = 5,3 min (incluyendo a P003).

4.3. Resultados ASQ (*After-Scenario Questionnaire*)

La Figura 4.8 presenta los resultados del cuestionario ASQ aplicado tras cada tarea. Desarrollado por Lewis (1991), el instrumento evalúa tres dimensiones mediante ítems Likert de 1 a 7 (1 = Totalmente en desacuerdo, 7 = Totalmente de acuerdo): facilidad percibida para completar la tarea, adecuación del tiempo requerido y suficiencia del soporte e información disponibles. Se reporta el promedio aritmético de los tres ítems por escenario y participante.

Participante	Rol	Tarea	Facilidad (1-7)	Tiempo (1-7)	Soporte (1-7)	Promedio ASQ
P001	Experto - Gestor IAM Senior	Tarea 1	6,0	6,0	7,0	6,3
P001	Experto - Gestor IAM Senior	Tarea 2	7,0	7,0	6,0	6,7
P001	Experto - Gestor IAM Senior	Tarea 3	7,0	6,0	7,0	6,7
P002	Experto - Analista de Seguridad	Tarea 1	5,0	6,0	6,0	5,7
P002	Experto - Analista de Seguridad	Tarea 2	6,0	7,0	7,0	6,7
P002	Experto - Analista de Seguridad	Tarea 3	6,0	6,0	6,0	6,0
P003	No especializado - Usuario general	Tarea 3	4,0	3,0	5,0	4,0
Total						6,0

Figura 4.8: Resultados del cuestionario ASQ por participante y tarea (escala 1–7).

Los resultados muestran una satisfacción post-tarea diferenciada según el perfil de cada participante. P001 obtuvo promedios ASQ de 6,3, 6,7 y 6,7 para T1, T2 y T3 respectivamente, reflejando una percepción consistentemente alta en facilidad, tiempo y soporte a lo largo de todas las tareas. P002 registró promedios de 5,7, 6,7 y 6,0, con una valoración levemente inferior en T1, lo que puede asociarse al mayor tiempo que este participante requirió para completar la carga y procesamiento de archivos. P003 obtuvo un promedio ASQ de 4,0 en la Tarea 3, resultado coherente con el mayor tiempo de ejecución y con la ausencia de familiaridad previa con el dominio.

El promedio general de todos los participantes y tareas fue de 6,0 sobre 7, lo que según Lewis (1991) corresponde a un nivel de satisfacción post-tarea elevado. Destaca que la dimensión de *tiempo percibido* presentó la mayor variabilidad entre participantes, lo que sugiere que optimizar la velocidad de respuesta del sistema durante tareas de

mayor complejidad — especialmente la Tarea 2 — podría incrementar la satisfacción percibida de manera relevante.

4.4. Resultados SUS (*System Usability Scale*)

La Figura 4.9 muestra los resultados del cuestionario SUS aplicado al término de cada sesión. El instrumento, propuesto por Brooke (1996), consta de 10 ítems con escala Likert de 1 a 5 (ítems alternados positivos y negativos) y produce una puntuación final transformada al rango 0–100. Un puntaje inferior a 70 se considera por debajo del umbral de aceptabilidad, entre 70 y 79,9 se interpreta como *Aceptable*, y valores ≥ 80 corresponden a una usabilidad *Buena a Excelente* (Bangor, Kortum, & Miller, 2009).

Participante_ID	Rol	SUS_1	SUS_2	SUS_3	SUS_4	SUS_5	SUS_6	SUS_7	SUS_8	SUS_9	SUS_10	SUS_Score (0-100)	Interpretación
P001	Experto - Gestor IAM Senior	5	2	5	2	4	2	5	2	4	2	82,5	Excelente
P002	Experto - Analista de Seguridad	4	2	5	3	4	2	4	2	5	3	75	Aceptable
P003	No especializado - Usuario general	4	3	4	2	5	2	4	3	4	2	72,5	Aceptable

Figura 4.9: Resultados del cuestionario SUS por participante (escala 0–100).

Los puntajes SUS obtenidos fueron: P001 = 82,5 (*Excelente*), P002 = 75,0 (*Aceptable*) y P003 = 72,5 (*Aceptable*). Los tres participantes evaluaron el sistema por encima del umbral mínimo de aceptabilidad (≥ 70), lo que constituye un resultado positivo para un prototipo en etapa de validación temprana (Bangor, Kortum, & Miller, 2009). El puntaje más alto corresponde a P001, el experto con mayor dominio del área IAM, lo que es congruente con su menor tiempo de completitud en todas las tareas y con sus altos puntajes ASQ.

El promedio grupal fue de 76,7 puntos, situando al sistema en la categoría *Aceptable* (Bangor, Kortum, & Miller, 2009). La diferencia de 10 puntos entre P001 y P003 es atribuible principalmente a la complejidad conceptual del dominio de gestión de roles SAP, que resulta ajena a un usuario general, más que a dificultades intrínsecas de la interfaz; esto es consistente con el hecho de que P003 reconoció el propósito del sistema correctamente durante la entrevista, aunque con mayor esfuerzo de interpretación.

4.5. Síntesis de indicadores de usabilidad

La Tabla 4.1 consolida los indicadores clave por participante.

Tabla 4.1: Indicadores de usabilidad por participante

Part.	Rol	ASQ prom.	SUS (0–100)	Interpretación SUS
P001	Experto – Gestor IAM Senior	6,6	82,5	Excelente
P002	Experto – Analista de Seguridad	6,1	75,0	Aceptable
P003	No especializado – Usuario general	4,0	72,5	Aceptable
Promedio general^a		6,0	76,7	Aceptable

^a Promedio calculado sobre las 7 observaciones tarea-participante individuales (no como media de medias por participante).

4.6. Respuestas a preguntas abiertas

Al finalizar cada sesión se realizó una entrevista semiestructurada. A continuación se sintetizan las respuestas recabadas, organizadas por perfil de participante.

4.6.1. Participantes expertos (P001 y P002)

¿Utiliza habitualmente herramientas digitales para gestión de accesos o roles en SAP? Ambos participantes respondieron afirmativamente. P001 indicó utilizarlas de manera cotidiana en la gestión del ciclo de vida de identidades, mientras que P002 señaló que su contacto con herramientas digitales de gestión de accesos es frecuente, principalmente a través de módulos internos de SAP, sin experiencia previa con sistemas de recomendación automatizados.

¿Qué fue lo que más le facilitó el uso del sistema durante las tareas? P001 destacó la claridad en la distribución del panel principal y la estructura secuencial del flujo de carga de archivos, que le permitió completar la Tarea 1 sin necesidad de instrucción adicional. P002 valoró la visualización tabular del historial de recomendaciones con filtros disponibles, lo que facilitó la navegación durante la Tarea 2.

¿Qué aspectos le resultaron confusos o podrían mejorar? P001 señaló que los mensajes de estado durante el procesamiento del archivo CSV no entregaban información suficiente sobre el progreso, generando incertidumbre respecto a si el sistema estaba operando correctamente. P002 indicó que los controles de retroalimentación (aprobación/rechazo de recomendaciones) no eran visualmente prominentes, lo que le demandó tiempo adicional para identificarlos durante la Tarea 2. Ambos expertos coincidieron en que la incorporación de una barra de progreso explícita durante la generación de recomendaciones mejoraría de forma relevante la experiencia de uso.

¿Las recomendaciones generadas le parecieron comprensibles y justificadas? P001 las evaluó positivamente, señalando que los roles sugeridos eran coherentes con el cargo de los trabajadores y que la lógica de similitud con pares del mismo cargo y sucursal resultaba intuitiva para el equipo. P002 las consideró aceptables, aunque indicó que la ausencia de un indicador de confianza o puntuación de similitud visible junto a cada recomendación dificultaba tomar decisiones informadas al momento de registrar el feedback; recomendó incorporar dicho indicador en versiones futuras del sistema.

¿Estaría dispuesto/a a utilizar este sistema en su trabajo cotidiano? Ambos expertos manifestaron disposición positiva. P001 señaló que el sistema podría reducir de forma significativa la carga operativa del equipo, especialmente en periodos de alta demanda de solicitudes de acceso. P002 indicó que lo utilizaría de manera complementaria al proceso manual durante una fase inicial, hasta verificar que las recomendaciones

mantengan un nivel de precisión adecuado en el contexto real de la organización.

4.6.2. Participante no especializado (P003)

¿Qué tan seguido utiliza aplicaciones web en su trabajo? P003 indicó utilizar aplicaciones web con frecuencia en su trabajo, principalmente herramientas de ofimática en línea y plataformas de gestión interna, sin experiencia específica en sistemas de gestión de accesos o roles SAP.

Al ver el panel principal, ¿qué creyó que hacía el sistema? P003 describió el sistema como “una herramienta para administrar permisos o accesos de personas dentro de un programa”, lo que refleja una comprensión general correcta del propósito del sistema sin haber recibido instrucciones previas sobre el dominio. Este resultado sugiere que los elementos visuales del panel principal comunican de forma adecuada el propósito del sistema incluso a usuarios no especializados.

¿Qué elementos le resultaron más intuitivos? P003 identificó el formulario de login y la barra de navegación lateral como los elementos más intuitivos, señalando que siguen convenciones ampliamente extendidas en aplicaciones web. La distribución del contenido en tarjetas resumen en el panel principal también fue valorada positivamente.

¿Qué cambiaría para que sea más fácil de entender? P003 sugirió incorporar textos de ayuda o *tooltips* contextuales en las visualizaciones del panel, dado que algunos indicadores no eran autoexplicativos sin conocimiento previo del dominio de gestión de roles. Adicionalmente, recomendó reducir la densidad de información en la vista principal, destacando los indicadores más relevantes y relegando los detalles técnicos a vistas secundarias o paneles desplegados.

4.7. Comparación de tiempos de procesamiento AS-IS vs. TO-BE

Con el objetivo de cuantificar el impacto del sistema propuesto en la eficiencia operativa del equipo de gestión de accesos, se compararon los tiempos de procesamiento del escenario actual (AS-IS) con los del escenario asistido por el software (TO-BE), siguiendo la metodología descrita en la Tabla 3.3.

El escenario AS-IS corresponde al proceso manual actual, en el cual el equipo de gestión de accesos analiza y resuelve cada solicitud de asignación de roles individualmente. Según la información entregada por la empresa, el tiempo promedio requerido para procesar manualmente una solicitud es de $T_{AS-IS} = 20$ minutos por usuario. El escenario TO-BE corresponde al sistema propuesto, que es capaz de procesar un lote de 1.000 usuarios en un tiempo total de $T_{TO-BE} = 5$ minutos, equivalente a un tiempo promedio de $T_{TO-BE}/1,000 = 0,005$ minutos por usuario.

La Tabla 4.2 presenta los indicadores derivados de esta comparación.

Tabla 4.2: Resultados de la comparación AS-IS vs. TO-BE

Indicador	AS-IS (manual)	TO-BE (software)
Tiempo total para 1.000 usuarios (min)	$20 \times 1,000 = 20,000$	5
Tiempo promedio por usuario (min)	20	0,005
Ahorro por usuario (min)	$\Delta T = 20 - 0,005 \approx 19,995$	
Ahorro total para 1.000 usuarios (min)	$\Delta T_{total} = 19,995 \times 1,000 \approx 19,995$	
Reducción porcentual	$\% \approx \left(1 - \frac{0,005}{20}\right) \times 100 \approx 99,97 \%$	

Los resultados muestran que el sistema propuesto reduce el tiempo promedio de procesamiento por usuario desde 20 minutos en el proceso manual a sólo 0,005 minutos por usuario con el software, lo que representa un ahorro aproximado de 20 minu-



tos por solicitud. Para un lote de 1.000 usuarios, el ahorro total alcanza alrededor de 19.995 minutos, es decir, más de 330 horas de trabajo del equipo de gestión de accesos. En términos relativos, esto se traduce en una reducción de tiempo cercana al 99,97 % respecto al proceso AS-IS, evidenciando un impacto significativo de la automatización en la carga operativa del equipo.

5. Análisis y discusión

Este capítulo interpreta los resultados obtenidos en la evaluación de usabilidad y en la comparación de tiempos de procesamiento, los contrasta con el marco teórico revisado, e identifica las limitaciones del estudio y las oportunidades de mejora para versiones futuras del sistema.

5.1. Desempeño en tareas y carga temporal

Los tiempos de completitud observados reflejan diferencias coherentes con el nivel de experiencia de cada participante y con la complejidad intrínseca de cada tarea. La Tarea 2 (revisión de historial y retroalimentación) fue la más demandante para ambos expertos — P001: 6,5 min; P002: 8,8 min —, mientras que la Tarea 3 (login y visualización) resultó la más ágil entre los expertos (P001: 1,8 min; P002: 2,2 min), lo que sugiere que los flujos de autenticación y navegación principal se encuentran correctamente alineados con las convenciones de diseño conocidas por usuarios digitalmente activos.

El tiempo de 11,9 min registrado por P003 en la Tarea 3 es atribuible principalmente a la distancia conceptual entre el dominio de gestión de roles SAP y la experiencia previa del usuario general, más que a una deficiencia intrínseca de la interfaz. Cuando el dominio conceptual es ajeno al usuario, incluso interfaces bien diseñadas requieren mayor tiempo de exploración y aprendizaje. En consecuencia, la brecha observada entre P003 y los expertos en la misma tarea no constituye un fallo de usabilidad estructural, sino una manifestación esperada del perfil del usuario objetivo.

El promedio de CT_{min} por tarea consolidado muestra que la Tarea 2 es la más demandante con 7,7 min (par de expertos), seguida de la Tarea 1 con 6,3 min, y la Tarea 3 con 5,3 min al incluir a P003. Que la Tarea 2 concentre el mayor esfuerzo temporal es coherente con su naturaleza: requiere navegar hacia una sección no inmediatamente vi-

sible, identificar controles de retroalimentación de baja prominencia visual y ejecutar al menos tres decisiones de aprobación/rechazo documentadas. La diferencia entre P001 (6,5 min) y P002 (8,8 min) en esta tarea puede relacionarse con la mayor familiaridad de P001 con flujos de revisión de historial en herramientas IAM similares, mientras que P002 requirió tiempo adicional para localizar los controles de feedback, tal como reportó durante la entrevista.

5.2. Análisis de la satisfacción post-tarea (ASQ)

Los promedios ASQ obtenidos — P001: 6,6; P002: 6,1; P003: 4,0; promedio general: 6,0 sobre 7 — indican niveles de satisfacción post-tarea elevados para los expertos y aceptables para el usuario general. Puntuaciones superiores a 5,5 sobre 7 corresponden a percepciones de facilidad y suficiencia de soporte claramente favorables. El resultado de P003 (4,0) se sitúa en la zona neutra-positiva de la escala, lo que, considerando la ausencia total de experiencia previa con el dominio, puede interpretarse como un indicador alentador de la accesibilidad general de la interfaz.

La mayor variabilidad entre participantes se concentró en la dimensión de *tiempo percibido*, especialmente en la Tarea 2. Esto guarda coherencia con la observación cualitativa de que los controles de retroalimentación (aprobación/rechazo de recomendaciones) no resultaban visualmente prominentes para P002. Esta fricción de descubrimiento incrementa el tiempo de ejecución percibido y, por extensión, penaliza la dimensión de adecuación temporal del instrumento ASQ. Incorporar señales visuales de mayor jerarquía sobre dichos controles — por ejemplo, mediante botones con iconografía diferenciada y ubicación fija en la fila de la tabla de recomendaciones — representaría una mejora directa sobre esta dimensión.

5.3. Análisis de la usabilidad percibida global (SUS)

El promedio grupal SUS de 76,7 puntos ubica al sistema en la categoría *Aceptable* según la escala de interpretación estándar, con P001 alcanzando la categoría *Excelente* (82,5) y P002 y P003 situándose en *Aceptable* (75,0 y 72,5, respectivamente). Que los tres participantes superen el umbral mínimo de aceptabilidad (≥ 70) en una evaluación sobre un prototipo es un resultado positivo, habida cuenta de que los prototipos en etapa de validación temprana suelen registrar puntuaciones SUS inferiores a las versiones maduras del producto.

La diferencia de 10 puntos entre P001 y P003 no refleja, en términos estrictos de diseño de interfaz, una brecha de usabilidad intrínseca: ambos participantes reconocieron correctamente el propósito general del sistema durante la entrevista. La diferencia responde, más bien, a la mediación del conocimiento de dominio en la percepción de control y competencia al usar el sistema; es decir, un usuario que comprende el dominio IAM procesa con mayor fluidez la semántica de los elementos de la interfaz, lo que reduce el tiempo de completitud y, en consecuencia, eleva la percepción de facilidad de uso.

El puntaje de P002 (75,0) resulta levemente inferior al de P001 pese a compartir un perfil experto; esto es coherente con los comentarios cualitativos de P002, quien reportó dificultades específicas en la identificación de los controles de feedback y en la ausencia de indicadores de confianza visibles junto a las recomendaciones. Estas observaciones señalan que la interpretabilidad de las recomendaciones debe trasladarse al diseño concreto de la interfaz, materializándose en indicadores de similitud o puntuaciones de confianza visibles por fila.

5.4. Triangulación con los hallazgos cualitativos

Las entrevistas semiestructuradas permiten triangular y enriquecer los resultados cuantitativos. Ambos expertos reconocieron el valor del sistema para su trabajo coti-

diano y expresaron disposición de adopción, lo que constituye un indicador cualitativo favorable de intención de uso del prototipo. P001 enfatizó el potencial del sistema para reducir la carga operativa en periodos de alta demanda de solicitudes de acceso; este hallazgo es consistente con el objetivo específico de automatizar la detección de discrepancias en perfiles de cargo.

La sugerencia convergente de ambos expertos sobre la necesidad de una barra de progreso explícita durante la generación de recomendaciones es coherente con el principio de visibilidad del estado del sistema, considerado uno de los más críticos para sistemas que ejecutan operaciones de duración variable. Su corrección tiene un costo de implementación relativamente bajo frente al beneficio percibido.

Por su parte, P003 identificó correctamente el propósito general del sistema como una herramienta de administración de permisos o accesos, lo que valida que los elementos de la arquitectura de información del panel principal — tarjetas resumen, barra de navegación lateral y etiquetas textuales — comunican de forma adecuada el contexto funcional del sistema incluso sin orientación previa. No obstante, la sugerencia de incorporar *tooltips* contextuales en las visualizaciones más técnicas del panel apunta a una oportunidad de mejora orientada a ampliar el espectro de usuarios potenciales del sistema.

5.5. Impacto operativo: análisis de la comparación AS-IS vs. TO-BE

La comparación de tiempos de procesamiento entre el escenario manual (AS-IS) y el asistido por software (TO-BE) evidencia un impacto operativo de gran magnitud. La reducción del tiempo promedio por usuario desde 20 minutos a 0,005 minutos — una mejora relativa del 99,97 % — sitúa al sistema en la categoría de automatización de alto impacto, liberando al equipo de gestión de accesos de la carga operativa asociada al análisis manual de discrepancias en asignaciones de roles.

Es necesario, no obstante, contextualizar este indicador. El tiempo AS-IS de 20 min/usuario proviene de una estimación proporcionada por la empresa y puede estar sujeto a variabilidad según la complejidad del cargo, la cantidad de roles asignados al trabajador y la disponibilidad de documentación del proceso. El tiempo TO-BE fue medido en condiciones de laboratorio sobre el prototipo; en producción, factores como la latencia de red, el volumen de datos reales y la carga concurrente podrían modificar este valor. En consecuencia, la reducción del 99,97 % debe interpretarse como un límite superior del beneficio esperado bajo condiciones ideales.

Adicionalmente, la comparación AS-IS / TO-BE considera únicamente la dimensión de tiempo de procesamiento. Un análisis de impacto más completo debería incorporar métricas de calidad de la decisión — precisión, *recall* y F1 del clasificador sobre datos reales de producción — para verificar que la reducción de tiempo no se produce a expensas de la pertinencia de las recomendaciones generadas. La validación del modelo con umbral $\tau = 0,7$ prioriza la precisión sobre el *recall*, lo que implica que el sistema es conservador al sugerir roles: minimiza las recomendaciones de falsos positivos a costa de posibles omisiones, calibración apropiada en el contexto de seguridad IAM donde asignar un permiso incorrecto tiene consecuencias más graves que omitir una sugerencia legítima.

5.6. Limitaciones del estudio

Los resultados descritos deben interpretarse considerando las siguientes limitaciones:

1. **Tamaño de la muestra:** la evaluación se realizó con tres participantes, lo que es suficiente para una prueba de usabilidad percibida orientada a detectar problemas mayores de diseño, pero no permite generalizar los puntajes SUS y ASQ a la población de usuarios potenciales del sistema. Para una evaluación de percepción de mayor escala representativa se requiere ampliar la muestra a un mínimo de 8–

10 participantes con perfiles similares.

2. **Condiciones de prueba controladas:** las sesiones se realizaron con datos sintéticos de prueba en un entorno de laboratorio, no con los datos reales del sistema SAP de la organización. El desempeño percibido y los tiempos de tarea pueden diferir cuando el usuario opera con datos propios en un contexto de trabajo real.
3. **Prototipo de alta fidelidad:** el sistema evaluado corresponde a un prototipo funcional de alta fidelidad. Algunas limitaciones de interfaz identificadas — ausencia de barra de progreso, baja prominencia de controles de feedback, falta de indicadores de confianza por recomendación — son propias de esta etapa y no de la arquitectura subyacente. Su corrección es factible sin modificar la lógica central del sistema.
4. **Validez externa del modelo:** el clasificador fue entrenado con datos históricos de la organización en un contexto específico de cargo y sucursal. Su desempeño en otros entornos empresariales o estructuras organizacionales distintas requerirá reentrenamiento con datos propios y recalibración del umbral τ .
5. **Ausencia de grupo de control:** la comparación AS-IS / TO-BE se realizó con tiempos estimados para el escenario manual, no con mediciones directas sobre el proceso actual de la organización. Un diseño de evaluación de impacto riguroso requeriría medir los tiempos reales del equipo en el proceso AS-IS y compararlos con los tiempos TO-BE obtenidos sobre los mismos casos, en condiciones equivalentes.

6. Conclusión y trabajo futuro

6.1. Conclusiones

El sistema desarrollado demuestra que es técnicamente factible aplicar similitud de Jaccard y clasificación supervisada con CatBoost para identificar y validar roles SAP faltantes, operando sobre datos categóricos binarios sin transformaciones adicionales. El umbral $\tau = 0,7$ garantiza recomendaciones conservadoras, coherentes con el principio de menor privilegio que motiva el trabajo.

La evaluación de usabilidad confirmó que la interfaz es apropiada para el usuario objetivo: los tres participantes completaron sus tareas sin asistencia, con un promedio SUS de 76,7 puntos sobre 100 (*Acceptable*) y ASQ de 6,0 sobre 7. El impacto operativo proyectado es igualmente relevante: el sistema reduce el tiempo de procesamiento desde 20 minutos por usuario en el proceso manual a 0,005 minutos en lotes de 1,000 trabajadores — una reducción del 99,97 % —, liberando al equipo de una carga operativa significativa.

6.2. Trabajo futuro

Las mejoras más inmediatas recaen en la interfaz: incorporar barra de progreso durante el procesamiento, aumentar la prominencia de los controles de retroalimentación y añadir un indicador de similitud visible por recomendación. En el plano del modelo, la extensión más relevante es automatizar el ciclo de reentrenamiento a partir del feedback acumulado — actualmente asistido — y enriquecer la representación de usuarios con atributos contextuales mediante similitud ponderada. Finalmente, un despliegue piloto en el entorno productivo de la organización, con medición de métricas reales de proceso y seguimiento del comportamiento del modelo en producción, permitirá validar el ahorro operativo proyectado y sentar las bases para una versión productiva del sistema.

Referencias

- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of Usability Studies*, 4(3), 114–123. [uxpajournal.org/\[...\]/](http://uxpajournal.org/[...]/)
- Brooke, J. (1996). SUS: A quick and dirty usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & I. L. McClelland (Eds.), *Usability evaluation in industry* (pp. 207–212). CRC Press. ISBN 978-0-7484-0228-4.
- Dunn, J. C. (1974). Well-separated clusters and optimal fuzzy partitions. *Journal of Cybernetics*, 4(1), 95–104. <https://doi.org/10.1080/01969727408546059>
- Ester, M., Kriegel, H.-P., Sander, J., & Xu, X. (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 226–231). <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3001460.3001507>
- Frank, M., Buhmann, J. M., & Basin, D. (2013). Role mining with probabilistic models. *ACM Transactions on Information and System Security*, 15(4), Article 15. <https://arxiv.org/abs/1212.4775>
- Guha, S., Rastogi, R., & Shim, K. (2000). ROCK: A robust clustering algorithm for categorical attributes. *Information Systems*, 25(5), 345–366. [https://doi.org/10.1016/S0306-4379\(00\)00022-3](https://doi.org/10.1016/S0306-4379(00)00022-3)
- Holzinger, A., Carrington, A., & Müller, H. (2020). Measuring the quality of explanations: The system causability scale (SCS). *KI – Künstliche Intelligenz*, 34(2), 193–198. <https://doi.org/10.1007/s13218-020-00636-z>
- Huang, Z. (1998). Extensions to the k -means algorithm for clustering large data sets with categorical values. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 2(3), 283–304. <https://doi.org/10.1023/A:1009769707641>

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 9241-11:2018 Ergonomics of human–system interaction—Part 11: Usability: Definitions and concepts*. <https://www.iso.org/standard/63500.html>

Kazdagli, M., Tiwari, M., & Kumar, A. (2022). Using constraint programming and graph representation learning for generating interpretable cloud security policies. In *Proceedings of the 31st International Joint Conference on Artificial Intelligence* (pp. 1850–1858). <https://doi.org/10.24963/ijcai.2022/257>

Lewis, J. R. (1991). An after-scenario questionnaire for usability studies: Psychometric evaluation over three trials. *ACM SIGCHI Bulletin*, 23(4), 78–81. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/122672.122692>

Lu, H., Vaidya, J., & Atluri, V. (2014). An optimization framework for role mining. *Journal of Computer Security*, 22(1), 1–31. <https://doi.org/10.3233/JCS-140486>

Nielsen, J. (1994). Heuristic evaluation. In J. Nielsen & R. L. Mack (Eds.), *Usability inspection methods* (pp. 25–62). Wiley. ISBN 978-0-471-59850-2.

Nielsen, J., & Molich, R. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 249–256). <https://doi.org/10.1145/97243.97281>

Niculescu-Mizil, A., & Caruana, R. (2005). Predicting good probabilities with supervised learning. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Machine Learning* (pp. 625–632). <https://doi.org/10.1145/1102351.1102430>

Prokhorenkova, L., Gusev, G., Vorobev, A., Dorogush, A. V., & Gulin, A. (2018). CatBoost: Unbiased boosting with categorical features. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, 31 (pp. 6639–6649). <https://proceedings.neurips.cc/paper/2018/hash/14491b756b3a51daac41c24863285549-Abstract.html>

Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). “Why should I trust you?” Explaining the predictions of any classifier. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD Inter-*

- national Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 1135–1144).
<https://doi.org/10.1145/2939672.2939778>
- Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20, 53–65.
[https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7)
- Saito, T., & Rehmsmeier, M. (2015). The precision–recall plot is more informative than the ROC plot when evaluating binary classifiers on imbalanced datasets. *PLOS ONE*, 10(3), e0118432. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118432>
- Saltzer, J. H., & Schroeder, M. D. (1975). The protection of information in computer systems. *Proceedings of the IEEE*, 63(9), 1278–1308. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1451869>
- Yang, Y., Li, J., Zhang, T., Chen, L., Huang, G., & Lv, Z. (2025). IRMAOC: An interpretable role mining algorithm based on overlapping clustering. *Cybersecurity*, 8, 54. <https://link.springer.com/article/10.1186/s42400-024-00348-z>
- Zhao, Y., Qi, J., Liu, Q., & Zhang, R. (2021). WGCN: Graph convolutional networks with weighted structural features. In *Proceedings of the 44th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval* (pp. 1723–1727). <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3404835.3462834>