



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**FACULTAD DE INFORMÁTICA, CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA**

CARRERA DE SOFTWARE

**Desarrollo de un aplicativo para automatizar el cálculo de aranceles de
carreras universitarias**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN SOFTWARE**

AUTOR: LUIS MIGUEL ALVAREZ CASTILLO

DIRECTOR: ING. SANDRO IVAN ORTIZ GONZÁLEZ, MGS.

CUENCA - ECUADOR

2026

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**FACULTAD DE INFORMÁTICA, CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA**

CARRERA DE SOFTWARE

**Desarrollo de un aplicativo para automatizar el cálculo de aranceles de
carreras universitarias**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN SOFTWARE**

AUTOR: LUIS MIGUEL ALVAREZ CASTILLO

DIRECTOR: ING. SANDRO IVAN ORTIZ GONZÁLEZ, MGS.

CUENCA – ECUADOR

2026

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



Universidad
Católica
de Cuenca

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Luis Miguel Alvarez Castillo portador(a) de la cédula de ciudadanía N.º 1150040812. Declaro ser el autor de la obra: “Desarrollo de un aplicativo para automatizar el cálculo de aranceles de carreras universitarias”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 27 de julio de 2026

F: 

Luis Miguel Alvarez Castillo

C.I. 1150040812

 Universidad Católica de Cuenca	CERTIFICADO DEL TUTOR
---	------------------------------

Yo, Sandro Iván Ortiz González, certifico que el presente trabajo de investigación / artículo científico, con el título Desarrollo de un aplicativo para automatizar el cálculo de aranceles de carreras universitarias, fue desarrollado por Luis Miguel Alvarez Castillo, con número de cédula 1150040812, bajo mi supervisión.

F: 

Sandro Iván Ortiz González

C.I. 0102902574

Dedicatoria

Primeramente, dedico este trabajo a Dios, por haber guiado cada uno de mis pasos y permitirme alcanzar esta importante meta junto a mi familia.

A mis padres, David Ángel Alvarez Acaro y Janet Paulina Castillo Abendaño, por su lucha, sacrificio y esfuerzo diario para hacer posible la culminación de mis estudios. Gracias por su amor incondicional, por sus consejos, por sus palabras de aliento y por brindarme la fortaleza necesaria para seguir adelante, incluso a pesar de la distancia. Este logro también les pertenece.

A mis abuelitos, Julia Matilde Abendaño Gonzales y Medardo Castillo, quienes con su ejemplo, valores y enseñanzas han contribuido a mi formación como persona y como futuro profesional.

A las manos trabajadoras de mis padres y de mis abuelitos, que se quedaron sin huellas y llenas de marcas, testimonio eterno de su sacrificio y amor por mí.

A mi hermano, Francisco David Alvarez Castillo, por su apoyo constante, su guía, sus ánimos y su confianza en cada etapa de mi vida. Gracias por acompañarme y motivarme siempre a dar lo mejor de mí.

A mi hermana, Verónica Paulina Alvarez Castillo, por ser la luz durante toda mi vida y ser esa fuerza en recaídas.

A mis abuelitos, tías, tíos primos, sobrinos, y a toda mi familia, quienes de una u otra manera me brindaron su apoyo, confianza y cariño para continuar persiguiendo mis metas y no rendirme ante las dificultades.

Finalmente, a la Universidad Católica de Cuenca, por brindarme el espacio para formarme profesionalmente y por contar con docentes que compartieron generosamente su experiencia y conocimientos durante mi formación académica.

A todas las personas que, de una u otra forma, me acompañaron y contribuyeron a este camino, les dedico este logro con profundo agradecimiento. Los amo a todos y gracias por formar parte de una gran etapa de mi vida.

“Los que son amados no pueden morir, porque amor significa inmortalidad.”

~ Emily Dickinson

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios, a la Virgen del Cisne y a la vida por brindarme salud; la gloria es para ellos. Gracias a su bendición, tanto yo como mi familia hemos podido disfrutar cada etapa de estudio en mi carrera universitaria.

A mis padres, **Janet y David**, por ser ese pilar fundamental en toda mi formación y mi motor diario durante toda mi vida. A mis hermanos, por estar siempre a mi lado, cuidándome y siendo mi fuerza constante.

Agradezco también a toda mi familia: mis tías, tíos y abuelitos, en especial a **Matilde y Medardo**, por estar siempre presentes para sus hijas y nietos.

A mi tutor, **Sandro Iván Ortiz Gonzalez**, por su guía y recomendaciones a lo largo de la realización de mi tesis y del prototipo, despejando siempre mis dudas académicas y siendo un pilar fundamental en mi formación profesional.

A mis compañeros, por escucharme y brindarme su apoyo, y a mis amigos, por guiarme y buscar siempre lo mejor para mí.

Finalmente, agradezco a todas las personas que han estado en mi camino para alcanzar este logro, ya sea con un consejo, una ayuda o el simple hecho de escucharme.

Resumen

Este trabajo de titulación desarrolla un aplicativo digital que automatiza el cálculo de aranceles para nuevas carreras universitarias, a partir de la lógica académica y financiera de la matriz institucional de referencia. Hoy ese cálculo depende de una hoja de Excel con decenas de variables interconectadas: proyección de estudiantes, tasas de retención y graduación, horas docentes, inversión inicial, costos operativos, ingresos y flujo de fondos, del cual se derivan el Valor Actual Neto, la Tasa Interna de Retorno y el punto de equilibrio. Su manejo manual concentra el proceso en pocos usuarios con dominio técnico de la matriz, expone las fórmulas a errores de referencia y no deja rastro de quién modificó qué. El aplicativo propuesto responde a esos tres problemas: se construye con Clean Architecture, que separa la lógica de negocio de la infraestructura y la presentación; incorpora control de acceso por roles y almacenamiento centralizado; y genera reportes técnicos para cinco direcciones institucionales, entre ellas la Financiera y la de Gestión Docente. El desarrollo se organiza con Kanban, de modo que los módulos académicos, financieros y de reportes avancen de forma incremental. La validación se plantea comparando los resultados del sistema con la matriz Excel institucional mediante error relativo, tiempo de cálculo, número de inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad. Esa comparación permitirá establecer si la automatización reduce los errores operativos y acorta el tiempo de procesamiento frente al método actual.

Palabras clave: *automatización, aranceles universitarios, clean architecture, matriz financiera, trazabilidad.*

Abstract

This thesis develops a digital application that automates the calculation of tuition for new university degree programs, based on the academic and financial logic of the institutional reference matrix. Currently, this calculation relies on an Excel spreadsheet with dozens of interconnected variables—including student projections, retention and graduation rates, teaching hours, initial investment, operating costs, revenue, and cash flow—from which the Net Present Value, Internal Rate of Return, and break-even point are derived. Manual handling concentrates the process in the hands of a few users with technical expertise in the matrix, exposes the formulas to reference errors, and leaves no record of who modified what. The proposed application addresses these three issues: it is built using Clean Architecture, which separates business logic from infrastructure and presentation; it incorporates role-based access control and centralized storage; and it generates technical reports for five institutional departments, including the Finance Department and the Academic Management Department. Development is organized using Kanban, so that the academic, financial, and reporting modules progress incrementally. Validation is based on comparing the system's results with the institutional Excel matrix using relative error, calculation time, number of inconsistencies, traceability, and reproducibility as evaluation metrics. This comparison will determine whether automation reduces operational errors and shortens processing time compared to the current method.

Keywords: *automation, university tuition, clean architecture, financial matrix, traceability.*

Índice

Capítulo 1.....	1
Introducción.....	1
1.1 Delimitación del tema	1
1.2 Problema de investigación	2
1.3 Justificación de la investigación.....	2
1.4 Objetivos generales y específicos	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Preguntas científicas.....	4
1.5.1 Pregunta general.....	4
1.5.2 Preguntas específicas.....	4
1.6 Hipótesis de trabajo.....	5
Capítulo 2.....	6
Marco Teórico y Estado del Arte.....	6
2.1 Fundamentos teóricos del cálculo de aranceles universitarios	6
2.1.1 Aranceles universitarios en la educación superior	6
2.1.2 Regulación de aranceles universitarios en Ecuador	6
2.1.3 Cálculo de aranceles por carrera	7
2.1.4 Variables académicas para la proyección de una nueva carrera.....	9
2.1.5 Retención y graduación estudiantil como indicadores de planificación.....	9
2.1.6 Variables financieras del cálculo de aranceles	10
2.1.7 Evaluación financiera de proyectos educativos.....	11
2.1.8 Indicadores financieros: VAN, TIR y punto de equilibrio	11
2.1.9 Matriz financiera y académica institucional.....	12
2.2 Automatización de procesos administrativos en educación superior	12
2.2.1 Procesos administrativos en instituciones de educación superior	12
2.2.2 Limitaciones de los procesos manuales basados en hojas de cálculo.....	13

2.2.3 Automatización de procesos administrativos	14
2.2.4 Beneficios de la automatización en la toma de decisiones.....	15
2.2.5 Trazabilidad y control de cambios en procesos institucionales.....	15
2.2.6 Métricas para validar la automatización.....	16
2.3 Fundamentos tecnológicos del aplicativo.....	17
2.3.1 Aplicaciones de escritorio para procesos institucionales	17
2.3.2 C# y .NET 8 como plataforma de desarrollo.....	17
2.3.3 WPF para la interfaz gráfica del aplicativo	18
2.3.4 Patrón MVVM en la capa de presentación.....	18
2.3.5 Clean Architecture como base de organización del sistema	19
2.3.6 Patrón de puertos y adaptadores	20
2.3.7 PostgreSQL como sistema de gestión de base de datos	21
2.3.8 Supabase como servicio de alojamiento y gestión de datos	21
2.3.9 Control de acceso por roles	22
2.3.10 Trazabilidad de cambios en el aplicativo	23
2.3.11 Arquitectura modular del aplicativo.....	23
2.4 Estado del arte	25
Capítulo 3.....	28
Marco Metodológico	28
3.1 Introducción	28
3.2 Enfoque metodológico	28
3.3 Diseño, tipo y alcance de la investigación	33
3.3.1 Diseño de la investigación.....	34
3.3.2 Tipo de investigación	34
3.3.3 Alcance de la investigación.....	35
3.4 Población y muestra	37
3.5 Análisis funcional y casos de uso por módulo	39
3.5.1 Módulo de análisis financiero	40

3.5.2 Módulo de costos y gastos	46
3.5.3 Módulo de demanda e ingresos	49
3.5.4 Módulo de estudiantes	57
3.5.5 Módulo de financiamiento, balance y reportes.....	61
3.5.6 Módulo de inflación	66
3.5.7 Módulo de mantenimiento, capital de trabajo e inversión inicial	70
3.5.8 Módulo de recursos físicos y depreciación	75
3.5.9 Módulo de sueldos y planta central.....	80
3.5.10 Módulo de tasa de retención.....	85
3.5.11 Módulo de usuarios	89
3.6 Diseño de la base de datos.....	94
3.7 Diseño arquitectónico y estructura del aplicativo	99
3.8 Diagramas de clases de dominio	104
3.9 Diagramas de secuencia del proceso de cálculo.....	111
3.10 Descripción de los módulos implementados	116
3.11 Validación del aplicativo.....	122
3.12 Consolidado de requerimientos funcionales y no funcionales	129
3.12.1 Requerimientos funcionales	129
3.12.2 Requerimientos no funcionales	132
3.12.3 Matriz de trazabilidad.....	134
3.12.4 Evidencias técnicas de cumplimiento.....	135
3.13 Análisis de riesgos del aplicativo	142
Capítulo 4.....	144
Análisis de Resultados.....	144
4.1 Introducción	144
4.2 Preparación y protocolo de ejecución de la validación	144
4.3 Configuración común y variables de entrada por caso.....	145
4.3.1 Divergencia metodológica aceptada: distribución de tipos de docente	147

4.4 Resultados del caso base (histórico).....	147
4.5 Resultados del caso optimista	149
4.6 Resultados del caso crítico	150
4.7 Resultados por métrica de validación.....	152
4.7.1 Error relativo	153
4.7.2 Tiempo de cálculo	154
4.7.3 Número de inconsistencias.....	155
4.7.4 Trazabilidad de cambios.....	155
4.7.5 Reproducibilidad	156
4.7.6 Evidencia de los reportes generados por dirección	156
Discusión de los resultados	159
Limitaciones del estudio y del desarrollo	162
Conclusiones y Recomendaciones	164
Conclusiones	164
Recomendaciones.....	166
Bibliografía	167
Anexos	¡Error! Marcador no definido.
Anexo A. Diagramas complementarios de clases de dominio	173
Anexo B. Diagramas complementarios de secuencia	184
Anexo C. Capturas complementarias de módulos implementados	194
Anexo D. Entrevistas	203

Índice de tablas

Tabla 1 Componentes generales del cálculo de aranceles por carrera	8
Tabla 2 Variables financieras consideradas en el cálculo de aranceles	10
Tabla 3 Comparación entre matriz Excel y aplicativo institucional automatizado	14
Tabla 4 Métricas de validación del aplicativo automatizado	16
Tabla 5 Aplicación del patrón MVVM en el aplicativo	19
Tabla 6 Capas de Clean Architecture aplicadas al aplicativo	20
Tabla 7 Relación entre roles institucionales y funciones del aplicativo	22
Tabla 8 Organización modular del aplicativo	24
Tabla 9 Matriz comparativa	26
Tabla 10 Comparación de marcos de gestión de proyectos de software	29
Tabla 11 Matriz de Organización por Fases	31
Tabla 12 Relación entre fases metodológicas y objetivos específicos	33
Tabla 13 Clasificación metodológica de la investigación	35
Tabla 14 Alcance incluido y fuera del alcance del proyecto	36
Tabla 15 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	38
Tabla 16 Casos de uso del módulo de análisis financiero	40
Tabla 17 Casos de uso del módulo de costos y gastos	47
Tabla 18 Casos de uso del módulo de demanda e ingresos	49
Tabla 19 Resumen funcional del caso de uso CU-DI-04	54
Tabla 20 Resumen funcional del caso de uso CU-DI-05	56
Tabla 21 Casos de uso del módulo de estudiantes	57
Tabla 22 Casos de uso del módulo de financiamiento, balance y reportes	62
Tabla 23 Casos de uso del módulo de inflación	66
Tabla 24 Casos de uso del módulo de mantenimiento, capital de trabajo e inversión inicial	70
Tabla 25 Casos de uso del módulo de recursos físicos y depreciación	75
Tabla 26 Casos de uso del módulo de sueldos y planta central	80
Tabla 27 Casos de uso del módulo de tasa de retención	86
Tabla 28 Casos de uso del módulo de usuarios	89
Tabla 29 Resumen funcional del caso de uso CU-US-04	93
Tabla 30 Entidades principales del modelo de base de datos	96
Tabla 31 Capas arquitectónicas del aplicativo	100
Tabla 32 Organización de módulos dentro de la arquitectura	102
Tabla 33 Clases principales del dominio del aplicativo	105
Tabla 34 Etapas del proceso de cálculo dentro del aplicativo	112

Tabla 35 <i>Módulos implementados en el aplicativo</i>	116
Tabla 36 <i>Escenarios de prueba para la validación del aplicativo</i>	123
Tabla 37 <i>Métricas de validación del aplicativo</i>	124
Tabla 38 <i>Datos que se registrarán durante la validación</i>	126
Tabla 39 <i>Requerimientos funcionales del sistema</i>	129
Tabla 40 <i>Requerimientos no funcionales del sistema</i>	133
Tabla 41 <i>Matriz de trazabilidad de requerimientos</i>	134
Tabla 42 <i>Resultados de la suite de pruebas automatizadas (verificación del RNF-02)</i>	139
Tabla 43 <i>Cobertura de pruebas de los módulos financieros núcleo</i>	140
Tabla 44 <i>Matriz de riesgos del aplicativo</i>	142
Tabla 45 <i>Parámetros constantes de la validación</i>	145
Tabla 46 <i>Variables de entrada por caso</i>	146
Tabla 47 <i>Comparación de salidas críticas — caso base (histórico)</i>	147
Tabla 48 <i>Tiempos de cálculo — caso base (histórico)</i>	148
Tabla 49 <i>Comparación de salidas críticas — caso optimista</i>	149
Tabla 50 <i>Tiempos de cálculo — caso optimista</i>	150
Tabla 51 <i>Comparación de salidas críticas — caso crítico</i>	150
Tabla 52 <i>Tiempos de cálculo — caso crítico</i>	151
Tabla 53 <i>Consolidado de los tres casos</i>	152

Índice de figuras

Figura 1 Tablero Kanban inicial del proyecto en Jira Software.....	30
Figura 2 Diagrama de caso de uso CU-AF-01: Generar estado de Pérdidas y Ganancias	42
Figura 3 Diagrama de caso de uso CU-AF-02: Generar Flujo de Fondos Neto	42
Figura 4 Diagrama de caso de uso CU-AF-03: Configurar TMR y calcular TIR y VAN	43
Figura 5 Diagrama de caso de uso CU-AF-04: Ajustar arancel automáticamente	44
Figura 6 Diagrama de caso de uso CU-AF-05: Calcular Punto de Equilibrio	44
Figura 7 Diagrama de caso de uso CU-AF-06: Calcular Período de Recuperación de Inversión	45
Figura 8 Diagrama de caso de uso CU-AF-07: Mostrar dashboard financiero consolidado	46
Figura 9 Diagrama de caso de uso CU-CG-01: Consolidar costos y gastos por período con imprevistos y ponderaciones	48
Figura 10 Diagrama de caso de uso CU-CG-02: Calcular costo de la carrera y arancel propuesto	49
Figura 11 Diagrama de caso de uso CU-DI-01: Configurar arancel y matrícula.....	50
Figura 12 Diagrama de caso de uso CU-DI-02: Calcular ingresos proyectados, becas y seguro estudiantil	51
Figura 13 Diagrama de caso de uso CU-DI-03: Distribuir presupuestos institucionales.....	52
Figura 14 Diagrama de caso de uso CU-DI-04: Registrar materiales y calcular costos con inflación.....	53
Figura 15 Diagrama de caso de uso CU-DI-05: Consolidar demanda proyectada	55
Figura 16 Diagrama de caso de uso CU-ES-01: Generar paralelos y proyectar estudiantes por ciclo, año y período.....	58
Figura 17 Diagrama de caso de uso CU-ES-02: Configurar y calcular horas de docencia por semana y por paralelos	60
Figura 18 Diagrama de caso de uso CU-ES-03: Calcular docentes requeridos y desglosar por tipo	61
Figura 19 Diagrama de caso de uso CU-FB-01: Configurar financiamiento y generar amortización de préstamo	63
Figura 20 Diagrama de caso de uso CU-FB-02: Generar Balance Proyectado	63
Figura 21 Diagrama de caso de uso CU-FB-03: Generar informe CES y reportes por dirección	64
Figura 22 Diagrama de caso de uso CU-FB-04: Exportar resultados de cualquier módulo del sistema.....	65
Figura 23 Diagrama de caso de uso CU-IN-01: Registrar datos históricos de inflación anual.	67

Figura 24 Diagrama de caso de uso CU-IN-02: Editar datos de inflación registrados	68
Figura 25 Diagrama de caso de uso CU-IN-03: Proyectar inflación para años futuros.....	69
Figura 26 Diagrama de caso de uso CU-MI-01: Registrar y calcular costos de servicios básicos y mantenimiento	72
Figura 27 Diagrama de caso de uso CU-MI-02: Calcular capital de trabajo.....	73
Figura 28 Diagrama de caso de uso CU-MI-03: Calcular inversión inicial total	73
Figura 29 Diagrama de caso de uso CU-MI-04: Registrar activos diferidos y calcular amortización.....	75
Figura 30 Diagrama de caso de uso CU-RD-01: Registrar activos fijos y proyectar necesidades futuras	77
Figura 31 Diagrama de caso de uso CU-RD-02: Calcular costos monetarios de necesidades proyectadas con inflación	78
Figura 32 Diagrama de caso de uso CU-RD-03: Calcular depreciación semestral por activo .	79
Figura 33 Diagrama de caso de uso CU-RD-04: Calcular depreciación acumulada por período	79
Figura 34 Diagrama de caso de uso CU-SP-01: Configurar cargos, sueldos y beneficios sociales de la facultad.....	81
Figura 35 Diagrama de caso de uso CU-SP-02: Calcular sueldos semestrales de la facultad con peso e inflación	82
Figura 36 Diagrama de caso de uso CU-SP-03: Calcular costos de planta central atribuidos a la carrera.....	83
Figura 37 Diagrama de caso de uso CU-SP-04: Consolidar costos totales de personal por período	84
Figura 38 Diagrama de caso de uso CU-TR-01: Configurar, registrar y validar tasas de retención y graduación.....	87
Figura 39 Diagrama de caso de uso CU-TR-02: Generar simulación por ciclo y calcular indicadores	87
Figura 40 Diagrama de caso de uso CU-TR-03: Consultar y editar configuración guardada ..	88
Figura 41 Diagrama de caso de uso CU-US-01: Gestionar cuentas de usuario	91
Figura 42 Diagrama de caso de uso CU-US-02: Autenticar usuarios y gestionar sesiones.....	92
Figura 43 Diagrama de caso de uso CU-US-03: Gestionar roles, permisos y restringir acceso	93
Figura 44 Diagrama ER del aplicativo para automatizar el cálculo de aranceles universitarios	97
Figura 45 Persistencia académico-operativa.....	97
Figura 46 Costos operativos, activos y gastos.	98
Figura 47 Persistencia financiera, análisis y financiamiento.	99

Figura 48 <i>Arquitectura general del aplicativo</i>	103
Figura 49 <i>Diagrama de clases del dominio académico</i>	106
Figura 50 <i>Diagrama de clases del dominio financiero-estratégico</i>	108
Figura 51 <i>Diagrama de secuencia del ajuste automático de arancel mediante bisección VAN=0</i>	113
Figura 52 <i>Diagrama de secuencia de generación de balance y reporte CES</i>	114
Figura 53 <i>Captura del módulo administrativo de gestión de usuarios</i>	118
Figura 54 <i>Captura del módulo académico de proyección de estudiantes o tasa de retención</i> .	119
Figura 55 <i>Captura del módulo financiero de costos, gastos o inversión</i>	120
Figura 56 <i>Captura del módulo de análisis financiero</i>	121
Figura 57 <i>Captura del módulo de financiamiento, balance y reportes</i>	122
Figura 58 <i>Proceso de validación del aplicativo</i>	127
Figura 59 <i>Mensaje genérico de inicio de sesión ante credenciales inválidas</i>	135
Figura 60 <i>Almacenamiento de contraseñas mediante hash BCrypt</i>	136
Figura 61 <i>Tabla de auditoría con registros reales de operaciones</i>	136
Figura 62 <i>Vista del sistema para el rol Administrador</i>	137
Figura 63 <i>Vista del sistema para el rol Analista</i>	137
Figura 64 <i>Vista del sistema para el rol Visualizador</i>	138
Figura 65 <i>Control de acceso por permisos de módulo</i>	138
Figura 66 <i>Configuración de permisos por usuario y módulo</i>	139
Figura 67 <i>Salida de la suite de pruebas automatizadas</i>	141
Figura 68 <i>Resumen de la suite: 152 pruebas ejecutadas sin errores</i>	141
Figura 69 <i>Captura del Plan de Validación</i>	142
Figura 70 <i>Error relativo promedio por caso frente al umbral de aceptación</i>	153
Figura 71 <i>Tiempo de cálculo promedio por caso: matriz Excel frente al aplicativo</i>	153
Figura 72 <i>Vista general del módulo de reportes</i>	156
Figura 73 <i>Selección de dirección y escenario en el módulo de reportes</i>	157
Figura 74 <i>Exportación de reportes en formato PDF y XLSX</i>	157
Figura 75 <i>Reporte de la Dirección Financiera: inversión, capital de trabajo e indicadores</i> ...	158
Figura 76 <i>Reporte Completo en formato XLSX</i>	158

Capítulo 1

Introducción

1.1 Delimitación del tema

La presente investigación se circunscribe bajo los siguientes criterios de alcance y restricción tecnológica:

- **Delimitación de Contenido (Alcance Funcional)**

El proyecto se enfoca exclusivamente en la automatización del modelo de costos contenido en la matriz institucional de referencia para la creación de nuevas ofertas académicas. El aplicativo se limitará al procesamiento de variables de entrada (académicas, administrativas y macroeconómicas), la ejecución del motor de reglas de negocio para el cálculo de aranceles y la generación de indicadores de viabilidad (VAN, TIR y Punto de Equilibrio). No se incluyen módulos de contabilidad real, pasarelas de pago, facturación electrónica ni gestión de nómina institucional.

- **Delimitación Tecnológica**

El aplicativo fue desarrollado como una solución de escritorio utilizando C# con .NET 8 y WPF para la capa de presentación, aplicando el patrón MVVM y principios de Clean Architecture para separar la lógica de negocio, los casos de uso, la infraestructura y la interfaz de usuario. La persistencia de datos se gestiona mediante PostgreSQL alojado en Supabase. Esto centraliza en una sola base la información de usuarios, parámetros, cálculos, historial y resultados generados.

- **Delimitación Espacial y Poblacional**

El estudio toma como unidad de análisis la lógica financiera de una Institución de Educación Superior (IES) regulada por el Consejo de Educación Superior (CES). Los datos para las pruebas provienen de proyecciones históricas reales de programas de grado y posgrado de la institución objeto de estudio.

- **Delimitación Temporal**

La investigación abarca el periodo comprendido entre primer semestre del 2023 y segundo semestre del 2026, abarcando las fases de levantamiento de requerimientos, diseño de la arquitectura modular, implementación del motor de cálculo y validación de resultados.

1.2 Problema de investigación

En la actualidad, el cálculo de aranceles para nuevas carreras universitarias se apoya en una matriz Excel de múltiples hojas interrelacionadas, en la que se registran y procesan variables académicas y financieras necesarias para justificar técnicamente los valores propuestos ante el Consejo de Educación Superior.

Dentro de esa matriz se incluyen elementos como la tasa de retención y graduación, la proyección de estudiantes por ciclo y período, la estimación de horas docentes, los recursos físicos requeridos, la inversión inicial, los costos operativos, los gastos administrativos y de personal, los ingresos proyectados, el flujo de fondos y los indicadores financieros como TIR, VAN y punto de equilibrio.

Sin embargo, el uso de este mecanismo presenta varias limitaciones:

Primero, existe una alta dependencia del conocimiento técnico de las personas que dominan la estructura del archivo, lo que dificulta su actualización y uso por otros responsables institucionales.

Segundo, el manejo manual de fórmulas, referencias entre hojas y edición de parámetros incrementa el riesgo de errores que pueden afectar la validez de los resultados obtenidos.

Tercero, la matriz no ofrece una trazabilidad robusta de cambios, por lo que resulta complejo identificar qué usuario modificó cierta información, cuándo lo hizo y bajo qué criterio.

En consecuencia, se plantea la necesidad de desarrollar un aplicativo institucional que automatice la lógica de cálculo de aranceles, centralice la información y permita generar resultados confiables para apoyar la planificación académica y financiera.

Estas limitaciones no solo afectan la eficiencia operativa del proceso, sino también la confiabilidad de la información utilizada para sustentar decisiones institucionales relacionadas con la apertura de nuevas carreras. Por ello, resulta necesario transformar la matriz actual en un aplicativo institucional que automatice la lógica de cálculo, reduzca la manipulación manual y permita conservar evidencia de los cambios realizados durante el proceso.

1.3 Justificación de la investigación

El aplicativo desarrollado se justifica por la necesidad de optimizar un proceso institucional que actualmente depende de una matriz Excel compleja y de manipulación manual. La automatización permitirá reducir tiempos operativos, minimizar errores de cálculo y mejorar la consistencia de la información generada en torno a estudiantes, docentes, recursos, costos e indicadores financieros.

Desde el punto de vista institucional, la propuesta aporta una herramienta que podrá ser utilizada en un entorno local de la universidad por las distintas direcciones involucradas en el proceso de apertura de nuevas carreras. La Dirección Financiera utilizará el sistema para generar proyecciones de flujo de fondos necesarios para el normal funcionamiento de la carrera. La Dirección de Gestión Docente accederá a los parámetros académicos y reglamentarios que debe cumplir la nueva carrera según la normativa vigente. La Dirección Administrativa podrá planificar las posibles construcciones requeridas, como aulas, laboratorios o edificios. La Dirección de Estrategia Comercial y Comunicacional dispondrá de la información necesaria para elaborar su plan de mercadeo y comercialización, de modo que la institución comunique oportunamente la apertura de la nueva carrera. Finalmente, la Dirección de Talento Humano contará con los datos necesarios para gestionar la contratación de docentes y personal administrativo requeridos para el funcionamiento de la carrera. Además, al estructurar el proceso en módulos y reglas de negocio claras, se fortalece la trazabilidad y se facilita la validación de resultados frente a la matriz de referencia.

La adopción de Clean Architecture como enfoque de diseño permite mantener la lógica institucional de cálculo de aranceles independiente de tecnologías de interfaz y base de datos, lo que facilita la validación, la trazabilidad de cambios y la evolución futura del sistema hacia otros entornos institucionales [1].

Desde la perspectiva académica, el proyecto es pertinente para la carrera de Ingeniería en Software porque involucra análisis de requerimientos, diseño arquitectónico, desarrollo modular, persistencia de datos, validación funcional y uso de una metodología ágil adaptada al trabajo individual. Asimismo, el sistema se alinea con la necesidad de respetar lineamientos normativos ya considerados en el proyecto, como las proporciones de docentes y otros criterios asociados a LOES y CES [2].

Desde el punto de vista técnico, el proyecto se justifica porque convierte una lógica institucional dispersa en una solución organizada por módulos funcionales. Esta modularización separa los procesos académicos, financieros, administrativos y de reportes; con ello se simplifican el mantenimiento del sistema, la validación de resultados y la incorporación futura de mejoras. Además, el uso de C#/.NET 8, WPF, PostgreSQL/Supabase, Clean Architecture y MVVM permite construir una aplicación de escritorio mantenible, con separación de responsabilidades y persistencia centralizada de la información.

1.4 Objetivos generales y específicos

1.4.1 Objetivo general

Automatizar el cálculo de aranceles de nuevas carreras universitarias mediante el desarrollo de un aplicativo digital modular que integre variables académicas, administrativas y financieras, con el fin de mejorar la precisión, reducir el tiempo de procesamiento y fortalecer la trazabilidad de la información institucional.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar la estructura funcional y lógica de la matriz institucional utilizada para el cálculo de aranceles de nuevas carreras universitarias.
2. Identificar y consolidar los requerimientos funcionales y no funcionales de los módulos que conforman el aplicativo.
3. Diseñar la arquitectura del sistema con acceso controlado por roles, separación de responsabilidades y almacenamiento centralizado de la información.
4. Implementar los módulos académicos, financieros, administrativos y de reportes necesarios para automatizar el cálculo de aranceles universitarios.
5. Generar reportes técnicos dirigidos a las direcciones institucionales involucradas en el proceso de apertura de carreras.
6. Validar los resultados del aplicativo mediante comparación con la matriz Excel de referencia, utilizando como métricas el error relativo, tiempo de cálculo, número de inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad.

1.5 Preguntas científicas

1.5.1 Pregunta general

¿En qué medida la implementación de un aplicativo institucional basado en Clean Architecture permite automatizar el cálculo de aranceles de nuevas carreras universitarias, mejorar la precisión de los resultados, reducir el tiempo de procesamiento y fortalecer la trazabilidad de cambios, en comparación con la matriz Excel institucional utilizada actualmente?

1.5.2 Preguntas específicas

1. ¿De qué manera se analiza la estructura funcional y lógica de la matriz institucional de cálculo de aranceles?
2. ¿De qué manera se identifican y consolidan los requerimientos funcionales de los módulos que conforman el sistema?

3. ¿De qué manera se diseña la arquitectura del sistema con acceso controlado por roles y almacenamiento centralizado de la información?
4. ¿De qué manera se implementan los módulos necesarios para automatizar progresivamente el cálculo académico y financiero?
5. ¿De qué manera se generan reportes técnicos dirigidos a cada dirección institucional involucrada en el proceso de apertura de carreras?
6. ¿De qué manera se validan los resultados del aplicativo mediante comparación con la matriz Excel de referencia, utilizando como métricas el error relativo, tiempo de cálculo, número de inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad?

1.6 Hipótesis de trabajo

Aunque la presente investigación es de tipo aplicado y de enfoque tecnológico, y se desarrolla bajo un diseño no experimental, se formuló una hipótesis de trabajo de carácter descriptivo-comparativo que orientó el diseño de la validación. Esta hipótesis no implica la manipulación experimental de variables, sino la comparación sistemática del comportamiento del proceso manual frente al del aplicativo bajo las mismas condiciones de entrada:

H1: *La implementación del aplicativo institucional reduce el tiempo de cálculo del arancel y el número de inconsistencias operativas respecto del proceso manual basado en la matriz Excel, manteniendo el error relativo de los resultados dentro de la tolerancia institucional del diez por ciento.*

Esta hipótesis se contrasta en el Capítulo 4 mediante la ejecución de tres casos de prueba —base, optimista y crítico— sobre ambos entornos, empleando las métricas de error relativo, tiempo de cálculo, número de inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad definidas en la sección 3.11. Su verificación se retoma explícitamente en la discusión de los resultados.

Capítulo 2

Marco Teórico y Estado del Arte

2.1 Fundamentos teóricos del cálculo de aranceles universitarios

El cálculo de aranceles universitarios constituye un proceso académico-financiero que requiere proyecciones de demanda e indicadores de viabilidad, en línea con la evaluación financiera de proyectos de inversión [6]. En el contexto de una institución de educación superior, este proceso no se limita a establecer un valor económico para una carrera, sino que ayuda a analizar si una nueva oferta académica puede sostenerse en el tiempo, cubrir sus costos operativos, responder a exigencias regulatorias y generar información útil para la planificación institucional.

2.1.1 Aranceles universitarios en la educación superior

El arancel universitario puede entenderse como el valor económico que una institución de educación superior establece por la prestación de servicios académicos asociados a una carrera o programa. Este valor comprende los costos necesarios para sostener la oferta académica, incluyendo recursos docentes, infraestructura, equipamiento, servicios administrativos, inversión institucional y demás gastos de operación [3].

En educación superior, el arancel no debe concebirse únicamente como un valor de cobro al estudiante, sino como el resultado de una planificación académica y financiera [21]. Su definición requiere considerar la sostenibilidad de la carrera, la disponibilidad de recursos institucionales y la capacidad de la universidad para garantizar condiciones adecuadas de formación. Desde esta perspectiva, el arancel forma parte de un modelo de gestión que articula la dimensión académica con la dimensión económica de la institución.

En el caso de nuevas carreras universitarias, el cálculo del arancel adquiere mayor relevancia porque se realiza antes de que el programa se encuentre plenamente operativo. Esto implica trabajar con proyecciones de estudiantes, estimaciones de docentes, costos esperados, inversión inicial e indicadores financieros que permitan analizar la viabilidad de la oferta académica. Por tanto, el arancel se convierte en un dato estratégico para la toma de decisiones institucionales.

2.1.2 Regulación de aranceles universitarios en Ecuador

En el contexto ecuatoriano, la definición de aranceles universitarios se encuentra vinculada con el marco normativo de la educación superior. La Ley Orgánica de Educación Superior establece criterios generales para el funcionamiento de las instituciones de educación superior, incluyendo

principios relacionados con calidad, pertinencia, igualdad de oportunidades y regulación de los valores económicos asociados a la formación académica [2].

De manera específica, el Reglamento de aranceles, matrículas y derechos en las instituciones de educación superior regula los criterios que deben observar las universidades para establecer valores de matrícula, aranceles y otros derechos relacionados con los servicios educativos. Este reglamento plantea que los valores deben guardar relación con costos institucionales, condiciones académicas y criterios técnicos que permitan justificar los montos definidos por la institución [3].

La regulación ecuatoriana obliga a que el cálculo de aranceles no se realice de forma arbitraria, sino conforme a la Ley Orgánica de Educación Superior [2] y al reglamento de aranceles del CES [3]. Por ello, una matriz institucional de cálculo debe integrar información académica, financiera y administrativa que sustente la propuesta de valor económico de una nueva carrera. Esta condición justifica la necesidad de contar con herramientas que reduzcan errores, organicen la información y faciliten la trazabilidad del proceso.

2.1.3 Cálculo de aranceles por carrera

El cálculo de aranceles por carrera es un proceso técnico-financiero mediante el cual se integran variables académicas y financieras para determinar un valor sostenible de arancel [4]. En este proceso intervienen elementos como el número estimado de estudiantes, la tasa de retención, la tasa de graduación, la carga docente, los recursos físicos requeridos, los costos operativos, los gastos administrativos, los ingresos proyectados y los indicadores financieros.

La Escuela Politécnica Nacional [4] plantea que la determinación del costo de aranceles y matrícula requiere una metodología que permita identificar los componentes del costo académico y proyectar los valores necesarios para sostener programas de educación superior. Esta perspectiva resulta relevante para el presente proyecto, debido a que el aplicativo desarrollado automatiza la lógica de una matriz institucional que integra variables semejantes para evaluar nuevas carreras universitarias.

El cálculo por carrera muestra que cada programa académico puede tener condiciones distintas. No todas las carreras requieren la misma cantidad de docentes, laboratorios, equipamiento, aulas, materiales o inversión inicial. Por ello, el sistema debe permitir ingresar parámetros diferenciados y procesarlos de acuerdo con reglas de negocio definidas. Esta necesidad explica la conveniencia de trasladar la lógica de cálculo desde una hoja de cálculo manual hacia un aplicativo modular, criterio coherente con las metodologías institucionales de costeo por programa [4].

La siguiente tabla resume los principales componentes que intervienen en el cálculo de aranceles por carrera. Su propósito es mostrar que el valor final no depende de una sola variable, sino de la relación entre información académica, costos institucionales e indicadores de viabilidad.

Tabla 1 Componentes generales del cálculo de aranceles por carrera

Componente	Descripción	Relación con el aplicativo
Proyección de estudiantes	Estimación de estudiantes por ciclo o período académico.	Sirve de base para calcular los ingresos esperados y demanda docente.
Retención y graduación	Indicadores que muestran continuidad y culminación estudiantil.	Ajustan la proyección de matrícula durante la carrera.
Carga docente	Horas requeridas para cubrir asignaturas y actividades académicas.	Facilita la estimación del personal docentes y de los costos académicos.
Recursos físicos	Aulas, laboratorios, equipos y espacios requeridos.	Proporciona la información necesaria para los módulos de inversión y costos
Costos y gastos	Valores operativos, administrativos y de funcionamiento.	Se incorporan al cálculo de la sostenibilidad financiera.
Ingresos proyectados	Valores esperados por matrícula, aranceles u otros conceptos.	Se integran al flujo de fondos para el análisis financiero.
Indicadores financieros	VAN, TIR y punto de equilibrio.	Se utilizan para evaluar la viabilidad económica de la carrera.

Nota: Elaboración Propia

Estos componentes constituyen la base conceptual sobre la que se estructura la lógica de cálculo del aplicativo, cuyo desarrollo tecnológico se detalla en la sección 2.3 y cuyo contraste con soluciones similares se presenta en el estado del arte (sección 2.4).

2.1.4 Variables académicas para la proyección de una nueva carrera

Las variables académicas son fundamentales para proyectar el comportamiento de una nueva carrera universitaria. Entre ellas se encuentran el número inicial de estudiantes, la cantidad de períodos o ciclos académicos, la permanencia estudiantil, la graduación, la carga horaria, el número de paralelos, la relación estudiante-docente y el tipo de contratación del personal académico.

Estas variables permiten estimar la demanda de recursos humanos y físicos que tendrá la carrera durante su funcionamiento. Por ejemplo, una mayor proyección de estudiantes puede incrementar los ingresos esperados, pero también puede requerir más docentes, aulas, laboratorios y servicios administrativos. En cambio, una baja tasa de retención puede reducir los ingresos futuros y afectar la sostenibilidad financiera del programa.

En el aplicativo desarrollado, estas variables académicas se procesan como datos de entrada para generar cálculos posteriores. La proyección de estudiantes no se analiza de forma aislada, sino como parte de una cadena de cálculo que impacta la estimación de horas docentes, costos de personal, ingresos por aranceles y resultados financieros.

2.1.5 Retención y graduación estudiantil como indicadores de planificación

La retención y la graduación estudiantil son indicadores relevantes para la planificación académica y financiera de una institución de educación superior. La retención expresa la proporción de estudiantes que continúan sus estudios en períodos posteriores, mientras que la graduación refleja la proporción de estudiantes que culminan el programa académico [5]. Ambos indicadores influyen directamente en la proyección de matrícula, ingresos y demanda de recursos.

Gonçalves, Burch y Batchelor [5] señalan que la retención estudiantil representa un desafío permanente para las instituciones de educación superior, debido a que se relaciona con factores académicos, institucionales y de acompañamiento al estudiante. Desde una perspectiva financiera, la retención también impacta la sostenibilidad de una carrera, ya que la permanencia de los estudiantes permite proyectar ingresos más estables durante el ciclo de vida del programa.

En el cálculo de aranceles, estos indicadores son necesarios porque una carrera no puede proyectarse únicamente con base en el número de estudiantes que ingresan. Es necesario considerar cuántos permanecen, cuántos avanzan y cuántos culminan. De esta forma, la estimación de ingresos y recursos se aproxima mejor al comportamiento esperado del programa.

2.1.6 Variables financieras del cálculo de aranceles

Las variables financieras permiten evaluar si una nueva carrera puede sostenerse económicamente durante su funcionamiento. Estas variables incluyen inversión inicial, recursos físicos, costos docentes, gastos administrativos, costos operativos, ingresos proyectados, flujo de fondos y resultados financieros esperados.

La evaluación financiera de una carrera requiere estimar tanto los ingresos como los egresos. Los ingresos se relacionan principalmente con los valores proyectados por matrícula y aranceles, mientras que los egresos incluyen costos de personal, infraestructura, equipamiento, mantenimiento, servicios administrativos y otros gastos necesarios para la operación académica correspondiente [6].

Lomas Proaño [6] explica que la evaluación financiera de proyectos de inversión se utiliza para analizar la capacidad de una iniciativa para generar beneficios económicos en función de sus costos, ingresos y flujos proyectados. Aunque su estudio se desarrolla en un contexto empresarial, sus fundamentos son aplicables al análisis de nuevas carreras universitarias, ya que estas también requieren estimar inversión, costos, ingresos y sostenibilidad.

La tabla 2 organiza las variables financieras que se consideran en el cálculo de aranceles. Esta clasificación ayuda a entender cómo el aplicativo procesa información económica para generar indicadores de viabilidad.

Tabla 2 Variables financieras consideradas en el cálculo de aranceles

Variable financiera	Función dentro del cálculo	Ejemplo de uso en el aplicativo
Inversión inicial	Estima recursos necesarios antes del inicio de la carrera.	Equipamiento, adecuaciones o infraestructura.
Costos docentes	Calcula valores asociados al personal académico.	Estimación de docentes requeridos y horas asignadas.
Gastos administrativos	Considera costos de gestión y soporte institucional.	Personal administrativo, gestión y servicios internos.
Recursos físicos	Identifica espacios y bienes necesarios.	Aulas, laboratorios, equipos y mobiliario.

Ingresos proyectados	Calcula entradas económicas esperadas.	Valores por matrícula y aranceles según estudiantes proyectados.
Flujo de fondos	Organiza ingresos y egresos por período.	Base para calcular VAN y TIR.
Punto de equilibrio	Determina el nivel mínimo para cubrir costos.	Número mínimo de estudiantes o ingresos requeridos.

Nota: Elaboración Propia

2.1.7 Evaluación financiera de proyectos educativos

Una nueva carrera universitaria puede comprenderse como un proyecto educativo que demanda inversión, recursos y planificación [6]. Su apertura implica decisiones institucionales que deben sustentarse en información académica y financiera confiable. Por esta razón, la evaluación financiera es una herramienta necesaria para analizar si la carrera propuesta cuenta con condiciones económicas suficientes para operar de forma sostenible.

En los proyectos educativos, la evaluación financiera, además de medir la rentabilidad, permite valorar la capacidad institucional para sostener docentes, infraestructura, servicios académicos y recursos administrativos durante el desarrollo del programa [36]. En este contexto, los indicadores financieros sirven como apoyo para la planificación institucional y no únicamente como resultados numéricos.

La metodología de costos desarrollada por la Escuela Politécnica Nacional [4] evidencia la necesidad de estructurar el cálculo de aranceles y matrícula mediante componentes identificables, ordenados y técnicamente justificables. Esta idea se relaciona directamente con el aplicativo desarrollado, debido a que el sistema organiza los datos en módulos y automatiza los cálculos necesarios para evaluar nuevas carreras.

2.1.8 Indicadores financieros: VAN, TIR y punto de equilibrio

Los indicadores financieros permiten interpretar los resultados de la evaluación económica de una nueva carrera. En el contexto de esta investigación, se consideran tres indicadores centrales: Valor Actual Neto, Tasa Interna de Retorno y punto de equilibrio.

El Valor Actual Neto permite estimar el valor presente de los flujos futuros generados por el proyecto, considerando una tasa de descuento [36], [6], [4]. Si el VAN es positivo, el proyecto puede interpretarse como financieramente conveniente bajo las condiciones planteadas. La Tasa Interna de Retorno expresa la rentabilidad esperada del proyecto y facilita su comparación con

una tasa mínima aceptable. El punto de equilibrio identifica el nivel mínimo de estudiantes, ingresos o actividad necesario para cubrir los costos del programa [37].

El valor de estos indicadores está en condensar datos dispersos en cifras comparables para la toma de decisiones [36]. En el aplicativo, el VAN, la TIR y el punto de equilibrio se calculan a partir de los datos académicos y financieros ya ingresados en los módulos correspondientes, de modo que la evaluación de viabilidad de una nueva oferta se obtiene del propio sistema y no de un análisis externo.

2.1.9 Matriz financiera y académica institucional

La matriz financiera y académica institucional constituye el instrumento de referencia utilizado para calcular aranceles de nuevas carreras. Generalmente, este tipo de matriz se estructura mediante hojas de cálculo interrelacionadas que contienen parámetros académicos, costos, gastos, ingresos, flujos de fondos e indicadores financieros [7]. Su utilidad radica en concentrar la lógica institucional del cálculo en un solo archivo.

No obstante, cuando una matriz se vuelve compleja, su uso manual puede generar riesgos [24], [25]. Las fórmulas, referencias entre hojas, celdas vinculadas y parámetros editables requieren conocimiento técnico por parte de los usuarios. Además, la modificación de una celda puede afectar resultados posteriores sin que exista un registro claro de quién realizó el cambio, cuándo lo hizo y qué impacto tuvo en el cálculo.

Las hojas de cálculo requieren mecanismos de aseguramiento de calidad, debido a que pueden contener errores estructurales, fórmulas inconsistentes o problemas de mantenimiento [7]. Esta reflexión es especialmente relevante para el presente proyecto, porque la matriz institucional no es un archivo simple de registro, sino una herramienta que sustenta decisiones académicas y financieras.

En este sentido, la automatización de la matriz mediante un aplicativo digital contribuye a conservar la lógica institucional, pero con mayor control sobre los datos, las reglas de cálculo, los permisos de acceso y la trazabilidad de cambios.

2.2 Automatización de procesos administrativos en educación superior

2.2.1 Procesos administrativos en instituciones de educación superior

Las instituciones de educación superior gestionan procesos administrativos complejos, debido a que deben coordinar información académica, financiera, administrativa y normativa [8]. La apertura de una nueva carrera no depende únicamente de una decisión académica; también

requiere evaluar recursos físicos, docentes, inversión, costos, ingresos, estrategias de comunicación, talento humano y sostenibilidad.

La transformación digital en la gestión de instituciones de educación superior implica repensar procesos institucionales, no solo incorporar herramientas tecnológicas. Desde esta perspectiva, digitalizar un proceso como el cálculo de aranceles ayuda a ordenar información que antes podía encontrarse dispersa, mejorar la coordinación entre áreas y fortalecer la capacidad de decisión [8].

En el caso de este proyecto, participan distintas direcciones institucionales, como la Dirección Financiera, Dirección de Gestión Docente, Dirección Administrativa, Dirección de Estrategia Comercial y Comunicacional, y Dirección de Talento Humano. Cada una requiere información distinta, pero todas dependen de una base común de cálculo. Por ello, la automatización transforma un procedimiento manual en un flujo institucional más organizado.

2.2.2 Limitaciones de los procesos manuales basados en hojas de cálculo

Las hojas de cálculo son herramientas ampliamente utilizadas por su flexibilidad convive con una alta incidencia de errores: la investigación documenta tasas de error por celda del 1 % al 6 % [24] y concluye que los errores son prevalentes en hojas de uso operativo [25]. Sin embargo, cuando se emplean para procesos institucionales críticos, pueden presentar limitaciones importantes. Entre ellas se encuentran la dependencia del conocimiento de usuarios específicos, la posibilidad de errores en fórmulas, la dificultad para controlar versiones, la ausencia de permisos diferenciados y la limitada trazabilidad de cambios.

En el cálculo de aranceles universitarios, estas limitaciones pueden afectar la confiabilidad de los resultados. Una fórmula alterada, una referencia mal ubicada o un parámetro ingresado de manera incorrecta puede modificar la proyección de ingresos, el cálculo de docentes, el flujo de fondos o los indicadores financieros [29]. Cuando el archivo no registra de forma clara los cambios realizados, resulta difícil reconstruir el proceso y validar la información.

Poon, Yu y Tse [7] destacan que la calidad de las hojas de cálculo debe evaluarse de manera rigurosa, especialmente cuando estas se utilizan para actividades de análisis, control o toma de decisiones. Esta afirmación respalda la necesidad de automatizar procesos que dependen de matrices complejas, como ocurre en el cálculo institucional de aranceles.

La tabla 3 compara el uso de una matriz Excel frente a un aplicativo institucional automatizado. Su finalidad es mostrar que la automatización, más que un cambio de herramienta, modifica el control del proceso: quién puede editar los datos, qué queda registrado y cómo se verifica la consistencia de los resultados.

Tabla 3 Comparación entre matriz Excel y aplicativo institucional automatizado

Criterio	Matriz Excel institucional	Aplicativo automatizado
Control de fórmulas	Depende de la protección manual de celdas y hojas.	Las reglas se integran en la lógica del sistema.
Trazabilidad	Limitada o dependiente de versiones del archivo.	Puede registrar usuario, fecha, módulo y acción.
Control de acceso	Difícil de segmentar por rol institucional.	Gestiona permisos diferenciados por perfil.
Riesgo de error	Alto cuando hay edición manual de fórmulas o referencias.	Menor, al centralizar reglas y validar entradas.
Mantenimiento	Requiere conocimiento detallado de la matriz.	Se organiza por módulos y capas de software.
Reproducibilidad	Puede variar si se modifican celdas sin control.	Reproduce los cálculos utilizando los mismos datos de entrada.
Reportes	Requiere extracción o edición manual.	Genera reportes por dirección institucional.

Nota: Elaboración Propia

2.2.3 Automatización de procesos administrativos

La automatización de procesos administrativos consiste en utilizar software para ejecutar tareas que antes se realizaban de forma manual, reduciendo tiempos operativos, errores humanos y la dependencia de procedimientos informales. En el contexto de la educación superior, esta automatización puede contribuir a mejorar la calidad de la información institucional y fortalecer la gestión interna, con efectos medidos sobre la eficiencia organizacional [9] y sobre la reducción del tiempo y el incremento de la exactitud en la captura de datos [28].

La automatización de procesos administrativos y la adopción de nuevas tecnologías influyen en la eficiencia organizacional, debido a que permiten optimizar tareas, reducir costos operativos y mejorar la disponibilidad de información. En el ámbito universitario, esta perspectiva resulta aplicable a procesos como el cálculo de aranceles, donde se requiere integrar datos de varias áreas [9].

Kayanja, Kyambade y Kiggundu [10] analizan la transición hacia sistemas automatizados y sin papel en la educación superior, y concluyen que la digitalización mejora la gestión institucional y reduce la dependencia de procedimientos manuales. Este planteamiento guarda relación con el presente proyecto, ya que el aplicativo sustituye un procedimiento basado en hojas de cálculo por una solución estructurada en módulos.

2.2.4 Beneficios de la automatización en la toma de decisiones

La automatización aporta beneficios que van más allá de la reducción de tiempo, la evidencia experimental reporta reducciones del 22 % en el tiempo de procesamiento al sustituir una hoja de cálculo por un sistema, y errores de digitación presentes únicamente en la hoja de cálculo [28]. Cuando un proceso administrativo se automatiza correctamente, la institución puede contar con datos más consistentes, reportes oportunos y mayor control sobre la información utilizada para decidir. En el cálculo de aranceles, esto resulta especialmente importante porque los resultados influyen en la apertura de nuevas carreras y en la planificación de recursos.

La incorporación de tecnologías digitales en la educación universitaria genera oportunidades para mejorar procesos institucionales, aunque también exige una adecuada gestión de los cambios organizacionales. En este sentido, la automatización del cálculo de aranceles no debe verse únicamente como una herramienta técnica, sino como un apoyo a la gestión académica y financiera [11].

El aplicativo desarrollado permite que las áreas institucionales consulten información procesada de acuerdo con su función. Por ejemplo, la Dirección Financiera puede revisar flujos e indicadores; Gestión Docente puede analizar carga académica; Talento Humano puede estimar personal requerido; y el área Administrativa puede revisar recursos físicos e inversión. Esta distribución de información favorece decisiones más ordenadas y con menor dependencia de cálculos manuales.

2.2.5 Trazabilidad y control de cambios en procesos institucionales

La trazabilidad consiste en la capacidad de registrar y consultar el historial de acciones realizadas dentro de un proceso o sistema. En un entorno institucional, esta característica permite conocer qué usuario modificó cierta información, cuándo lo hizo, en qué módulo y bajo qué operación. Esta información es fundamental cuando los datos utilizados impactan decisiones académicas, administrativas o financieras. Para garantizar este seguimiento, los registros de auditoría constituyen el mecanismo técnico que sustenta la rendición de cuentas individual, ya que deben capturar la identidad del usuario, la fecha y hora de la operación y la acción realizada [31].

En una matriz Excel, la trazabilidad suele depender de versiones guardadas, comentarios manuales o controles externos al archivo, un esquema que no satisface los requisitos de un registro de auditoría [31]. En cambio, un aplicativo puede incorporar registros de auditoría que documenten cada modificación relevante. Esto permite reconstruir el proceso de cálculo y verificar la consistencia de los resultados.

Para el cálculo de aranceles universitarios, la trazabilidad es especialmente relevante porque los parámetros ingresados pueden afectar indicadores financieros como el VAN, la TIR y el punto de equilibrio. Si un valor cambia sin registro, la institución puede tener dificultades para justificar los resultados obtenidos. Por esta razón, el aplicativo debe almacenar información sobre usuarios, roles, cálculos, parámetros y cambios realizados, y debe garantizar que los registros de auditoría no puedan modificarse ni destruirse sin dejar rastro [33].

2.2.6 Métricas para validar la automatización

La validación de un aplicativo no puede limitarse a comprobar que el sistema funcione visualmente, sino que requiere pruebas automatizadas que verifiquen el comportamiento esperado [30] y métricas de calidad definidas [12]. Es necesario definir métricas que permitan evaluar si la automatización realmente mejora el proceso frente al mecanismo anterior. En esta investigación, las métricas principales se relacionan con la precisión, el tiempo de cálculo, las inconsistencias, la trazabilidad y la reproducibilidad.

López et al. [12], explican que la medición de calidad en el desarrollo ágil y rápido de software requiere considerar indicadores que permitan evaluar el comportamiento del producto y su utilidad en el contexto de uso. En el presente proyecto, estas métricas permiten comparar los resultados del aplicativo con los obtenidos en la matriz Excel institucional.

La tabla 4 presenta las métricas que pueden utilizarse para validar la automatización del cálculo de aranceles. Estas métricas permiten evaluar tanto la exactitud de los resultados como la mejora operativa del proceso.

Tabla 4 *Métricas de validación del aplicativo automatizado*

Métrica	Descripción	Utilidad en la investigación
Error relativo	Mide la diferencia porcentual entre el resultado del aplicativo y el resultado de Excel.	Permite verificar precisión numérica.

Tiempo de cálculo	Compara el tiempo requerido por la matriz y por el aplicativo.	Permite medir eficiencia operativa.
Número de inconsistencias	Identifica errores, diferencias o resultados no coherentes.	Permite evaluar estabilidad del cálculo.
Trazabilidad	Verifica si el sistema registra usuario, fecha, módulo y acción.	Permite controlar cambios institucionales.
Reproducibilidad	Comprueba si el sistema genera el mismo resultado con los mismos datos.	Permite verificar consistencia del proceso.

Nota: Elaboración propia

2.3 Fundamentos tecnológicos del aplicativo

El sistema fue concebido como una aplicación de escritorio desarrollada con C# y .NET 8, con interfaz gráfica en WPF, aplicación del patrón MVVM, organización bajo Clean Architecture y persistencia de datos mediante PostgreSQL/Supabase. Estos fundamentos responden a una exigencia concreta del proyecto: la lógica institucional de la matriz financiera debía conservarse en una capa independiente de la interfaz y de la base de datos, de modo que el sistema admitiera mantenimiento futuro sin reescribir las reglas de cálculo.

2.3.1 Aplicaciones de escritorio para procesos institucionales

Las aplicaciones de escritorio siguen siendo pertinentes en procesos institucionales internos que requieren control, estabilidad y operación en entornos definidos [13]. A diferencia de una aplicación web pública, una aplicación de escritorio puede ser instalada y utilizada en equipos institucionales específicos, lo que resulta adecuado cuando el sistema se orienta a usuarios administrativos y no a un público masivo.

En el presente proyecto, la elección de una aplicación de escritorio responde al tipo de proceso que se automatiza. El cálculo de aranceles universitarios es una actividad interna, ejecutada por perfiles institucionales específicos y relacionada con información académica y financiera sensible. Por ello, el aplicativo se orienta a un entorno controlado, con acceso por roles y persistencia centralizada de información.

2.3.2 C# y .NET 8 como plataforma de desarrollo

C# y .NET constituyen una plataforma de desarrollo ampliamente utilizada para construir aplicaciones empresariales, de escritorio y servicios de software [1]. En este proyecto, C# permite implementar la lógica de negocio relacionada con el cálculo de aranceles, mientras que .NET 8

proporciona el entorno de ejecución y las capacidades necesarias para estructurar una aplicación moderna y mantenible.

El uso de C# facilita la organización del código mediante clases, entidades, servicios, interfaces y capas. Esto resulta adecuado para un sistema que procesa múltiples variables académicas y financieras, ya que permite representar la lógica institucional mediante componentes separados y reutilizables.

Aunque Microsoft [1] aborda arquitecturas comunes para aplicaciones en .NET desde un enfoque amplio, su planteamiento sobre separación de responsabilidades, organización por capas y dependencias controladas resulta útil para comprender la construcción de soluciones empresariales. En este caso, esos principios se aplican a una solución de escritorio que requiere orden interno, mantenibilidad y claridad en la implementación de reglas de cálculo.

2.3.3 WPF para la interfaz gráfica del aplicativo

Windows Presentation Foundation, conocido como WPF, es una tecnología de Microsoft orientada al desarrollo de interfaces gráficas para aplicaciones de escritorio en Windows. WPF permite construir ventanas, formularios, controles visuales, enlaces de datos y componentes de interacción para que el usuario pueda operar el sistema de forma estructurada [13].

En el aplicativo de cálculo de aranceles, WPF se utiliza para presentar los módulos funcionales del sistema, permitir el ingreso de parámetros, mostrar resultados y facilitar la navegación entre secciones. Esta tecnología resulta adecuada porque el sistema requiere pantallas administrativas, formularios de captura de datos, vistas de consulta y posiblemente reportes organizados por dirección institucional.

La interfaz gráfica no debe contener directamente la lógica financiera o académica del cálculo. Su función principal es permitir que el usuario interactúe con el sistema. Por ello, WPF se combina con el patrón MVVM, lo que favorece la separación entre la vista y la lógica de presentación.

2.3.4 Patrón MVVM en la capa de presentación

El patrón Model-View-ViewModel, conocido como MVVM, permite separar la interfaz gráfica, los datos y la lógica de presentación. En este patrón, el Model representa los datos o entidades del sistema, la View corresponde a la interfaz visual con la que interactúa el usuario, y el ViewModel actúa como intermediario entre ambos, gestionando comandos, validaciones y datos que se muestran en pantalla [14], [16].

MVVM es especialmente adecuado para aplicaciones WPF porque facilita el enlace de datos y la separación entre vista y comportamiento [14]. De manera más reciente, Microsoft [15] también presenta MVVM como un enfoque que permite organizar aplicaciones .NET mediante propiedades observables, comandos y separación de responsabilidades en la capa de presentación.

Ramachandrappa [16] sostiene que MVVM contribuye a mejorar la mantenibilidad del software al separar la interfaz de usuario de la lógica que la controla. En el contexto del aplicativo desarrollado, esta separación es importante porque los cálculos de aranceles no deben depender de controles visuales, sino de reglas ubicadas en capas internas del sistema.

La tabla 5 muestra cómo se interpreta MVVM dentro del aplicativo. Su propósito es aclarar la responsabilidad de cada componente dentro de la capa de presentación.

Tabla 5 Aplicación del patrón MVVM en el aplicativo

Componente	Función general	Aplicación en el sistema
MVVM		
Model	Representa datos, entidades y estructuras del dominio.	Carrera, usuario, parámetros, costos, ingresos y resultados.
View	Presenta la interfaz gráfica al usuario.	Ventanas y formularios desarrollados en WPF.
ViewModel	Gestiona la interacción entre vista y datos.	Comandos, validaciones, carga de datos y actualización de vistas.

Nota: Elaboración Propia

2.3.5 Clean Architecture como base de organización del sistema

Clean Architecture es un enfoque de diseño de software que busca separar la lógica de negocio de los detalles externos, como la interfaz gráfica, la base de datos o los frameworks [17]. Su principio central es que las capas internas del sistema no deben depender de las capas externas. De esta forma, las reglas de negocio permanecen protegidas frente a cambios tecnológicos.

En el aplicativo desarrollado, Clean Architecture resulta especialmente pertinente porque la lógica de cálculo de aranceles debe mantenerse independiente de WPF, PostgreSQL o cualquier otro componente externo. La finalidad es que las reglas institucionales de cálculo puedan mantenerse, probarse y evolucionar sin quedar mezcladas con la interfaz o con la forma específica de almacenamiento.

Henríquez-Miranda y Sánchez-Torres [17] analizan Clean Architecture como un enfoque que favorece la separación de responsabilidades y concluyen que la organización del software en capas mejora la mantenibilidad de los sistemas. En este proyecto, esa lógica se expresa mediante capas como Dominio, Aplicación, Infraestructura y Presentación.

La tabla 6 resume las capas de Clean Architecture aplicadas al sistema. Esta organización permite entender cómo se separan las reglas de cálculo, los casos de uso, la base de datos y la interfaz gráfica.

Tabla 6 *Capas de Clean Architecture aplicadas al aplicativo*

Capa	Responsabilidad	Ejemplo en el aplicativo
Dominio	Contiene entidades y reglas principales de negocio.	Reglas de cálculo de aranceles, carrera, costos, indicadores.
Aplicación	Coordina casos de uso y operaciones del sistema.	Calcular proyección, generar flujo, validar parámetros.
Infraestructura	Gestiona acceso a datos y servicios externos.	Conexión con PostgreSQL/Supabase y repositorios.
Presentación	Permite la interacción con el usuario.	Pantallas WPF organizadas mediante MVVM.

Nota: Elaboración Propia

2.3.6 Patrón de puertos y adaptadores

El patrón de puertos y adaptadores, también conocido como arquitectura hexagonal, complementa los principios de Clean Architecture al proponer que la lógica central del sistema se comunique con elementos externos mediante interfaces. Los puertos definen contratos internos y los adaptadores implementan la comunicación con tecnologías concretas, como bases de datos, servicios o interfaces [17].

En el aplicativo de cálculo de aranceles, este patrón permite que la lógica de cálculo no dependa directamente de PostgreSQL, Supabase o WPF. Por ejemplo, la capa de aplicación puede solicitar el almacenamiento de un cálculo mediante una interfaz de repositorio, mientras que la infraestructura se encarga de implementar dicha operación en la base de datos.

Esta separación facilita el mantenimiento del sistema. Si en el futuro la institución decide cambiar el mecanismo de almacenamiento o incorporar nuevos servicios, las reglas internas del cálculo

no tendrían que modificarse de forma directa. Esto contribuye a que el sistema sea más flexible y menos dependiente de decisiones tecnológicas específicas.

2.3.7 PostgreSQL como sistema de gestión de base de datos

PostgreSQL es un sistema de gestión de base de datos relacional que permite almacenar información estructurada mediante tablas, relaciones, restricciones y consultas [18]. En el presente proyecto, su uso resulta pertinente porque el aplicativo requiere guardar usuarios, roles, parámetros académicos, variables financieras, cálculos ejecutados, resultados e historial de cambios.

Los sistemas gestores de bases de datos deben analizarse en función de su rendimiento, características y adecuación al tipo de aplicación que los utiliza. En este caso, PostgreSQL responde a la necesidad de contar con una base de datos relacional para centralizar información institucional y reducir la dependencia de archivos aislados [18].

A diferencia de una hoja de cálculo, una base de datos permite organizar los datos de forma estructurada, establecer relaciones entre entidades y mejorar el control sobre la información con garantías de integridad y concurrencia propias de un gestor de base de datos [18]. Esto es importante para el aplicativo, ya que los datos de una carrera, sus parámetros, cálculos e indicadores deben mantenerse vinculados y disponibles para futuras consultas o validaciones.

2.3.8 Supabase como servicio de alojamiento y gestión de datos

Supabase se utiliza en el proyecto como un servicio que permite alojar y gestionar una base de datos PostgreSQL. Su incorporación centraliza la administración de datos: el aplicativo almacena la información sin depender de archivos locales ni de matrices distribuidas entre usuarios.

En el contexto del sistema desarrollado, Supabase cumple una función de infraestructura. No define la lógica del cálculo de aranceles, pero permite persistir datos relacionados con usuarios, parámetros, cálculos, resultados e historial. Esta separación es coherente con Clean Architecture, ya que la base de datos pertenece a la capa de infraestructura y no debe condicionar las reglas internas del dominio.

La centralización mediante PostgreSQL/Supabase contribuye a mejorar la consistencia de la información. En lugar de trabajar con múltiples versiones de una matriz Excel, el sistema puede consultar y registrar datos en un repositorio organizado, lo que favorece la trazabilidad y la reproducibilidad de los cálculos.

2.3.9 Control de acceso por roles

El control de acceso por roles permite restringir las acciones disponibles para cada usuario según su perfil dentro de la institución. Este enfoque es importante en sistemas que manejan información sensible o que involucran varias áreas con responsabilidades diferentes.

Los modelos de control de acceso basados en roles, formalizados desde los trabajos fundacionales de Ferraiolo y Kuhn [23], gestionan los permisos según las funciones asignadas, lo que simplifica la administración de accesos en entornos con múltiples usuarios. En el aplicativo desarrollado, esta lógica permite diferenciar las acciones de administradores, directores, consultores u otros perfiles institucionales [19].

En el cálculo de aranceles, no todos los usuarios deben tener acceso a las mismas funciones. Por ejemplo, un usuario administrativo podría consultar información de recursos físicos, mientras que un perfil financiero podría revisar flujo de fondos e indicadores. El control por roles evita modificaciones no autorizadas y ayuda a proteger la integridad del proceso.

La siguiente tabla muestra una propuesta de relación entre perfiles institucionales y funciones del aplicativo. Esta organización debe ajustarse a los roles reales definidos por el sistema, pero permite evidenciar cómo el control de acceso contribuye a ordenar responsabilidades.

Tabla 7 *Relación entre roles institucionales y funciones del aplicativo*

Rol institucional	Funciones principales	Nivel de acceso sugerido
Administrador	Gestionar usuarios, roles y parámetros generales.	Alto
Dirección Financiera	Consultar costos, ingresos, flujo de fondos e indicadores.	Alto en módulos financieros
Gestión Docente	Revisar carga docente, horas y estimación de profesores.	Medio en módulos académicos
Dirección Administrativa	Consultar recursos físicos e inversión requerida.	Medio en recursos e inversión
Estrategia Comercial y Comunicacional	Consultar información para planificación de oferta.	Consulta

Talento Humano	Revisar estimación de personal requerido.	Consulta o edición limitada
Consultor o revisor	Validar resultados y reportes generados.	Consulta

Nota: Elaboración Propia

2.3.10 Trazabilidad de cambios en el aplicativo

La trazabilidad de cambios permite registrar las acciones realizadas dentro del sistema, identificando usuario, fecha, módulo, operación y datos modificados. Esta característica es esencial en un aplicativo que automatiza cálculos institucionales, debido a que los resultados pueden ser utilizados para justificar decisiones académicas y financieras.

En la matriz Excel, la trazabilidad suele ser limitada, especialmente cuando varias personas intervienen en el archivo o cuando existen múltiples versiones. El aplicativo, en cambio, puede registrar las acciones relevantes en una base de datos, lo que permite reconstruir el historial del proceso y verificar la consistencia de los resultados.

La trazabilidad también aporta transparencia. Si un valor de retención, costo, ingreso o inversión cambia, el sistema puede conservar evidencia de la modificación. Esto fortalece la confianza en el cálculo y permite que las direcciones institucionales trabajen con información más controlada.

2.3.11 Arquitectura modular del aplicativo

La arquitectura modular consiste en organizar el sistema en componentes funcionales diferenciados. Cada módulo atiende una responsabilidad específica, pero se integra con los demás para completar el proceso de cálculo de aranceles [17]. Esta forma de organización resulta adecuada para sistemas que procesan información de varias áreas institucionales.

En el aplicativo desarrollado, la modularidad permite separar procesos administrativos, académicos, financieros y de reportes. Esta separación facilita el mantenimiento del sistema, la validación de resultados y la incorporación de mejoras futuras. Además, permite que cada dirección institucional interactúe con la información que le corresponde, sin afectar innecesariamente otros módulos.

La arquitectura modular también ayuda a reducir la complejidad del sistema. En lugar de concentrar toda la lógica en una sola pantalla o en un único archivo, el aplicativo distribuye funciones en módulos que responden a necesidades concretas. Esta decisión se relaciona con los

principios de Clean Architecture y MVVM, ya que cada parte del sistema tiene una responsabilidad definida.

La tabla 8 presenta una organización general de los módulos del aplicativo según su función. Esta clasificación permite explicar los once módulos sin extender innecesariamente el capítulo, dejando la descripción técnica detallada para el capítulo metodológico o de desarrollo.

Tabla 8 Organización modular del aplicativo

Grupo funcional	Módulo	Propósito dentro del sistema
Administrativo	Gestión de usuarios	Administrar usuarios que acceden al sistema.
Administrativo	Roles y permisos	Definir acciones permitidas según perfil institucional.
Administrativo	Configuración general	Gestionar parámetros base del sistema.
Académico	Parámetros académicos	Registrar datos iniciales de la carrera.
Académico	Retención y graduación	Procesar indicadores de permanencia y culminación.
Académico	Proyección de estudiantes	Estimar matrícula por ciclo y período.
Académico	Docentes y carga horaria	Calcular horas docentes y personal requerido.
Financiero	Recursos físicos e inversión	Registrar infraestructura, equipamiento e inversión inicial.
Financiero	Costos, gastos e ingresos	Procesar valores económicos de operación.
Financiero	Flujo e indicadores financieros	Calcular flujo de fondos, VAN, TIR y punto de equilibrio.
Reportes	Reportes por dirección	Generar salidas técnicas para las áreas institucionales.

Nota: Elaboración Propia

2.4 Estado del arte

En los últimos años, diversas instituciones han abordado la necesidad de sistematizar procesos financieros y académicos en la educación superior mediante herramientas digitales. A continuación, se presentan antecedentes directamente relacionados con el presente proyecto.

La Escuela Politécnica Nacional de Ecuador desarrolló una metodología para determinar el costo de aranceles y matrículas en programas de posgrado, estableciendo un modelo estructurado de variables de costos e ingresos proyectados como base técnica para fijar valores ante el CES [4]. Este trabajo es relevante porque evidencia la necesidad de formalizar el proceso de cálculo y aporta una base metodológica compatible con el módulo financiero del presente aplicativo.

De forma complementaria, instituciones como la UNEMI han publicado manuales de clasificación de niveles para el pago de matrícula y aranceles, documentando la lógica operativa que vincula condición socioeconómica, carrera y costos institucionales [20]. Esta documentación muestra que el cálculo de aranceles sigue criterios institucionales definidos, lo que respalda la pertinencia de digitalizar y centralizar dicha lógica en un sistema informático.

Vásquez Simbaña [9], analizó la influencia de la automatización de procesos administrativos y la adopción de nuevas tecnologías en la eficiencia organizacional, concluyendo que la digitalización de tareas operativas reduce costos, mejora la precisión de la información y libera tiempo para actividades estratégicas. Aunque el estudio se orienta al ámbito empresarial, sus hallazgos son aplicables al contexto universitario, donde todavía persisten procesos manuales apoyados en hojas de cálculo.

Por su parte, Kroff et al. [11], revisaron las innovaciones y desafíos de la automatización en la educación universitaria, destacando que la digitalización de procesos administrativos mejora la precisión y la eficiencia operativa en instituciones de educación superior. Este antecedente respalda la pertinencia de automatizar matrices financieras y académicas como la que sustenta el presente proyecto.

Además, se identificaron sistemas similares desarrollados en repositorios institucionales de acceso público. Ramos Barreda diseñó un sistema de registro académico y arancelario automatizado en Compulab Estelí, orientado a automatizar inscripciones, solvencia y control de notas mediante base de datos [34]. Gutiérrez Avilés, Morales Alemán y Balladares Alvarado presentaron un sistema de gestión académica y control arancelario para el colegio Angloamericano, con el objetivo de agilizar los procesos manuales de matrícula y pagos [35]. Escoto Cruz, Castillo Barrera y Castillo Sovalbarro propusieron un sistema de información de registro académico y gestión arancelaria para el colegio Santa Teresita del Niño Jesús, también enfocado en reemplazar procesos manuales por una solución digital [21].

Tabla 9 Matriz comparativa

Autor / institución	Año	Sistema o propuesta	Aporte principal	Limitación frente a esta tesis	Tecnologías empleadas
Escuela Politécnica Nacional [4]	2020	Metodología para determinar el costo de aranceles y matrícula en programas de posgrado	Define un modelo institucional para el cálculo de costos, aranceles y matrículas en programas de posgrado.	No desarrolla un aplicativo informático ni automatiza el proceso de cálculo.	No aplica (documento metodológico)
Universidad Estatal de Milagro (UNEMI) [20]	2022	Manual para la clasificación de niveles en el pago de matrícula y aranceles	Establece criterios institucionales para la clasificación de pagos de matrícula y aranceles.	Constituye un procedimiento administrativo y no un sistema automatizado.	No aplica (manual institucional)
Ramos Barreda [34]	2012	Sistema de registro académico y arancelario automatizado	Automatiza procesos de registro académico y control arancelario.	Se orienta al ámbito escolar y no incorpora análisis financiero para carreras universitarias.	Aplicación web: PHP, MySQL, Apache (metodología OOHDM)
Gutiérrez Avilés, Morales Alemán y Balladares Alvarado [35]	2018	Sistema de gestión académica y control arancelario	Digitaliza matrícula y pagos	No integra VAN, TIR ni punto de equilibrio	Aplicación web: PHP, MySQL, Laravel 4.1 (metodología UML/UWE)
Escoto Cruz, Castillo Barrera y Castillo Sovalbarro [21]	2024	Sistema de registro académico y gestión arancelaria	Sustituye procesos manuales mediante un sistema de gestión académica y arancelaria.	No incorpora la validación de una matriz financiera institucional ni el cálculo de costos para apertura de carreras.	Escritorio: C#, MySQL, Visual Studio (metodología RUP)

Nota: Elaboración Propia

Del análisis comparativo se desprende que los antecedentes revisados abordan el problema de forma fragmentaria. Los trabajos institucionales ecuatorianos formalizan la metodología de costeo, pero no la automatizan [4], [20]. Los sistemas académico-arancelarios desarrollados en el ámbito escolar automatizan la gestión de matrículas y pagos sobre plataformas web con PHP y MySQL [34], [35] o de escritorio con C# y MySQL bajo metodología RUP [21], pero operan sobre valores de arancel ya definidos y no incorporan la evaluación de viabilidad financiera mediante VAN, TIR y punto de equilibrio, ni la validación cuantitativa contra una matriz institucional de referencia. Ninguno de los antecedentes combina, en una sola solución, la proyección académica de estudiantes, el cálculo financiero de viabilidad, el control de acceso por roles, la trazabilidad de cambios y la generación de reportes diferenciados por dirección institucional.

La presente investigación se posiciona en esa intersección: automatiza la matriz financiera y académica de una institución de educación superior regulada por el CES, incorpora el ajuste automático del arancel mediante bisección hasta aproximar el VAN a cero y valida sus resultados frente a la matriz de referencia con métricas de error relativo, tiempo, inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad, aspectos ausentes en los trabajos previos identificados.

A partir de lo anterior, el vacío que esta investigación atiende puede caracterizarse en tres dimensiones. Primero, un vacío de especificidad: las soluciones comerciales de gestión académica y los sistemas de planificación de recursos institucionales automatizan matrícula, cobro y contabilidad, pero no el cálculo prospectivo de aranceles para carreras que aún no existen, proceso que exige proyectar cohortes, retención, carga docente e indicadores de viabilidad bajo la normativa del CES, una lógica particular de cada institución que no forma parte de la oferta estándar de software educativo. Segundo, un vacío de conocimiento institucional: la lógica de cálculo reside en una matriz de veinticinco hojas construida y dominada por un número reducido de funcionarios, como se evidenció en la entrevista realizada al operador de la matriz (Anexo D); esta dependencia del conocimiento tácito explica en parte que el proceso no se hubiera automatizado, pues su digitalización exige primero la ingeniería inversa del modelo, actividad que constituyó la primera fase de este trabajo. Tercero, un vacío técnico en las soluciones similares revisadas: los sistemas arancelarios identificados operan sobre valores de arancel ya definidos y carecen de un motor de evaluación financiera [34], [35], [21], por lo que no resuelven el problema de determinar el arancel, sino únicamente el de administrarlo.

Capítulo 3

Marco Metodológico

3.1 Introducción

El presente capítulo describe el proceso metodológico seguido para el análisis, diseño, desarrollo y validación del aplicativo institucional orientado a automatizar el cálculo de aranceles de nuevas carreras universitarias. La construcción del sistema partió de la revisión de la matriz financiera y académica institucional, la cual contiene la lógica de cálculo utilizada para proyectar estudiantes, tasas de retención y graduación, recursos físicos, costos, ingresos, flujo de fondos e indicadores financieros como VAN, TIR y punto de equilibrio.

A partir de esta matriz se identificaron los requerimientos funcionales y no funcionales del aplicativo, considerando las necesidades de las áreas institucionales que intervienen en el proceso de apertura de nuevas carreras. El desarrollo se organizó mediante la metodología Kanban, debido a que permitió gestionar el trabajo por fases, controlar el avance de los módulos y realizar ajustes progresivos durante la implementación del sistema.

El capítulo también presenta el diseño, tipo y alcance de la investigación, así como el enfoque metodológico aplicado para transformar un proceso basado en hojas de cálculo en una solución de escritorio desarrollada con C#/.NET 8 y WPF. La solución se estructuró bajo principios de Clean Architecture y patrón MVVM, con persistencia de datos mediante PostgreSQL/Supabase, lo que permitió separar la lógica de negocio, la interfaz gráfica, los casos de uso y la infraestructura de almacenamiento.

3.2 Enfoque metodológico

Para el desarrollo del aplicativo se empleó la metodología ágil Kanban, debido a que el proyecto fue ejecutado por un solo responsable y se estructuró en módulos funcionales claramente diferenciados. Esta metodología permitió organizar el trabajo de manera visual, priorizar tareas, controlar el avance de cada componente y realizar ajustes conforme se revisaban los requerimientos de la matriz institucional.

Kanban resulta adecuado para proyectos de desarrollo incremental, especialmente cuando se necesita dividir el trabajo en tareas pequeñas, visibles y controlables. Buñay, Yépez Llerena y Armijos Guillen [22] destacan que esta metodología facilita el seguimiento de actividades en proyectos de software, ya que permite gestionar el avance mediante estados de trabajo y entregables verificables. En este proyecto, ese enfoque permitió avanzar por módulos, desde la

comprensión de la lógica de cálculo hasta la construcción de pantallas, reglas de negocio, conexión con base de datos y validación comparativa.

La elección de Kanban frente a Scrum se fundamentó en las características del proyecto. Scrum está orientado a equipos que trabajan en iteraciones de duración fija denominadas sprints y requiere roles definidos, como Product Owner, Scrum Master y equipo de desarrollo, además de ceremonias periódicas como la planificación del sprint, la reunión diaria y la retrospectiva. Estas prácticas aportan valor en equipos multipersonales, pero resultan innecesarias en un proyecto ejecutado por un único responsable, donde no existen roles que coordinar ni reuniones de equipo que sostener. Kanban, en cambio, no impone iteraciones ni roles y se basa en un flujo continuo de trabajo con límites de tareas en curso, lo que se ajusta mejor a un desarrollo individual, incremental y guiado por la disponibilidad de los requerimientos extraídos de la matriz institucional [22]. Además, la naturaleza modular del aplicativo permitió tratar cada módulo como una unidad de trabajo que avanza de forma independiente por el tablero, sin la rigidez temporal que impondría el cierre de un sprint.

Con el fin de justificar de manera explícita la elección frente a otros marcos de gestión de proyectos de software, la Tabla siguiente sintetiza la comparación entre Scrum, Extreme Programming (XP), el Proceso Unificado Racional (RUP) y Kanban, según los criterios que resultaron determinantes para un desarrollo individual, modular e incremental como el presente [38], [39].

Tabla 10 Comparación de marcos de gestión de proyectos de software

Criterio	Scrum	XP	RUP	Kanban
Estructura temporal	Sprints de duración fija	Iteraciones cortas con entregas frecuentes	Fases secuenciales (inicio, elaboración, construcción, transición)	Flujo continuo sin iteraciones fijas
Roles requeridos	Product Owner, Scrum Master y equipo	Programación en parejas y cliente en sitio	Múltiples roles y disciplinas formales	No prescribe roles
Adecuación al trabajo individual	Baja: sus ceremonias y roles pierden sentido sin equipo	Baja: la programación en parejas exige al menos dos desarrolladores	Baja: su formalidad documental y de fases apunta a proyectos de mayor escala	Alta: tablero, límites de trabajo en curso y flujo continuo operables por una persona
Ajuste al proyecto	Innecesario	Inaplicable	Sobredimensionado	Seleccionado

Nota. Elaboración propia con base en [38] y [39].

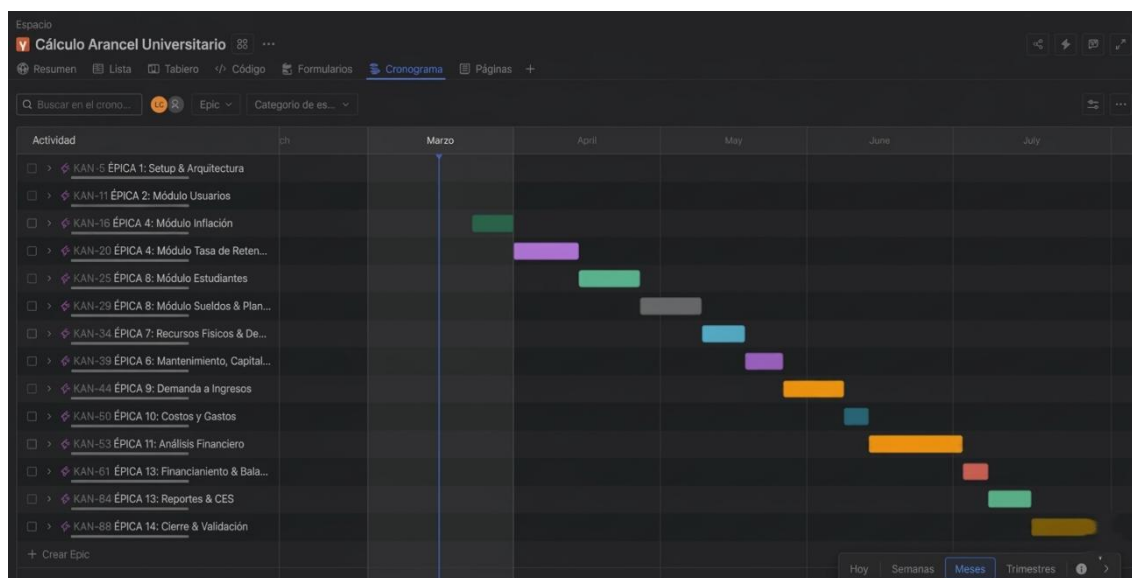
Scrum se descartó porque sus roles y ceremonias no aportan valor en un proyecto unipersonal; Extreme Programming, porque prácticas nucleares como la programación en parejas y el cliente en sitio permanente no eran aplicables; y RUP, porque su estructura de fases y su carga documental resultan desproporcionadas para un desarrollo modular e incremental de esta escala,

como muestra el antecedente de Escoto Cruz y otros [21], que lo emplearon en un sistema escolar de mayor formalidad documental. Kanban, en cambio, permitió tratar cada uno de los once módulos como una unidad de trabajo que avanza de forma independiente por el tablero, con visibilidad del flujo y sin la rigidez temporal del cierre de un sprint.

El trabajo se organizó mediante un tablero con estados de avance, tales como pendiente, en progreso, revisión y completado. Cada módulo del aplicativo fue tratado como una unidad de trabajo independiente, pero vinculada al flujo general del sistema. Con ello se evitó desarrollar el aplicativo como un bloque único y se favoreció una construcción progresiva, ordenada y verificable.

Como herramienta de soporte para la gestión del tablero Kanban se utilizó Jira Software, en su plan gratuito para equipos pequeños. La elección respondió a tres criterios: la herramienta permite representar cada uno de los once módulos del aplicativo como tarjetas con estados configurables de pendiente, en progreso, revisión y completado; ofrece una vista de cronograma que evidencia la secuencia y duración del desarrollo de cada módulo; y conserva el historial de cada tarjeta, lo que aporta trazabilidad al propio proceso de desarrollo, en coherencia con el énfasis del proyecto en la trazabilidad de cambios. La figura siguiente muestra el tablero Kanban inicial del proyecto con las tarjetas correspondientes a los módulos del sistema.

Figura 1 Tablero Kanban inicial del proyecto en Jira Software



Nota: Elaboración propia a partir de Jira Software.

Durante el proceso, el estudiante asumió los roles de responsable del levantamiento de requerimientos, diseñador de la solución y desarrollador del aplicativo. El tutor cumplió el rol de revisor académico y técnico, orientando los ajustes necesarios durante el avance del proyecto.

Esta dinámica permitió mantener una revisión continua del sistema y asegurar que la solución respondiera al objetivo de automatizar la lógica contenida en la matriz institucional.

La metodología se aplicó en fases relacionadas con el levantamiento de requerimientos, el diseño técnico, el desarrollo de módulos académicos, financieros y administrativos, la generación de reportes, la validación comparativa y los ajustes internos del aplicativo. Esta organización permitió conservar una relación directa entre los objetivos específicos de la investigación y los entregables generados durante el desarrollo.

La tabla 11 resume las fases metodológicas aplicadas en el proyecto. Su finalidad es mostrar la relación entre las actividades ejecutadas, los productos generados y el propósito de cada fase dentro del desarrollo del aplicativo.

Tabla 11 *Matriz de Organización por Fases*

Fase	Actividades principales	Entregables	Propósito dentro del proyecto
Levantamiento de requerimientos	Revisión de la matriz institucional, identificación de variables académicas, financieras y administrativas, análisis de necesidades por dirección.	Requerimientos funcionales y no funcionales documentados.	Comprender la lógica del cálculo de aranceles y definir qué debía automatizar el aplicativo.
Diseño técnico	Definición de arquitectura, organización por capas, modelado inicial de base de datos, definición de roles y módulos.	Diseño arquitectónico, modelo de datos y estructura funcional del sistema.	Establecer la base técnica para construir una solución mantenible y modular.
Desarrollo de módulos académicos	Implementación de funcionalidades relacionadas con estudiantes, retención,	Módulos académicos funcionales.	Automatizar la información académica que alimenta el cálculo de aranceles.

		graduación, proyección y carga docente.		
Desarrollo de módulos financieros	de	Implementación de costos, gastos, ingresos, recursos físicos, inversión, inflación, sueldos, flujo de fondos e indicadores financieros.	Módulos financieros funcionales.	Automatizar los cálculos económicos requeridos para evaluar la viabilidad de una nueva carrera.
Desarrollo de reportes	de	Construcción de salidas técnicas para las direcciones institucionales involucradas.	Reportes dirigidos a áreas financiera, académica, administrativa, comercial y talento humano.	Facilitar la consulta de información procesada según las necesidades de cada dirección.
Validación comparativa		Comparación funcional y numérica entre la matriz Excel y el aplicativo desarrollado.	Tablas de comparación, métricas de validación y evidencias de funcionamiento.	Verificar la precisión, consistencia, trazabilidad y reproducibilidad del sistema.
Revisión y ajustes	y	Corrección de errores, refinamiento de módulos y revisión con el tutor.	Aplicativo ajustado y documentado.	Mejorar la calidad del sistema antes de la presentación de resultados.

Nota: Elaboración Propia

El flujo metodológico permitió avanzar desde la comprensión del proceso institucional hasta la construcción de una herramienta funcional. Esta organización fue necesaria porque, además de replicar los cálculos existentes, el sistema debía ordenar la información en módulos, controlar accesos, centralizar el almacenamiento y generar evidencia para la validación posterior.

La tabla 12 presenta la relación entre las fases del trabajo y los objetivos específicos de la investigación. Esta relación permite evidenciar que cada fase metodológica contribuyó directamente al cumplimiento de los objetivos planteados.

Tabla 12 *Relación entre fases metodológicas y objetivos específicos*

Objetivo específico relacionado	Fase metodológica asociada	Evidencia generada
Analizar la estructura funcional y lógica de la matriz institucional.	Levantamiento de requerimientos.	Identificación de variables, fórmulas, módulos y reglas de cálculo.
Identificar y consolidar los requerimientos funcionales y no funcionales.	Levantamiento de requerimientos y diseño técnico.	Documento de requerimientos y organización funcional del aplicativo.
Diseñar la arquitectura del sistema con acceso controlado por roles y almacenamiento centralizado.	Diseño técnico.	Arquitectura por capas, modelo de base de datos y definición de roles.
Implementar los módulos académicos, financieros, administrativos y de reportes.	Desarrollo incremental de módulos.	Módulos funcionales desarrollados en C#/.NET 8 y WPF.
Generar reportes técnicos dirigidos a las direcciones institucionales.	Desarrollo de reportes.	Salidas de información organizadas por área institucional.
Validar los resultados del aplicativo frente a la matriz Excel.	Validación comparativa.	Métricas de error relativo, tiempo de cálculo, inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad.

Nota: Elaboración Propia

3.3 Diseño, tipo y alcance de la investigación

La investigación se orientó al desarrollo de una solución tecnológica aplicada a un problema institucional concreto: la automatización del cálculo de aranceles de nuevas carreras universitarias.

3.3.1 Diseño de la investigación

La investigación se desarrolló bajo un diseño no experimental, debido a que no se manipularon variables en un entorno controlado ni se aplicó una intervención sobre grupos de estudio. El trabajo se centró en analizar un proceso institucional existente, representado en una matriz Excel, para comprender su lógica interna y transformarla en un aplicativo digital.

Este diseño fue adecuado porque el propósito no consistió en probar una relación causal entre variables mediante manipulación experimental, sino en observar, interpretar y automatizar un procedimiento académico-financiero utilizado para el cálculo de aranceles universitarios. En consecuencia, la hipótesis de trabajo formulada en la sección 1.6 es de naturaleza descriptivo-comparativa y se contrasta comparando el proceso manual con el aplicativo bajo las mismas entradas, lo cual es compatible con el diseño no experimental adoptado. La matriz institucional fue tomada como punto de partida para identificar entradas, reglas de cálculo, relaciones entre datos y salidas esperadas.

El diseño también incorporó un componente tecnológico aplicado, ya que la investigación no se limitó a describir el problema. A partir del análisis realizado, se construyó un aplicativo funcional que permitió centralizar información, organizar módulos, aplicar reglas de negocio, controlar accesos y generar reportes técnicos. Esta orientación aplicada se relaciona directamente con el objetivo de mejorar la precisión, reducir la manipulación manual y fortalecer la trazabilidad del proceso.

3.3.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, con enfoque tecnológico y alcance descriptivo-comparativo. Fue aplicada porque buscó resolver una necesidad institucional concreta: automatizar el cálculo de aranceles de nuevas carreras universitarias que anteriormente dependía de una matriz Excel compleja y de manejo manual.

El enfoque tecnológico se evidenció en el desarrollo del aplicativo como producto principal de la investigación. La solución fue construida en C# con .NET 8 y WPF, aplicando el patrón MVVM y principios de Clean Architecture. Además, se utilizó PostgreSQL/Supabase para la persistencia centralizada de datos, lo que permitió almacenar usuarios, parámetros, cálculos, resultados e información asociada a la trazabilidad.

El alcance descriptivo se manifestó en la caracterización de la matriz institucional, sus variables académicas, financieras y administrativas, así como en la identificación de los módulos requeridos para automatizar el proceso. A su vez, el componente comparativo se aplicó en la validación del aplicativo, ya que los resultados generados por el sistema fueron contrastados con los valores

obtenidos en la matriz Excel de referencia, considerando métricas como error relativo, tiempo de cálculo, número de inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad.

La tabla 12 sintetiza la clasificación metodológica de la investigación. Su propósito es mostrar de manera ordenada cómo se entiende el estudio según su diseño, tipo, enfoque y alcance.

Tabla 13 *Clasificación metodológica de la investigación*

Criterio	Clasificación	Aplicación en el proyecto
Diseño	No experimental	Se analizó la matriz institucional existente sin manipular variables en un entorno controlado.
Tipo	Aplicada	Se desarrolló un aplicativo para resolver una necesidad institucional concreta.
Enfoque	Tecnológico	El resultado principal fue una solución de software desarrollada en C#/.NET 8 y WPF.
Alcance	Descriptivo-comparativo	Se describió la lógica de la matriz y se compararon los resultados del aplicativo frente a Excel.
Validación	Funcional y numérica	Se aplicaron métricas de precisión, tiempo, inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad.

Nota: Elaboración propia

3.3.3 Alcance de la investigación

El alcance de la investigación comprendió el análisis, diseño, desarrollo y validación de un aplicativo institucional para automatizar el cálculo de aranceles de nuevas carreras universitarias. La solución se basó en la digitalización de la lógica contenida en una matriz financiera y académica institucional, con el propósito de generar proyecciones confiables y reportes técnicos para las direcciones involucradas en el proceso.

Dentro del alcance funcional se incluyó la gestión de usuarios con niveles de acceso diferenciados por rol, el procesamiento de variables académicas, la proyección de estudiantes, la configuración de tasas de retención y graduación, la estimación de carga docente, el registro de recursos físicos, la proyección de costos, gastos e ingresos, el cálculo de flujo de fondos y la generación de indicadores financieros como VAN, TIR y punto de equilibrio.

También se contempló la generación de reportes técnicos dirigidos a las áreas institucionales que intervienen en la planificación de nuevas carreras. Entre ellas se consideran la Dirección

Financiera, Dirección de Gestión Docente, Dirección Administrativa, Dirección de Estrategia Comercial y Comunicacional, y Dirección de Talento Humano. Esta orientación permitió que el aplicativo no se limitara al cálculo numérico, sino que organizara la información según las necesidades de cada área.

Desde el alcance tecnológico, el aplicativo fue desarrollado como una solución de escritorio en C# con .NET 8 y WPF. Su estructura se organizó bajo principios de Clean Architecture, separando la lógica de negocio, los casos de uso, la infraestructura y la presentación. La interacción entre la interfaz gráfica y la lógica de presentación se gestionó mediante el patrón MVVM, mientras que la persistencia de datos se realizó mediante PostgreSQL/Supabase.

La validación del aplicativo se delimitó a una comparación funcional y numérica con la matriz Excel institucional de referencia. Para ello, se consideraron métricas como error relativo, tiempo de cálculo, número de inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad. Esta validación permitió preparar la evidencia que se presentará en el capítulo de resultados.

El proyecto no incluyó el despliegue en infraestructura web pública, la integración con sistemas ERP institucionales, pasarelas de pago, facturación electrónica, gestión de nómina ni pruebas piloto con usuarios finales fuera del entorno de desarrollo. Estos elementos quedaron fuera del alcance porque la finalidad principal fue demostrar la automatización funcional de la lógica de cálculo contenida en la matriz institucional.

La tabla 14 resume los elementos incluidos y excluidos del alcance de la investigación. Esta delimitación permite precisar qué cubrió el aplicativo desarrollado y qué aspectos quedaron planteados como posibles mejoras futuras.

Tabla 14 Alcance incluido y fuera del alcance del proyecto

Categoría	Incluido en el proyecto	Fuera del alcance
Funcionalidad académica	Proyección de estudiantes, retención, graduación y carga docente.	Gestión académica completa de estudiantes matriculados.
Funcionalidad financiera	Costos, gastos, ingresos, inversión, flujo de fondos, VAN, TIR y punto de equilibrio.	Contabilidad institucional completa o gestión presupuestaria integral.
Gestión de usuarios	Control de acceso por roles y perfiles institucionales.	Integración con directorios institucionales externos.

Reportes	Reportes técnicos para direcciones involucradas en apertura de carreras.	Reportería gerencial avanzada o tableros de inteligencia de negocios.
Tecnología	Aplicativo de escritorio en C#/.NET 8 y WPF con PostgreSQL/Supabase.	Aplicación web pública o despliegue en Internet.
Integraciones	Persistencia centralizada de datos del aplicativo.	Integración con ERP, pasarelas de pago, facturación electrónica o nómina.
Validación	Comparación con matriz Excel mediante métricas definidas.	Pruebas piloto con usuarios finales en producción institucional.

Nota: Elaboración Propia

3.4 Población y muestra

La población de la investigación estuvo conformada por los procesos, variables y criterios institucionales relacionados con el cálculo de aranceles de nuevas carreras universitarias. Dentro de esta población se consideraron los componentes académicos, financieros y administrativos que intervienen en la planificación de una nueva oferta académica, tales como la proyección de estudiantes, tasas de retención y graduación, carga docente, recursos físicos, inversión inicial, costos, gastos, ingresos, flujo de fondos e indicadores financieros.

En este estudio, la población no estuvo representada por personas, sino por el conjunto de elementos técnicos e institucionales que conforman el proceso de cálculo de aranceles. Esto se debe a que la investigación se centró en automatizar una lógica previamente definida en una matriz financiera y académica, utilizada como referencia para estimar la viabilidad de nuevas carreras universitarias.

La muestra fue de tipo no probabilística e intencional, debido a que se seleccionó como unidad principal de análisis la matriz institucional de cálculo de aranceles. Esta matriz fue tomada como base porque contiene las fórmulas, relaciones, variables y resultados que el aplicativo debía automatizar. Además, se consideraron los módulos desarrollados del sistema, ya que estos representan la traducción funcional de la matriz hacia una solución digital organizada por componentes académicos, financieros, administrativos y de reportes.

La selección de esta muestra permitió trabajar directamente con la lógica real del proceso institucional, en lugar de utilizar datos aislados o supuestos generales. De esta manera, el análisis

se concentró en comprender cómo se calculaban los aranceles en la matriz, qué información era requerida por cada área institucional y cómo debía estructurarse el aplicativo para conservar la lógica original, reducir la manipulación manual y facilitar la trazabilidad.

Para la recolección y organización de la información se aplicaron técnicas de análisis documental, observación técnica, modelado de software y validación comparativa. Estas técnicas permitieron revisar la matriz institucional, interpretar sus variables, analizar el comportamiento de los módulos desarrollados, representar la estructura del sistema mediante diagramas y preparar la comparación entre los resultados generados por Excel y los obtenidos desde el aplicativo.

El análisis documental permitió identificar las variables académicas, financieras y administrativas presentes en la matriz de referencia. La observación técnica se utilizó para revisar el funcionamiento de los módulos del aplicativo, sus pantallas, entradas de datos, procesos internos y salidas esperadas. El modelado de software permitió representar la estructura funcional, lógica y de datos del sistema mediante diagramas de casos de uso, clases, secuencia y entidad-relación. La validación comparativa se orientó a contrastar el comportamiento del aplicativo frente a la matriz Excel institucional, considerando escenarios de prueba y métricas definidas.

La tabla resume las técnicas e instrumentos empleados durante el desarrollo de la investigación. Su propósito es mostrar cómo cada técnica aportó al análisis, diseño, implementación y validación del aplicativo.

Tabla 15 *Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos*

Técnica	Instrumento	Uso dentro del proyecto
Análisis documental	Matriz Excel institucional de cálculo de aranceles	Identificar variables, fórmulas, relaciones entre hojas, reglas de cálculo y resultados esperados.
Análisis documental	Documentos de módulos del aplicativo	Reconocer las funcionalidades implementadas en cada módulo y su relación con la matriz institucional.
Observación técnica	Revisión de módulos, pantallas y flujos del sistema	Comprender el funcionamiento del aplicativo desarrollado en C#/.NET 8 y WPF.

Observación técnica	Capturas y evidencias funcionales del aplicativo	Verificar la existencia de los módulos y su correspondencia con los procesos académicos y financieros.
Modelado de software	Diagramas de casos de uso	Representar los actores del sistema y las funciones principales disponibles por perfil institucional.
Modelado de software	Diagramas de clases de dominio	Identificar las entidades principales y su relación con la lógica de negocio del cálculo de aranceles.
Modelado de software	Diagramas de secuencia	Describir el flujo de interacción entre usuario, interfaz, lógica del sistema y base de datos.
Modelado de software	Diagrama entidad-relación	Representar la estructura de la base de datos PostgreSQL/Supabase y la relación entre sus entidades.
Validación comparativa	Casos de prueba base, optimista y crítico	Comparar el comportamiento del aplicativo frente a distintos escenarios de cálculo.
Validación comparativa	Tablas comparativas Excel vs aplicativo	Contrastar resultados numéricos, tiempos de cálculo, inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad.

Nota: Elaboración Propia

Los instrumentos seleccionados permitieron cubrir las distintas etapas del proyecto. La matriz Excel sirvió como fuente principal para comprender la lógica institucional; los documentos de módulos y capturas del sistema aportaron evidencia del aplicativo desarrollado; los diagramas facilitaron la representación técnica de la solución; y las tablas comparativas permitieron preparar la validación que se presenta en el capítulo de resultados.

3.5 Análisis funcional y casos de uso por módulo

El análisis funcional del aplicativo permitió identificar los actores que intervienen en el proceso de cálculo de aranceles y las operaciones principales que cada uno puede realizar dentro del sistema. Esta sección describe la relación entre los perfiles institucionales, los módulos implementados y los casos de uso definidos para automatizar la lógica de la matriz financiera y académica.

Debido a que el aplicativo fue desarrollado de forma modular, los casos de uso se organizaron por módulo funcional. Esta decisión permite representar con mayor claridad las responsabilidades de cada componente del sistema y evita concentrar todas las funcionalidades en un único diagrama general. En total, se identificaron 44 casos de uso distribuidos en 11 módulos, los cuales abarcan gestión de usuarios, estudiantes, retención, demanda e ingresos, costos, sueldos, recursos físicos, inflación, análisis financiero, financiamiento, balance y reportes.

Para levantar los requerimientos del sistema se trabajó con dos estrategias: entrevistas semiestructuradas y revisión documental. La entrevista con el Ing. Blazco —quien opera directamente la matriz en la Universidad Católica de Cuenca— aportó información sobre el proceso actual que no era posible obtener solo del análisis del archivo Excel. El texto completo está en el Anexo D.

Lo que describió fue claro: la matriz se usa hasta diez veces al año y cada cálculo toma entre 20 y 30 minutos. El problema principal que señaló no es que la herramienta produzca resultados incorrectos, sino que es rígida. Hay características de ciertas carreras, sobre todo en el desglose de tipos de docentes y sus horas, que el modelo no permite ajustar sin modificar la estructura del archivo. La hoja de punto de equilibrio también genera dudas recurrentes, porque la fórmula no es visible para quien trabaja con ella. Consultado sobre el margen de error aceptable en el sistema, fijó un 10%. Esas observaciones incidieron directamente en la flexibilidad configurada para el cálculo de docentes, en las validaciones del módulo de análisis financiero y en las métricas definidas en la sección 3.11.

3.5.1 Módulo de análisis financiero

El módulo de análisis financiero es el punto de convergencia del sistema: recibe los costos, ingresos y proyecciones generados por los demás módulos y los convierte en la información con la que la institución evalúa la sostenibilidad económica de una nueva carrera. Aquí se concentran los siete indicadores que sustentan esa decisión: utilidad, flujo de fondos, VAN, TIR, punto de equilibrio, período de recuperación y arancel óptimo.

Dentro de este módulo se identificaron siete casos de uso principales. Cada uno representa una operación funcional del sistema y se relaciona con un requerimiento específico del aplicativo. La tabla siguiente resume los casos de uso del módulo de análisis financiero, sus actores principales y el propósito de cada uno.

Tabla 16 *Casos de uso del módulo de análisis financiero*

Identificador	Caso de uso	Actor principal	Propósito funcional
---------------	-------------	-----------------	---------------------

CU-AF-01	Generar estado de Sistema Pérdidas y Ganancias	Proyectar utilidad bruta, utilidad antes de impuestos y utilidad o pérdida del ejercicio.
CU-AF-02	Generar Flujo de Sistema Fondos Neto	Calcular el flujo neto proyectado, incluyendo el año 0 de inversión inicial.
CU-AF-03	Configurar TMR y Administrador calcular TIR y VAN	Definir la Tasa Mínima de Rendimiento y calcular indicadores de viabilidad.
CU-AF-04	Ajustar arancel Administrador automáticamente	Calcular el arancel óptimo que permite aproximar VAN a 0 y TIR a la TMR.
CU-AF-05	Calcular Punto de Sistema Equilibrio	Determinar el número mínimo de estudiantes requerido para no operar en pérdida.
CU-AF-06	Calcular Período de Sistema Recuperación de Inversión	Estimar el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial.
CU-AF-07	Mostrar dashboard Administrador financiero consolidado Planificador Académico Consultor	/ Presentar en una sola vista los indicadores financieros / principales del proyecto.

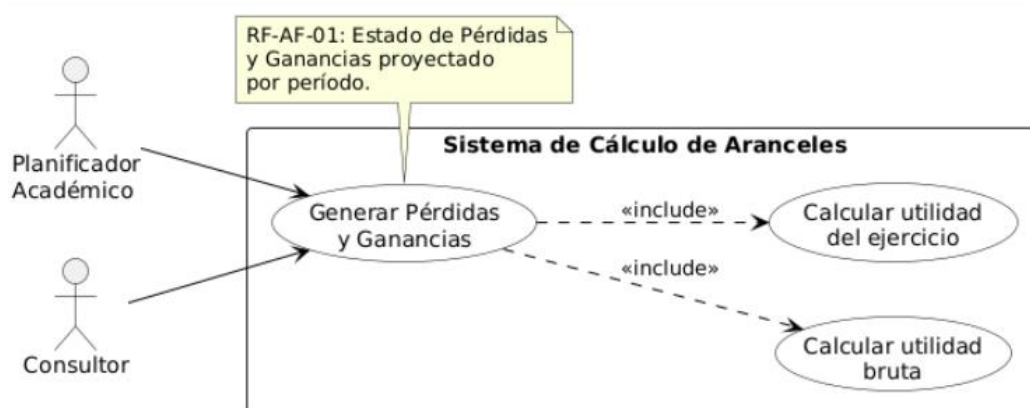
Nota: Elaboración Propia

CU-AF-01. Generar estado de Pérdidas y Ganancias

El caso de uso **Generar estado de Pérdidas y Ganancias** permite que el sistema construya automáticamente la proyección financiera por período. Para ello, toma como entrada los ingresos generados desde el módulo de demanda e ingresos y los costos consolidados desde el módulo de costos y gastos. A partir de esta información, calcula la utilidad bruta, la utilidad antes de impuestos y la utilidad o pérdida del ejercicio.

Este caso de uso es relevante porque permite conocer si la carrera proyectada genera resultados positivos o negativos durante los períodos evaluados. Además, incorpora filas configurables para participación a trabajadores e impuesto a la renta, las cuales pueden mantenerse en cero cuando se trabaja bajo el criterio de universidad sin fines de lucro. El resultado generado alimenta posteriormente el flujo de fondos y otros indicadores financieros del sistema.

Figura 2 Diagrama de caso de uso CU-AF-01: Generar estado de Pérdidas y Ganancias



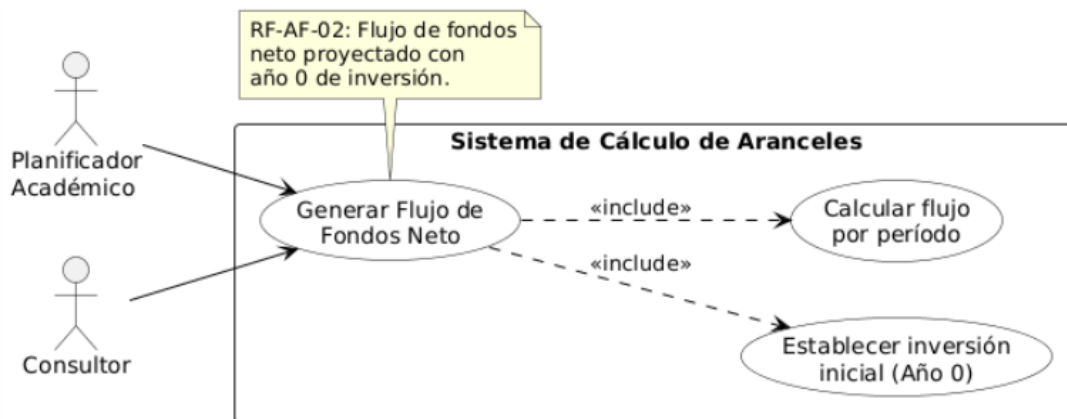
Nota. Elaboración propia

CU-AF-02. Generar Flujo de Fondos Neto

Permite proyectar los flujos financieros de la carrera, incluyendo el año 0 como inversión inicial negativa. Este cálculo toma como base la utilidad del ejercicio generada en el caso anterior, las inversiones por período, la depreciación, la amortización de diferidos, el pago de crédito y la inversión inicial.

La importancia de este caso de uso radica en que el flujo de fondos constituye la base para calcular indicadores como la TIR y el VAN. El sistema organiza los valores por período y permite identificar la relación entre los ingresos, egresos, inversiones y pagos asociados a la carrera. Si existen datos parciales, el sistema calcula con la información disponible y marca las filas faltantes con advertencias, evitando que el usuario interprete resultados incompletos como definitivos.

Figura 3 Diagrama de caso de uso CU-AF-02: Generar Flujo de Fondos Neto



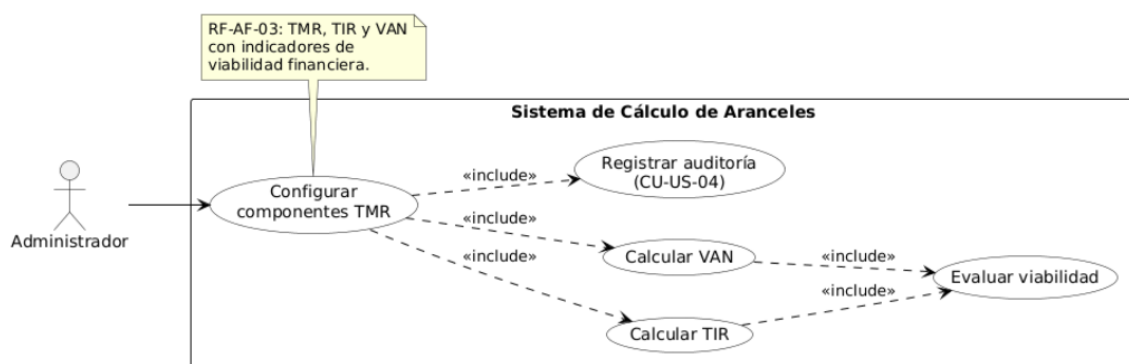
Nota. Elaboración propia

CU-AF-03. Configurar TMR y calcular TIR y VAN

Establece los componentes de la Tasa Mínima de Rendimiento, compuesta por la tasa bancaria, la inflación y el premio al riesgo. Esta configuración es realizada por el Administrador, debido a que se trata de un parámetro financiero sensible que influye directamente en la evaluación de viabilidad.

Una vez configurada la TMR, el sistema calcula la TIR y el VAN sobre el flujo de fondos generado. La TIR permite determinar si la rentabilidad estimada de la carrera alcanza la tasa mínima esperada, mientras que el VAN permite evaluar si los flujos proyectados sostienen financieramente la propuesta. El sistema también registra la acción en el log de auditoría, lo que fortalece la trazabilidad del proceso.

Figura 4 Diagrama de caso de uso CU-AF-03: Configurar TMR y calcular TIR y VAN



Nota. Elaboración propia

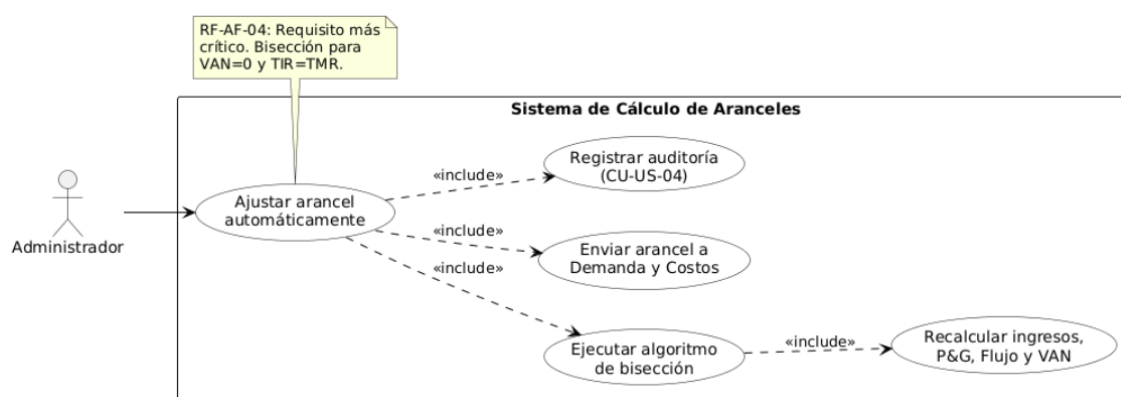
CU-AF-04. Ajustar arancel automáticamente

El caso de uso Ajustar arancel automáticamente representa una de las funciones más críticas del módulo de análisis financiero. Su propósito es calcular el arancel óptimo que permite aproximar

el VAN a 0 y la TIR a la TMR mediante un algoritmo de bisección. Esta funcionalidad elimina el proceso manual de prueba y error que normalmente se realiza en una matriz Excel.

Para ejecutar este proceso, el sistema verifica que existan datos previos como TMR configurada, costos consolidados, estudiantes proyectados e inversión inicial calculada. Luego evalúa distintos valores posibles de arancel dentro de un rango definido y recalcula ingresos, estado de pérdidas y ganancias, flujo de fondos y VAN hasta encontrar un valor aproximado al objetivo. El arancel óptimo solo se aplica si el Administrador lo acepta, lo que evita cambios automáticos sin confirmación institucional.

Figura 5 Diagrama de caso de uso CU-AF-04: Ajustar arancel automáticamente



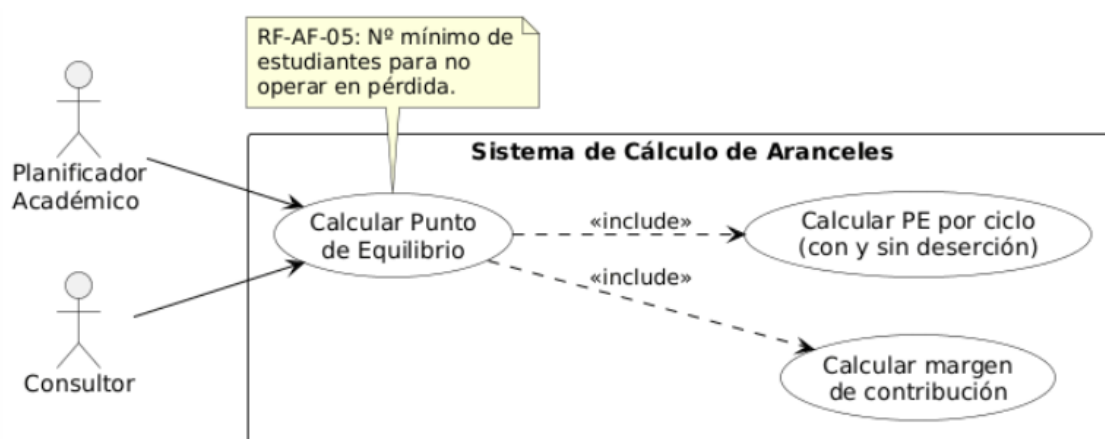
Nota. Elaboración propia

CU-AF-05. Calcular Punto de Equilibrio

El caso de uso Calcular Punto de Equilibrio permite determinar el número mínimo de estudiantes que requiere la carrera para no operar en pérdida. Para ello, el sistema toma los costos fijos, los costos variables y el ingreso promedio por estudiante. Con estos datos calcula el margen de contribución y, posteriormente, el punto de equilibrio total y por ciclo.

Este cálculo es importante porque permite analizar si la proyección de estudiantes es suficiente para cubrir los costos asociados al funcionamiento de la carrera. El sistema también puede considerar el punto de equilibrio con y sin tasa de deserción, lo cual aporta una visión más realista del comportamiento esperado del programa. Cuando el margen de contribución es menor o igual a cero, el sistema debe alertar al usuario para revisar el arancel o los costos ingresados.

Figura 6 Diagrama de caso de uso CU-AF-05: Calcular Punto de Equilibrio



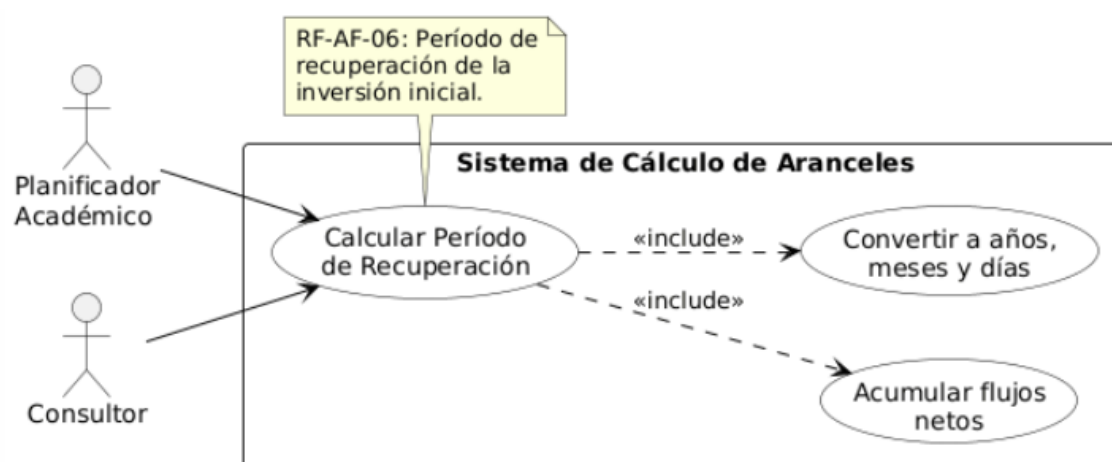
Nota. Elaboración propia

CU-AF-06. Calcular Período de Recuperación de Inversión

El caso de uso Calcular Período de Recuperación de Inversión permite estimar el tiempo que requiere la carrera para recuperar la inversión inicial. El sistema acumula los flujos netos período a período hasta que estos iguallen o superen la inversión realizada. Luego convierte el resultado en años, meses y días para facilitar su interpretación por los usuarios institucionales.

Esta funcionalidad permite complementar el análisis de viabilidad financiera, ya que no basta con conocer si la carrera genera utilidad o si alcanza un VAN aceptable; también es importante estimar en cuánto tiempo se recupera la inversión inicial. Si los flujos proyectados no permiten recuperar la inversión dentro del horizonte evaluado, el sistema informa al usuario para que pueda revisar los supuestos financieros de la carrera.

Figura 7 Diagrama de caso de uso CU-AF-06: Calcular Período de Recuperación de Inversión



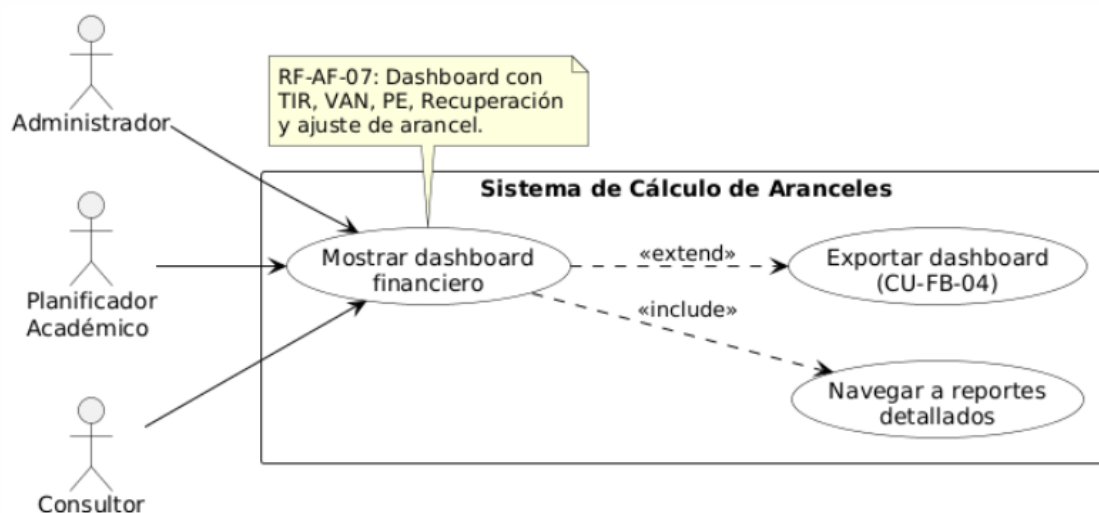
Nota. Elaboración propia

CU-AF-07. Mostrar dashboard financiero consolidado

El caso de uso Mostrar dashboard financiero consolidado permite reunir en una sola vista los principales indicadores financieros del proyecto. El dashboard presenta resultados como TIR, VAN, punto de equilibrio, período de recuperación, arancel óptimo y comparación entre el arancel actual y el arancel sugerido por el sistema.

Esta funcionalidad está dirigida al Administrador, Planificador Académico y Consultor, quienes requieren una lectura rápida y organizada de la situación financiera de la carrera. El sistema utiliza indicadores visuales para señalar si los resultados son viables o no viables, y permite navegar hacia reportes detallados o exportar el dashboard en formatos como XLSX o PDF. Además, el botón de ajuste automático del arancel se mantiene disponible únicamente para el Administrador, respetando el control de permisos definido en el sistema.

Figura 8 Diagrama de caso de uso CU-AF-07: Mostrar dashboard financiero consolidado



Nota. Elaboración propia

3.5.2 Módulo de costos y gastos

El módulo de costos y gastos permite consolidar la información económica proveniente de otros módulos del aplicativo, con el fin de organizar los costos necesarios para estimar el valor de la carrera y proponer un arancel técnicamente sustentado. Este módulo cumple una función central dentro del sistema, ya que recibe información relacionada con sueldos, demanda e ingresos, mantenimiento, recursos físicos, depreciación y financiamiento, para transformarla en una estructura consolidada de costos por período.

A diferencia de una matriz Excel, donde la consolidación depende de fórmulas distribuidas en varias hojas, el aplicativo organiza este proceso mediante reglas de cálculo integradas en el sistema. En consecuencia, los costos y gastos se agrupan en categorías, se aplican factores de imprevistos, se calculan ponderaciones y se obtiene el costo por estudiante, el arancel propuesto y la matrícula estimada.

Dentro de este módulo se identificaron dos casos de uso principales. El primero se orienta a consolidar los costos y gastos por período, considerando imprevistos y ponderaciones. El segundo calcula el costo de la carrera, el costo por estudiante, el arancel propuesto y la matrícula. Ambos casos de uso alimentan posteriormente el módulo de análisis financiero, especialmente para el cálculo de pérdidas y ganancias, flujo de fondos, VAN, TIR y punto de equilibrio.

La tabla 17 resume los casos de uso correspondientes al módulo de costos y gastos. Su propósito es mostrar la relación entre cada caso de uso, el actor que interviene y la función que cumple dentro del proceso general de cálculo de aranceles.

Tabla 17 *Casos de uso del módulo de costos y gastos*

Identificador	Caso de uso	Actor principal	Propósito funcional
CU-CG-01	Consolidar costos y gastos por período con imprevistos y ponderaciones	Sistema / Administrador	Consolidar costos provenientes de módulos fuente, organizarlos en categorías, aplicar factor de imprevistos y calcular ponderaciones.
CU-CG-02	Calcular costo de la carrera y arancel propuesto	Sistema	Calcular costo por estudiante, costo total de la carrera, arancel propuesto y matrícula estimada.

Nota. Elaboración propia

CU-CG-01. Consolidar costos y gastos por período con imprevistos y ponderaciones

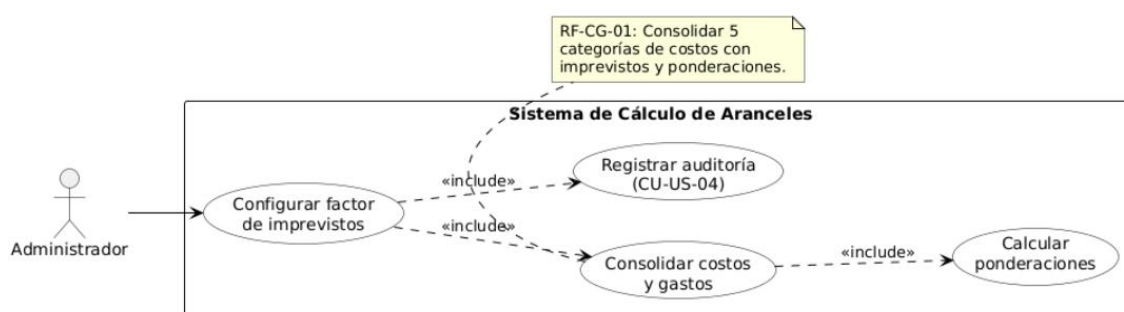
Para ello, se toma información proveniente de sueldos y planta central, demanda e ingresos, mantenimiento, recursos físicos y depreciación, y financiamiento. Luego organiza esos valores

en cinco categorías: costos por servicios, gastos de administración, gastos de ventas, otros gastos y gasto financiero.

Este caso de uso aplica un factor de imprevistos configurable. Por defecto, el sistema considera un factor de 1.05, equivalente al 5 %, aunque el Administrador puede modificarlo siempre que el valor sea igual o superior a 1.0. Esta configuración es importante porque permite incorporar un margen preventivo dentro de la estimación de costos, reduciendo el riesgo de trabajar con valores demasiado ajustados.

Además de consolidar los costos, el sistema calcula la ponderación porcentual de cada rubro respecto al total. Esta funcionalidad facilita el análisis financiero, ya que permite identificar qué categorías tienen mayor peso dentro del costo total de la carrera. Cuando existen datos parcialmente disponibles, el sistema consolida la información existente y marca como pendientes los rubros faltantes, evitando que el usuario interprete el cálculo como completamente cerrado.

Figura 9 Diagrama de caso de uso CU-CG-01: Consolidar costos y gastos por período con imprevistos y ponderaciones



Nota. Elaboración propia

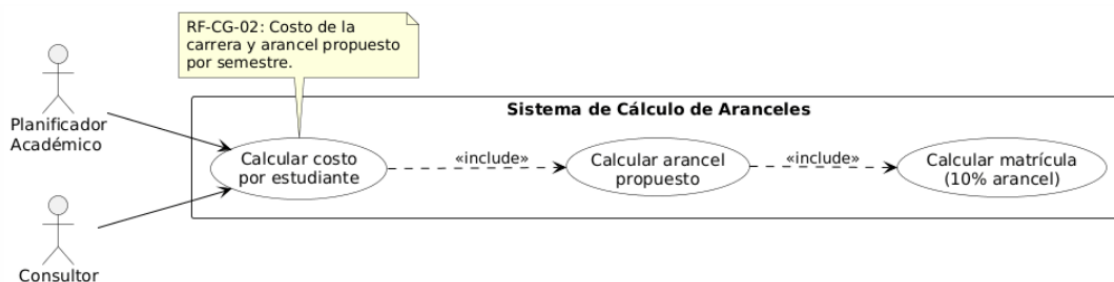
CU-CG-02. Calcular costo de la carrera y arancel propuesto

Permite que el sistema determine automáticamente el costo por estudiante, el costo total de la carrera, el arancel sugerido y la matrícula correspondiente. Para realizar este cálculo, el sistema toma como insumo los costos y gastos consolidados en el caso de uso anterior y la proyección de estudiantes generada en el módulo correspondiente.

Este caso de uso es relevante porque conecta directamente la estructura de costos con la estimación del valor económico que podría cobrarse por la carrera. El sistema calcula el costo por estudiante dividiendo el total de costos y gastos para el número total de estudiantes proyectados. Luego estima el costo total de la carrera durante su duración, calcula el arancel propuesto y determina la matrícula como el 10 % del arancel.

La funcionalidad también permite observar cómo el costo por estudiante puede variar en función de la cantidad de estudiantes proyectados. En términos financieros, cuando aumenta el número de estudiantes, ciertos costos se distribuyen entre una base mayor, lo que puede reducir el costo unitario. Esta información resulta útil para analizar la sostenibilidad de la carrera y para alimentar procesos posteriores de ajuste automático del arancel en el módulo de análisis financiero.

Figura 10 Diagrama de caso de uso CU-CG-02: Calcular costo de la carrera y arancel propuesto



Nota. Elaboración propia

3.5.3 Módulo de demanda e ingresos

El módulo de demanda e ingresos permite configurar y proyectar los valores económicos asociados a la carrera, tomando como base la cantidad de estudiantes, el arancel, la matrícula, las becas, el seguro estudiantil, los presupuestos institucionales y los materiales requeridos. Este módulo funciona como un puente entre la proyección académica y los módulos financieros, debido a que transforma la información de estudiantes y docentes en ingresos, costos complementarios y datos consolidados que posteriormente alimentan costos y gastos, análisis financiero y capital de trabajo.

Dentro del aplicativo, este módulo permite registrar el arancel y la matrícula por estudiante, calcular ingresos proyectados por período, estimar becas y seguro estudiantil, distribuir presupuestos institucionales y consolidar la demanda proyectada. Además, se relaciona con otros componentes del sistema, como Estudiantes, Inflación, Sueldos y Planta Central, Costos y Gastos, Capital de Trabajo y Análisis Financiero.

La siguiente tabla resume los casos de uso correspondientes al módulo de demanda e ingresos. Su propósito es mostrar la relación entre cada funcionalidad, el actor principal y el aporte que realiza dentro del cálculo general de aranceles.

Tabla 18 Casos de uso del módulo de demanda e ingresos

Identificador	Caso de uso	Actor principal	Propósito funcional
---------------	-------------	-----------------	---------------------

CU-DI-01	Configurar arancel y matrícula	Planificador Académico	Registrar el valor del arancel y calcular la matrícula, ya sea manualmente o desde el ajuste automático del módulo de análisis financiero.
CU-DI-02	Calcular ingresos proyectados, becas y seguro estudiantil	Sistema / Administrador	Calcular ingresos por período, becas institucionales y costo del seguro estudiantil.
CU-DI-03	Distribuir presupuestos institucionales	Planificador Académico	Asignar a la carrera la proporción correspondiente de presupuestos de capacitación, internacionalización y marketing.
CU-DI-04	Registrar materiales y calcular costos con inflación	Planificador Académico	Registrar materiales y suministros, proyectar cantidades y calcular costos ajustados por inflación.
CU-DI-05	Consolidar demanda proyectada	Sistema	Reunir estudiantes, docentes, ingresos, seguro, becas, presupuestos y materiales en una vista consolidada.

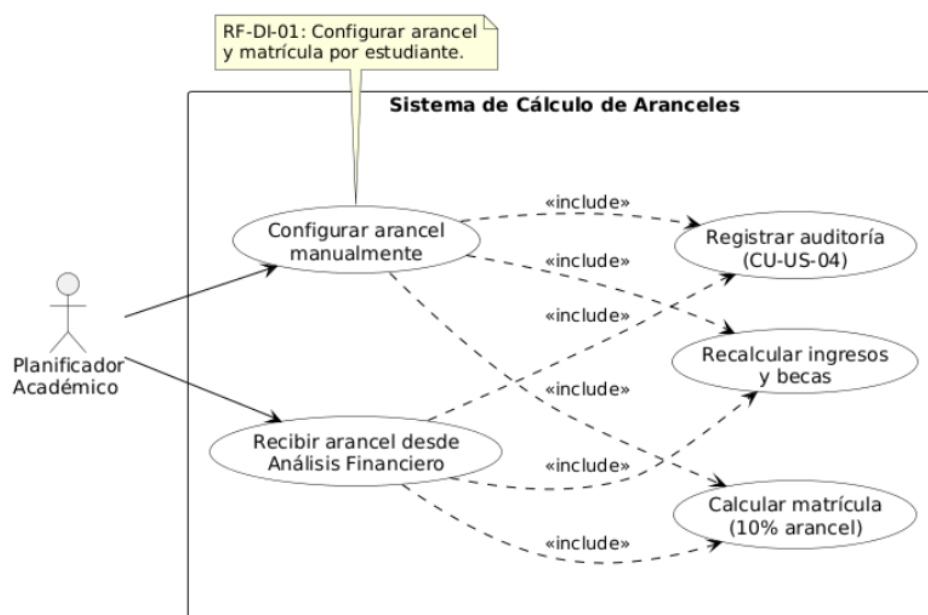
Nota. Elaboración propia

CU-DI-01. Configurar arancel y matrícula

El caso de uso **Configurar arancel y matrícula** permite registrar el valor del arancel por semestre y la matrícula por estudiante. Esta configuración puede realizarse manualmente por el Planificador Académico o mediante la recepción del arancel óptimo calculado desde el módulo de Análisis Financiero, cuando se ejecuta el ajuste automático orientado a aproximar el VAN a cero.

El sistema calcula por defecto la matrícula como el 10 % del arancel; el usuario puede modificar este valor si lo requiere. Cuando el arancel cambia, el aplicativo recalcula automáticamente los ingresos proyectados y las becas asociadas, conservando la relación entre la configuración económica inicial y los demás cálculos del módulo. Además, la acción queda registrada en auditoría: cada cambio conserva su autor y su fecha.

Figura 11 Diagrama de caso de uso CU-DI-01: Configurar arancel y matrícula



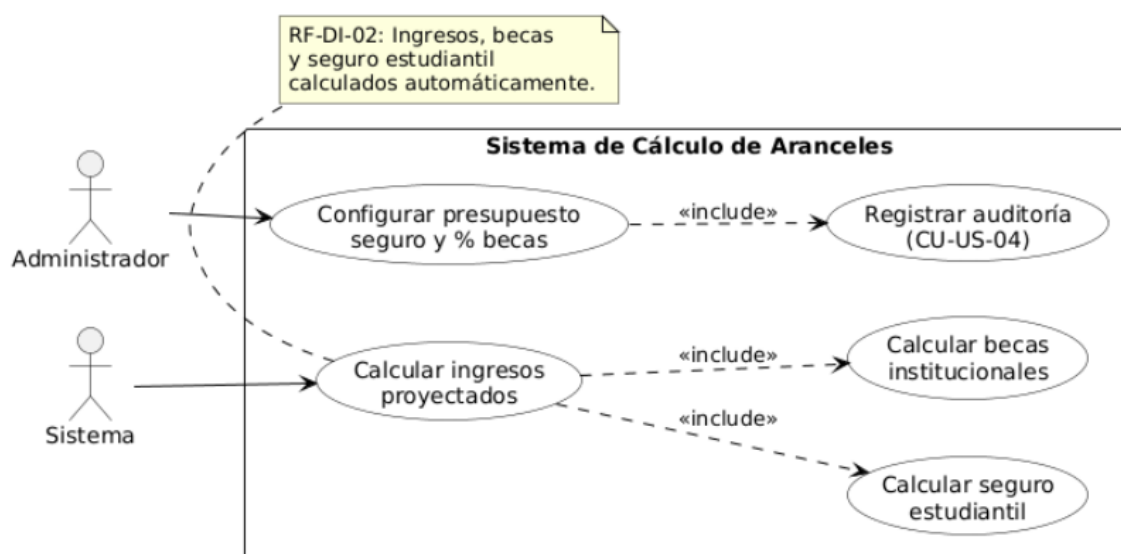
Nota. Elaboración propia

CU-DI-02. Calcular ingresos proyectados, becas y seguro estudiantil

El caso de uso Calcular ingresos proyectados, becas y seguro estudiantil permite que el sistema determine automáticamente los ingresos de la carrera por ciclo y período. Para ello, utiliza la proyección de estudiantes y los valores configurados de arancel y matrícula. A partir de estos datos, calcula el ingreso correspondiente mediante la relación entre estudiantes proyectados y valor económico por estudiante.

Este caso de uso también contempla el cálculo del seguro estudiantil y de las becas institucionales. El seguro se estima distribuyendo el presupuesto anual entre el total de estudiantes de la universidad y los períodos correspondientes, mientras que las becas se calculan como un porcentaje configurable de los ingresos, considerando como referencia un valor base del 10 %. Si el arancel o la proyección de estudiantes no están disponibles, el sistema informa al usuario qué información falta antes de ejecutar el cálculo.

Figura 12 Diagrama de caso de uso CU-DI-02: Calcular ingresos proyectados, becas y seguro estudiantil



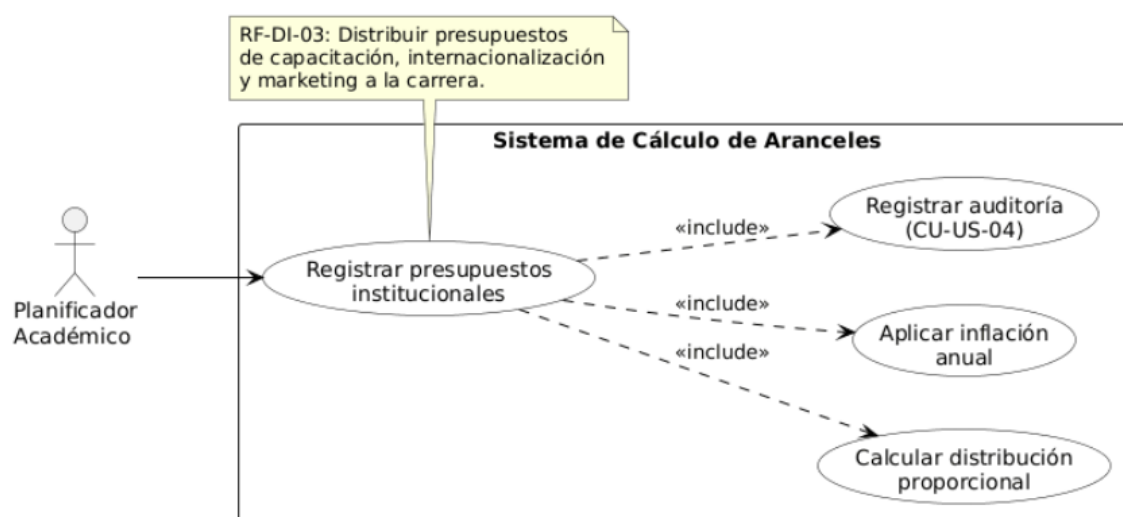
Nota. Elaboración propia

CU-DI-03. Distribuir presupuestos institucionales

El caso de uso Distribuir presupuestos institucionales permite registrar y distribuir los presupuestos anuales relacionados con capacitación docente, internacionalización y marketing. Estos valores se asignan a la carrera de forma proporcional, tomando como referencia la cantidad de estudiantes y docentes de la carrera frente al total institucional.

Esta funcionalidad refleja que una nueva carrera, junto con los ingresos por aranceles, genera costos de fortalecimiento académico, de promoción de la oferta y de participación en actividades institucionales. El sistema aplica inflación anual para proyectar los presupuestos en períodos futuros y recalcula los valores cuando cambian los estudiantes, docentes, presupuestos o factores de inflación.

Figura 13 Diagrama de caso de uso CU-DI-03: Distribuir presupuestos institucionales



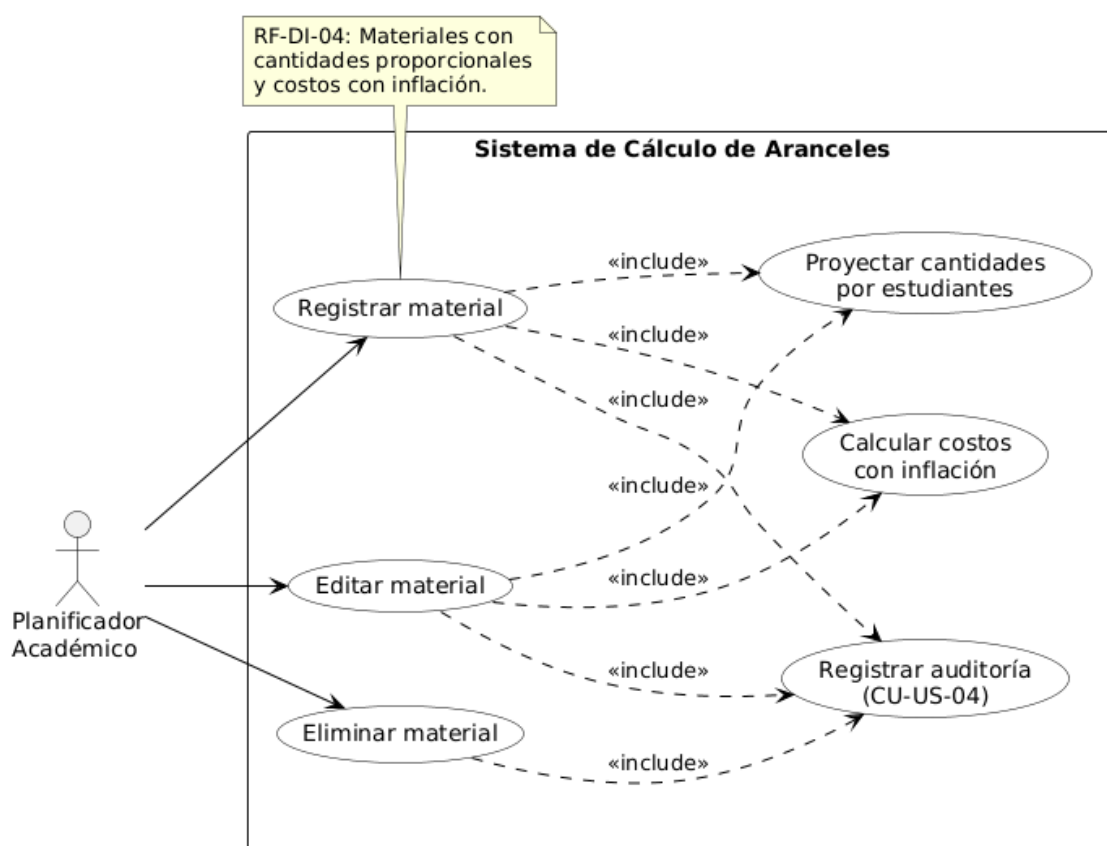
Nota. Elaboración propia

CU-DI-04. Registrar materiales y calcular costos con inflación

Estos materiales pueden incluir insumos recurrentes, artículos de aseo, limpieza, papelería o accesorios, cada uno con cantidad base, precio unitario y categoría correspondiente.

El sistema proyecta las cantidades de materiales en función del número de estudiantes, cuando se trata de artículos variables. En el caso de artículos fijos, como ciertos implementos de limpieza, la cantidad no cambia de acuerdo con la matrícula. Además, los costos se calculan aplicando el factor de inflación acumulado, lo que permite estimar valores más realistas durante el horizonte de evaluación. Los resultados obtenidos alimentan posteriormente los módulos de Costos y Gastos y Capital de Trabajo.

Figura 14 Diagrama de caso de uso CU-DI-04: Registrar materiales y calcular costos con inflación



Nota. Elaboración propia

De forma complementaria al diagrama de caso de uso, la tabla siguiente sintetiza el flujo funcional de este componente.

Tabla 19 Resumen funcional del caso de uso CU-DI-04

Elemento	Descripción
Caso de uso	Registrar materiales y calcular costos con inflación
Actor principal	Planificador Académico
Actor secundario	Sistema
Entradas principales	Materiales con cantidad base, precio unitario y categoría; proyección de estudiantes; inflación registrada.
Proceso central	Registrar el material, proyectar las cantidades en función de los estudiantes (o mantener la cantidad fija cuando corresponde), calcular los costos

	aplicando el factor de inflación acumulado y presentar la tabla de resultados con registro en auditoría.
Salida esperada	Materiales registrados con costos proyectados por período, disponibles como insumo para los módulos de Costos y Gastos y Capital de Trabajo.
Reglas principales	La cantidad de artículos variables es proporcional al número de estudiantes; el costo se calcula con inflación acumulada; se permiten cantidades fijas por período; el recálculo es automático cuando cambian los datos fuente.
Módulos relacionados	Estudiantes, Inflación, Costos y Gastos y Capital de Trabajo.

Nota. Elaboración propia

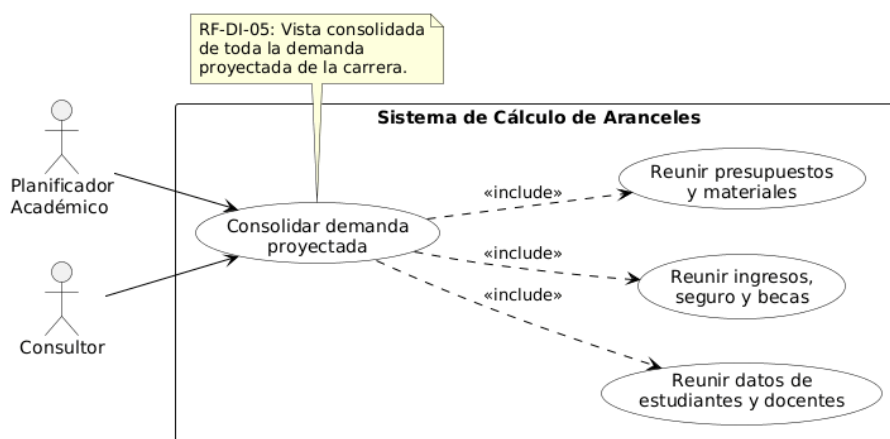
CU-DI-05. Consolidar demanda proyectada

El caso de uso Consolidar demanda proyectada permite reunir en una sola vista la información generada por el módulo de demanda e ingresos. Esta vista integra estudiantes y docentes por período, ingresos proyectados, seguro estudiantil, becas institucionales, presupuestos distribuidos y materiales con sus costos.

La consolidación no modifica datos, sino que organiza la información en una vista de consulta. Esto permite que el Planificador Académico o el Consultor revisen de manera integrada la información necesaria antes de que sea consumida por el módulo de Costos y Gastos. Si existen datos incompletos, el sistema muestra las secciones disponibles y marca como pendientes aquellas que requieren configuración previa.

Como este caso de uso tampoco cuenta con diagrama graficado en los archivos entregados, se presenta mediante una tabla de síntesis funcional.

Figura 15 *Diagrama de caso de uso CU-DI-05: Consolidar demanda proyectada*



Nota. Elaboración propia

Tabla 20 Resumen funcional del caso de uso CU-DI-05

Elemento	Descripción
Caso de uso	Consolidar demanda proyectada
Actor principal	Sistema
Actor secundario	Planificador Académico / Consultor
Entradas principales	Arancel configurado, proyección de estudiantes y docentes, ingresos proyectados, seguro estudiantil, becas institucionales, presupuestos distribuidos y materiales con sus costos.
Proceso central	Reunir los datos generados por el módulo de demanda e ingresos, organizarlos en una vista única de consulta y marcar como pendientes las secciones que requieren configuración previa cuando existen datos parciales.
Salida esperada	Vista consolidada de la demanda proyectada, en modo de solo lectura, disponible antes de que la información sea consumida por el módulo de Costos y Gastos.
Reglas principales	La vista se actualiza automáticamente cuando cambian los datos fuente y opera exclusivamente en modo de solo lectura, sin modificar la información original.

Módulos relacionados	Tasa de Retención, Estudiantes, Inflación y Costos y Gastos.
-----------------------------	--

Nota. Elaboración propia

3.5.4 Módulo de estudiantes

El módulo de estudiantes permite proyectar la cantidad de estudiantes por ciclo, año y período académico, tomando como base la información configurada previamente en el módulo de Tasa de Retención. Sus resultados son el punto de partida de casi todo el cálculo posterior: de la proyección de estudiantes se derivan las horas de docencia, el requerimiento de docentes, la demanda, los ingresos y los costos de personal asociados a la apertura de una nueva carrera universitaria.

A diferencia de una hoja de cálculo manual, donde la proyección depende de referencias entre celdas, el aplicativo automatiza la lectura de datos provenientes del módulo de Tasa de Retención y genera una tabla estructurada con paralelos acumulados, estudiantes proyectados, horas semanales y docentes requeridos. En la matriz, esta proyección dependía de referencias manuales entre la hoja de retención y la de estudiantes; en el aplicativo, cualquier cambio en la tasa recalcula la escalera completa y queda registrado en la auditoría.

Los actores que intervienen en este módulo son el Planificador Académico, el Administrador, el Consultor y el Sistema. El Planificador Académico genera la proyección de estudiantes e ingresa las horas semestrales de docencia asistida y práctica. El Administrador configura parámetros globales, como semanas por semestre, horas estándar por docente, horas por técnico docente y porcentajes de distribución. El Consultor accede a la información en modo de lectura, mientras que el Sistema realiza los cálculos automáticos y registra acciones de auditoría cuando corresponde.

La tabla 21 resume los casos de uso correspondientes al módulo de estudiantes. Su propósito es presentar de forma ordenada la relación entre cada funcionalidad, el actor principal y el aporte que realiza dentro del flujo general del aplicativo.

Tabla 21 Casos de uso del módulo de estudiantes

Identificador	Caso de uso	Actor principal	Propósito funcional
CU-ES-01	Generar paralelos y proyectar estudiantes	Planificador Académico	Calcular paralelos acumulados y proyectar estudiantes por ciclo, año

	por ciclo, año y período		y período a partir de la información del módulo de Tasa de Retención.
CU-ES-02	Configurar y calcular horas de docencia por semana y por paralelos	Planificador Académico	Registrar horas semestrales de docencia asistida y práctica, y calcular horas semanales y acumuladas según paralelos.
CU-ES-03	Calcular docentes requeridos y desglosar por tipo	Planificador Académico	Calcular docentes requeridos por período y clasificarlos en PhD, Mgs., Parcial y Técnico Docente.

Nota. Elaboración propia

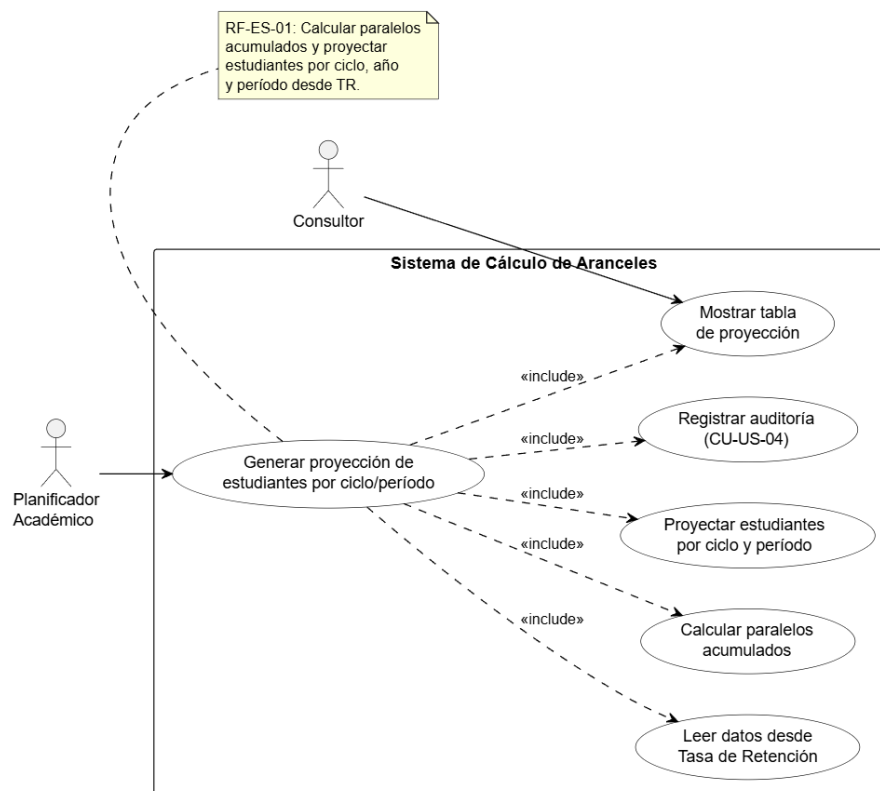
CU-ES-01. Generar paralelos y proyectar estudiantes por ciclo, año y período

El caso de uso Generar paralelos y proyectar estudiantes por ciclo, año y período permite que el sistema tome la información registrada en el módulo de Tasa de Retención y la utilice para construir la proyección académica de la carrera. Entre los datos que se leen se encuentran el número de ciclos, los paralelos por período, los estudiantes simulados por ciclo y las tasas de retención y graduación.

El sistema calcula los paralelos acumulados siguiendo una lógica progresiva por período académico. Luego proyecta los estudiantes por ciclo, año y período, diferenciando el comportamiento del ciclo inicial de los ciclos posteriores. En el primer ciclo se considera el ingreso nuevo de estudiantes, mientras que en los ciclos siguientes se aplican los valores simulados asociados a retención y graduación. Esta proyección genera la base necesaria para calcular horas de docencia y docentes requeridos en los siguientes casos de uso.

Este caso de uso también contempla escenarios alternos, como la ausencia de configuración completa en el módulo de Tasa de Retención, errores al recuperar datos o valores nulos en estudiantes simulados. En esos casos, el sistema informa al usuario qué información falta o qué módulo debe revisarse antes de continuar. Además, el Consultor puede acceder a la proyección generada en modo de solo lectura.

Figura 16 Diagrama de caso de uso CU-ES-01: Generar paralelos y proyectar estudiantes por ciclo, año y período



Nota. Elaboración propia

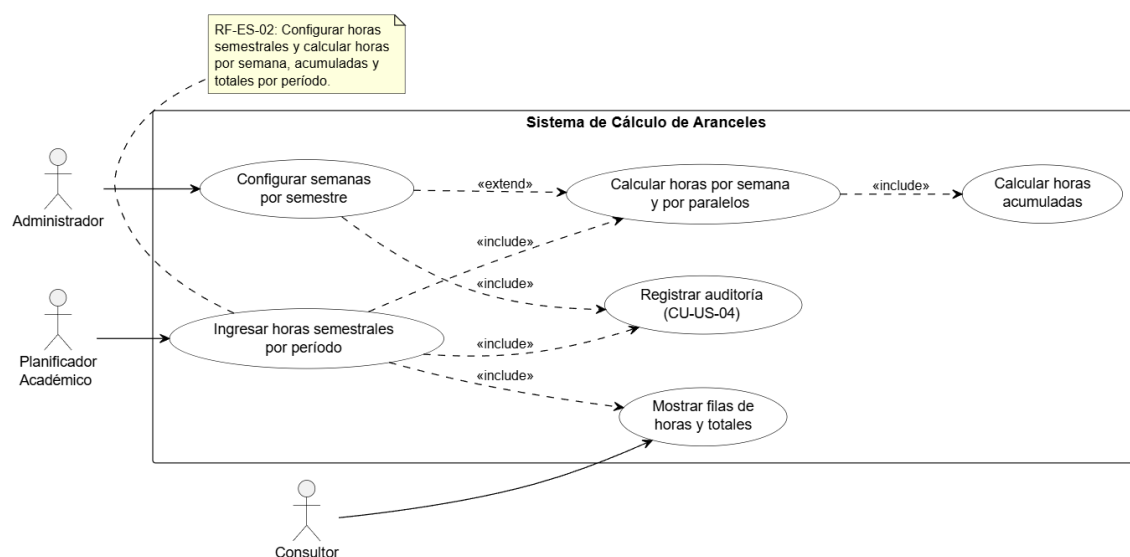
CU-ES-02. Configurar y calcular horas de docencia por semana y por paralelos

El caso de uso Configurar y calcular horas de docencia por semana y por paralelos permite ingresar las horas semestrales de docencia asistida y de aplicación práctica por periodo. A partir de estos valores, el sistema calcula automáticamente las horas por semana, considerando el número de semanas por semestre y los paralelos acumulados generados en el caso de uso anterior.

El Administrador puede configurar el número de semanas por semestre, cuyo valor por defecto es 16. Este parámetro permite transformar las horas semestrales en horas semanales y luego multiplicarlas por los paralelos correspondientes. El sistema también calcula las horas acumuladas de manera progresiva, lo que permite observar cómo crece la carga docente conforme avanza el horizonte de la carrera.

Esta funcionalidad es importante porque las horas calculadas se convierten en insumo obligatorio para determinar el número de docentes requeridos. Si no existe una proyección previa de paralelos, el sistema no ejecuta el cálculo y solicita generar primero la proyección de estudiantes. Además, se validan valores negativos o semanas igual a cero para evitar resultados inconsistentes.

Figura 17 Diagrama de caso de uso CU-ES-02: Configurar y calcular horas de docencia por semana y por paralelos



Nota. Elaboración propia

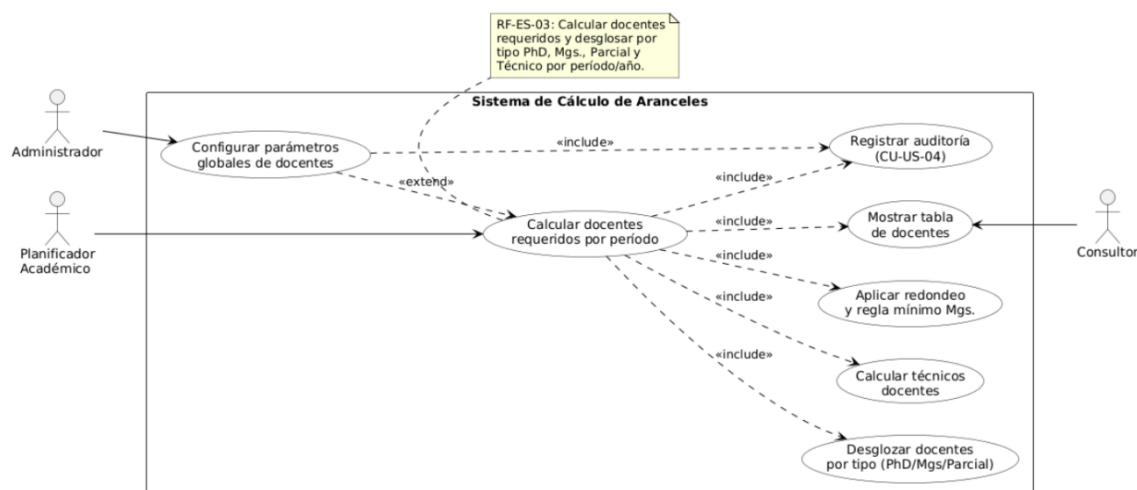
CU-ES-03. Calcular docentes requeridos y desglosar por tipo

El caso de uso Calcular docentes requeridos y desglosar por tipo permite determinar cuántos docentes se necesitan por período académico, tomando como base las horas por semana calculadas previamente. El sistema calcula docentes totales y luego los distribuye por tipo: Tiempo Completo PhD, Tiempo Completo Mgs., Medio Tiempo o Parcial, y Técnico Docente.

El Administrador puede configurar parámetros globales, como horas estándar por docente, horas estándar por técnico docente y porcentajes de distribución entre PhD y Mgs. Por defecto, el documento del caso de uso considera una distribución de 40 % PhD y 60 % Mgs., además de una regla que garantiza al menos un docente con grado de Mgs. cuando existe carga docente en un período.

Este caso de uso resulta clave para conectar la planificación académica con los módulos financieros, debido a que los docentes requeridos alimentan posteriormente el módulo de Sueldos y Planta Central. La proyección de estudiantes se convierte así en una estimación de personal docente y, posteriormente, en costos de remuneración.

Figura 18 Diagrama de caso de uso CU-ES-03: Calcular docentes requeridos y desglosar por tipo



Nota. Elaboración propia

3.5.5 Módulo de financiamiento, balance y reportes

El módulo de financiamiento, balance y reportes permite gestionar la forma en que se financia la inversión inicial de una nueva carrera universitaria, proyectar el balance contable, generar reportes institucionales y exportar resultados del sistema. Este módulo cumple una función integradora, debido a que toma información generada en módulos anteriores, como mantenimiento e inversión inicial, análisis financiero, recursos físicos, depreciación, costos, gastos, ingresos y flujo de fondos.

A diferencia de los módulos que se concentran en cálculos específicos, este componente permite consolidar la información final del aplicativo. Su finalidad es apoyar la revisión financiera, la elaboración de reportes técnicos y la generación de información exportable para distintos usuarios institucionales. Además, incorpora reglas de validación contable, como la verificación de la ecuación Activo = Pasivo + Patrimonio, y permite generar información referencial para reportes vinculados al Consejo de Educación Superior.

Los actores que intervienen en este módulo son el Administrador, el Planificador Académico, el Consultor y el Sistema. El Administrador configura el financiamiento, define parámetros de crédito cuando corresponde y genera reportes institucionales. El Planificador Académico y el Consultor pueden revisar el balance, consultar reportes y exportar información según sus

permisos. El Sistema realiza los cálculos automáticos, consolida datos, genera archivos y registra auditoría cuando corresponde.

La tabla 22 resume los casos de uso del módulo de financiamiento, balance y reportes. Su propósito es presentar las funcionalidades principales del módulo y su relación con los actores que intervienen en el proceso.

Tabla 22 *Casos de uso del módulo de financiamiento, balance y reportes*

Identificador	Caso de uso	Actor principal	Propósito funcional
CU-FB-01	Configurar financiamiento y generar amortización de préstamo	Administrador	Definir la distribución entre recursos propios y crédito, y generar la tabla de amortización si existe financiamiento bancario.
CU-FB-02	Generar Balance Proyectado	Sistema	Calcular activos, pasivos y patrimonio, verificando la ecuación contable.
CU-FB-03	Generar informe CES y reportes por dirección	Administrador	Consolidar información de todos los módulos y generar reportes institucionales.
CU-FB-04	Exportar resultados de cualquier módulo del sistema	Administrador / Planificador Académico / Consultor	Exportar información individual o consolidada en formatos XLSX o PDF.

Nota. Elaboración propia

CU-FB-01. Configurar financiamiento y generar amortización de préstamo

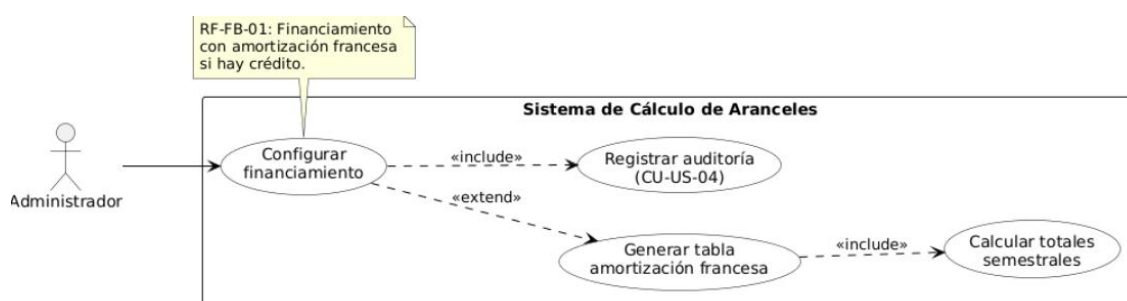
El caso de uso Configurar financiamiento y generar amortización de préstamo permite definir cómo se cubrirá la inversión inicial requerida para la apertura de la carrera. El Administrador puede establecer el porcentaje financiado con recursos propios y el porcentaje cubierto mediante crédito bancario. El sistema valida que la suma de ambos porcentajes sea igual al 100 %, con el fin de asegurar coherencia en la estructura de financiamiento.

Cuando existe crédito, el sistema solicita la tasa de interés anual y el plazo en años. A partir de estos datos, genera una tabla de amortización bajo el sistema francés, es decir, con cuota fija. Esta

tabla contiene información sobre número de pago, saldo de capital, interés, amortización de capital, cuota e interés acumulado. Además, el sistema calcula totales semestrales para que estos valores puedan alimentar módulos posteriores como Balance, Flujo de Fondos y Costos y Gastos.

Esta funcionalidad es importante porque permite separar los valores de capital e intereses. Los intereses semestrales se utilizan como “intereses por pagar”, mientras que el capital pendiente se considera dentro de “préstamos por pagar”. Así, el financiamiento registrado se convierte en información contable y financiera utilizable en la proyección de la carrera.

Figura 19 Diagrama de caso de uso CU-FB-01: Configurar financiamiento y generar amortización de préstamo



Nota. Elaboración propia

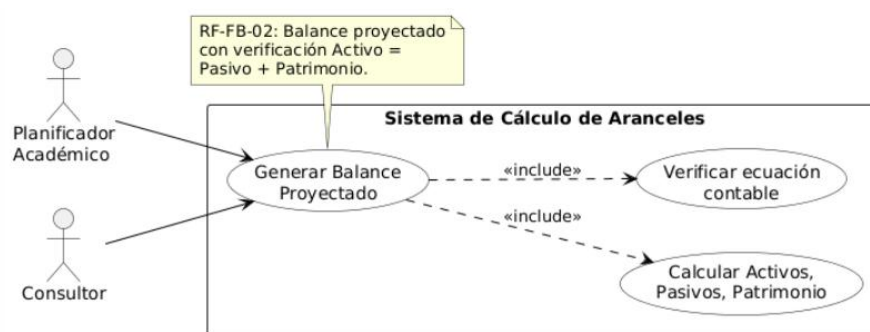
CU-FB-02. Generar Balance Proyectado

El caso de uso Generar Balance Proyectado permite que el sistema construya automáticamente el balance de la carrera por año. Para ello, reúne datos provenientes de diferentes módulos, como caja y bancos, inventarios, activos fijos, depreciación acumulada, utilidades del ejercicio, préstamos e intereses. Con esta información, calcula activos, pasivos y patrimonio.

El balance proyectado clasifica los activos en corriente, realizable y fijo tangible. A su vez, los pasivos se organizan en corriente y largo plazo, considerando elementos como participación, impuesto a la renta, préstamos por pagar e intereses por pagar. El patrimonio se calcula a partir del capital inicial y la utilidad o pérdida del ejercicio.

Una parte esencial de este caso de uso es la verificación de la ecuación contable fundamental: $\text{Activo} = \text{Pasivo} + \text{Patrimonio}$. Si el balance no cuadra, el sistema muestra una alerta al usuario, pero no impide la visualización de la información. Esto permite revisar los datos fuente sin bloquear el análisis financiero, manteniendo visible la diferencia detectada para su corrección.

Figura 20 Diagrama de caso de uso CU-FB-02: Generar Balance Proyectado



Nota. Elaboración propia

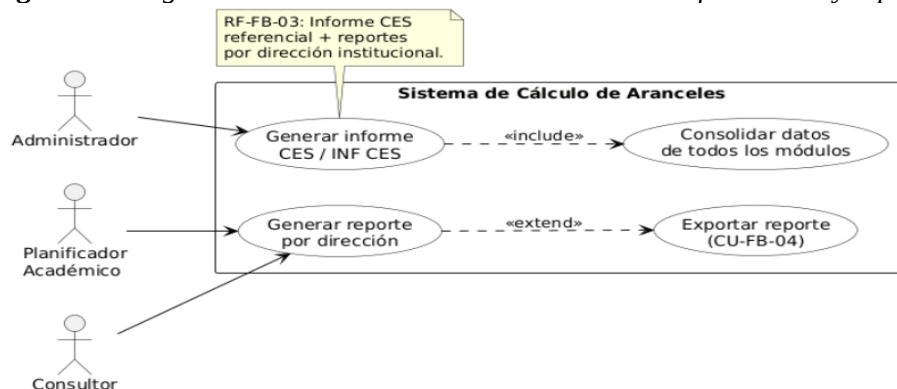
CU-FB-03. Generar informe CES y reportes por dirección

El caso de uso Generar informe CES y reportes por dirección permite consolidar información de todos los módulos del sistema para construir reportes técnicos. El Administrador puede generar un informe referencial orientado a justificar el arancel ante el Consejo de Educación Superior, así como reportes filtrados para las distintas direcciones institucionales involucradas en el proceso.

El sistema consolida datos relacionados con costos, inversión, gastos corrientes, infraestructura, equipamiento, becas, personal académico, arancel propuesto, matrícula y número de estudiantes de la primera cohorte. También puede generar cuadros de resumen e información presupuestaria relacionada con la culminación de la primera cohorte y con los indicadores requeridos para la revisión institucional.

Además del informe CES, el módulo genera reportes por dirección institucional. La Dirección Financiera puede revisar flujo de fondos, costos, TIR, VAN y punto de equilibrio; Gestión Docente puede consultar docentes requeridos, horas y proporciones PhD/Mgs.; la Dirección Administrativa puede revisar recursos físicos, mantenimiento e inversión; Estrategia Comercial puede consultar demanda, marketing y arancel; y Talento Humano puede revisar sueldos, cargos y beneficios sociales.

Figura 21 Diagrama de caso de uso CU-FB-03: Generar informe CES y reportes por dirección



Nota. Elaboración propia

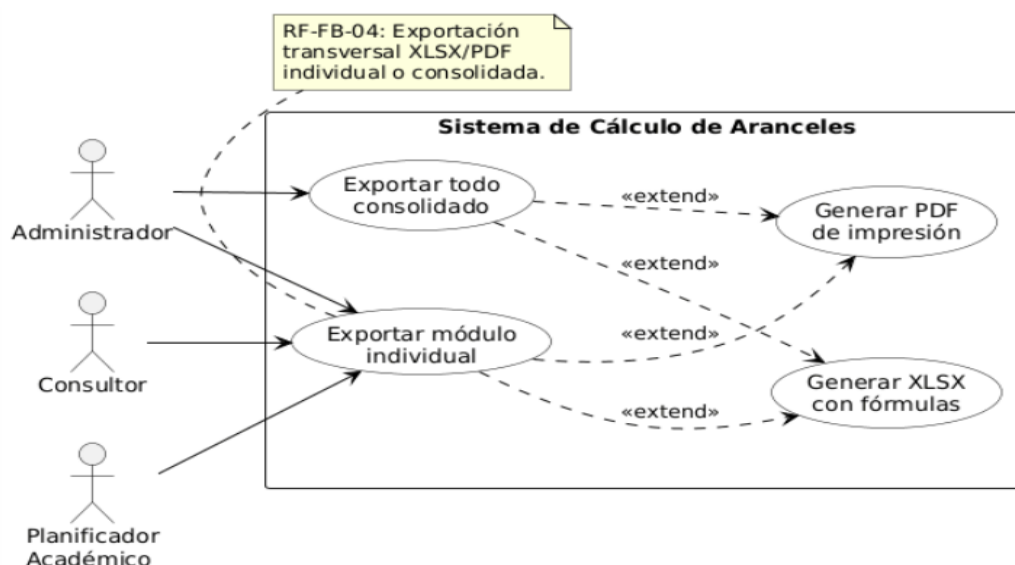
CU-FB-04. Exportar resultados de cualquier módulo del sistema

El caso de uso Exportar resultados de cualquier módulo del sistema representa una funcionalidad transversal del aplicativo, ya que permite exportar información desde cualquier módulo en formatos XLSX o PDF. Esta exportación puede realizarse de forma individual, cuando se requiere obtener los resultados de un módulo específico, o de forma consolidada, cuando se necesita generar un archivo con toda la información del sistema.

El formato XLSX permite conservar fórmulas cuando sea posible, mientras que el formato PDF se orienta a generar documentos limpios para impresión o revisión institucional. Esta funcionalidad está disponible para los usuarios que tienen permisos de lectura sobre el módulo correspondiente, por lo que puede ser utilizada por Administrador, Planificador Académico o Consultor, según el nivel de acceso asignado.

La exportación es importante porque permite que los resultados del aplicativo no queden únicamente dentro del sistema. Al generar archivos externos, la información puede ser revisada, compartida, archivada o utilizada como evidencia técnica dentro del proceso institucional de apertura de nuevas carreras. También permite conservar reportes individuales o consolidados para futuras validaciones.

Figura 22 Diagrama de caso de uso CU-FB-04: Exportar resultados de cualquier módulo del sistema



Nota. Elaboración propia

3.5.6 Módulo de inflación

El módulo de inflación permite registrar, editar y proyectar los porcentajes de inflación anual utilizados como referencia para los cálculos económicos del aplicativo. En la matriz, estos porcentajes requerían actualización manual desde las publicaciones del Banco Central del Ecuador; en el aplicativo, el módulo entrega los datos registrados o proyectados a los demás módulos, que los usan para ajustar costos, materiales, sueldos, mantenimiento e inversiones durante el horizonte de proyección.

Este módulo no calcula directamente los costos finales de cada área, sino que actúa como una fuente de datos para los módulos que requieren aplicar inflación. De acuerdo con el diseño funcional, los porcentajes registrados en este componente quedan disponibles en modo de consulta para módulos como Sueldos, Demanda y Mantenimiento. Cada uno de ellos utiliza esos valores según su propia lógica de cálculo, lo que permite mantener separada la gestión de inflación de los procesos específicos de ajuste económico.

Los actores que intervienen en este módulo son el Administrador, el Planificador Académico, el Consultor y el Sistema. El Administrador puede registrar, importar, editar y proyectar datos de inflación. El Planificador Académico puede consultar la información y, cuando corresponde, ajustar valores proyectados. El Consultor visualiza los datos registrados y proyectados. El Sistema valida los rangos, evita duplicidades, genera proyecciones mediante regresión lineal y registra auditoría de las acciones realizadas.

La tabla resume los casos de uso del módulo de inflación. Su propósito es mostrar cómo se organiza funcionalmente la gestión de datos históricos, edición de registros y proyección de valores futuros.

Tabla 23 *Casos de uso del módulo de inflación*

Identificador	Caso de uso	Actor principal	Propósito funcional
CU-IN-01	Registrar datos históricos de inflación anual	Administrador	Registrar o importar datos históricos de inflación anual, validando año, porcentaje, fuente y duplicidad.
CU-IN-02	Editar datos de inflación registrados	Administrador / Planificador Académico	Modificar porcentajes o fuentes de inflación, conservando trazabilidad del cambio realizado.

CU-IN-03	Proyectar inflación para años futuros	Administrador	Generar proyecciones de inflación mediante regresión lineal y permitir ajustes manuales cuando sea necesario.
-----------------	---	---------------	--

Nota. Elaboración propia

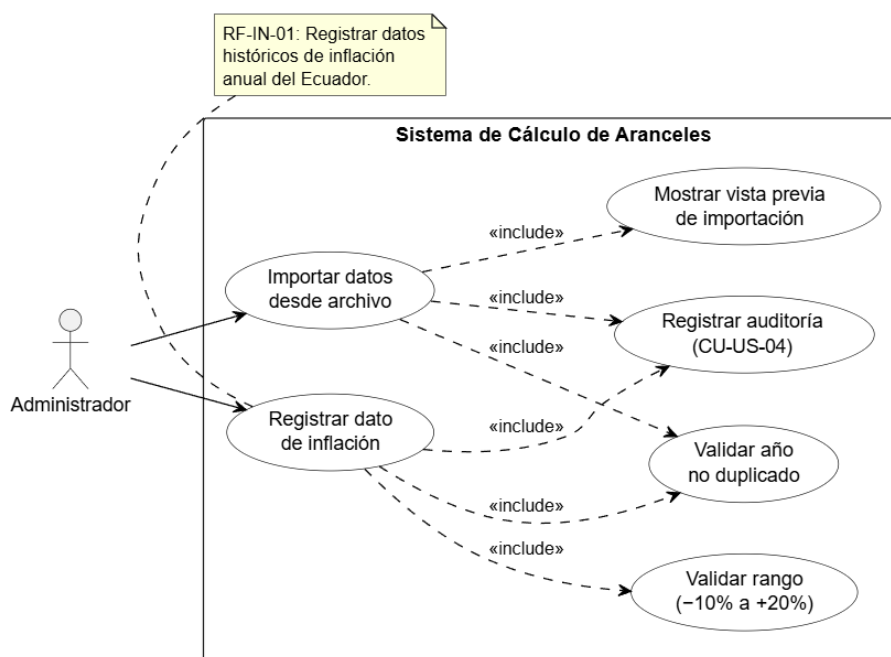
CU-IN-01. Registrar datos históricos de inflación anual

El caso de uso Registrar datos históricos de inflación anual permite que el Administrador ingrese manualmente los datos de inflación del Ecuador, indicando el año, el porcentaje correspondiente y la fuente del dato. También contempla la posibilidad de importar información desde archivos en formato XLSX o CSV, lo cual facilita la carga de datos históricos cuando se dispone de registros previos.

El sistema valida que el año no se encuentre duplicado y que el porcentaje de inflación esté dentro de un rango razonable, establecido entre -10% y $+20\%$. Esta validación es necesaria porque la inflación puede ser positiva o negativa, pero debe mantenerse dentro de límites que permitan identificar posibles errores de digitación. Además, el sistema registra la fuente del dato, como BCE, estimación u otra referencia autorizada, con el fin de conservar trazabilidad sobre el origen de la información.

Cuando la información se importa desde archivo, el sistema muestra una vista previa, identifica filas con errores y permite importar únicamente los registros válidos. Esta funcionalidad reduce el riesgo de ingresar datos incorrectos y permite mantener una base histórica ordenada para los cálculos de proyección.

Figura 23 Diagrama de caso de uso CU-IN-01: Registrar datos históricos de inflación anual



Nota. Elaboración propia

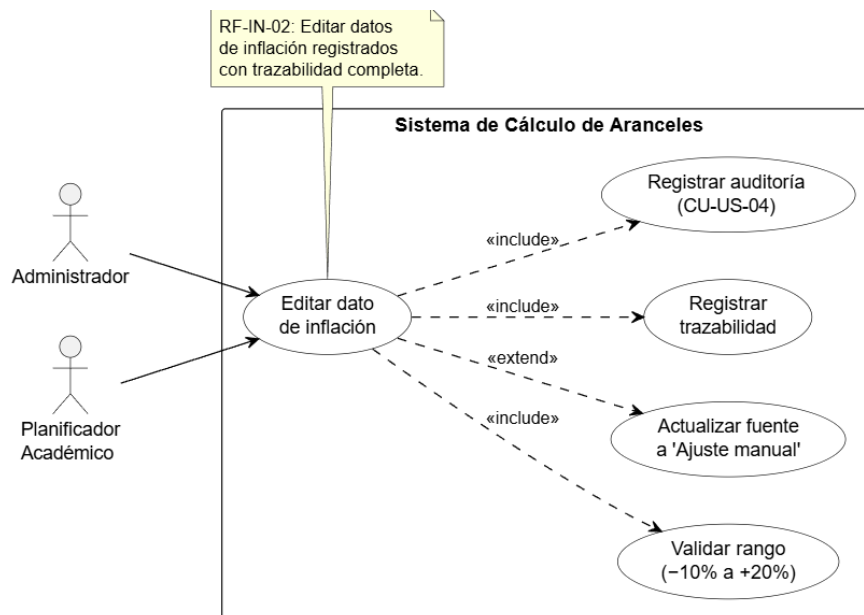
CU-IN-02. Editar datos de inflación registrados

El caso de uso **Editar datos de inflación registrados** permite modificar el porcentaje de inflación o la fuente asociada a un año previamente registrado. Esta funcionalidad puede ser utilizada por el Administrador para editar datos históricos o por el Planificador Académico para ajustar valores proyectados, siempre que cuente con permisos de escritura sobre el módulo.

El sistema conserva el año como un campo inmutable, es decir, no permite modificarlo una vez creado el registro. Esta restricción evita inconsistencias en la serie histórica de inflación. Si se requiere corregir un año, el registro debe eliminarse y crearse nuevamente. Al editar un dato, el sistema valida que el nuevo porcentaje se encuentre dentro del rango permitido y registra la modificación con información de usuario, fecha, hora y valor anterior.

Esta trazabilidad es importante porque los valores de inflación pueden afectar cálculos de otros módulos. Por ejemplo, un cambio en la inflación proyectada puede influir en costos de materiales, sueldos o mantenimiento. Si el dato editado corresponde a una proyección generada por regresión lineal, el sistema cambia la fuente a “Ajuste manual”, diferenciando claramente los valores calculados automáticamente de aquellos modificados por decisión del usuario.

Figura 24 Diagrama de caso de uso CU-IN-02: Editar datos de inflación registrados



Nota. Elaboración propia

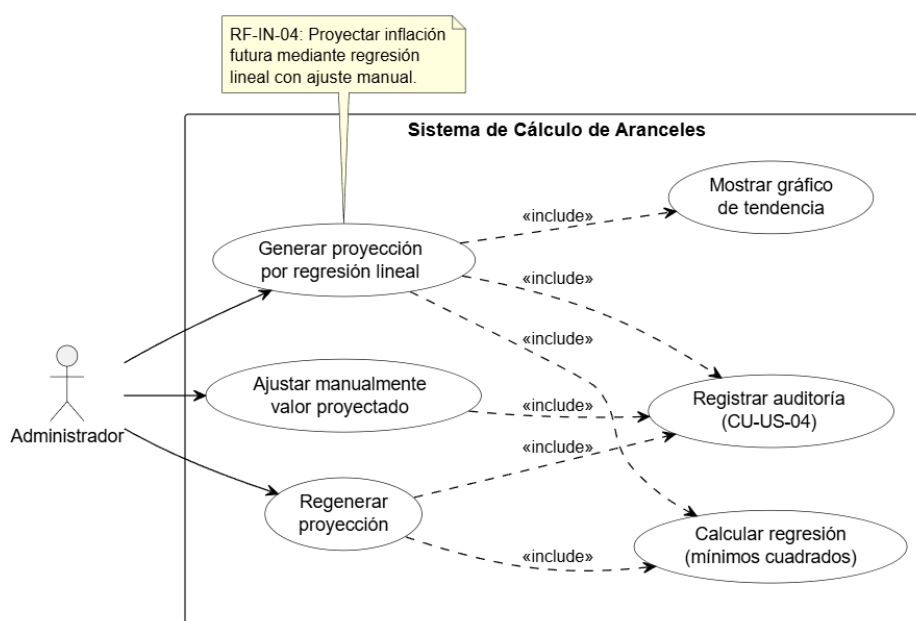
CU-IN-03. Proyectar inflación para años futuros

El caso de uso Proyectar inflación para años futuros permite generar valores estimados de inflación para los años del horizonte de la carrera que no cuentan con datos históricos. Para ello, el sistema utiliza regresión lineal mediante mínimos cuadrados, tomando como base los datos históricos registrados en el módulo.

El Administrador define el rango de años a proyectar, por ejemplo desde el año base hasta el último año del horizonte de evaluación. El sistema identifica los años que no tienen información histórica, calcula la tendencia y genera valores proyectados. Estos registros se muestran diferenciados visualmente de los datos históricos, con tipo “Proyectado” y fuente “Regresión lineal”.

El caso de uso también permite ajustar manualmente cualquier valor proyectado. Cuando esto ocurre, la fuente cambia a “Ajuste manual”, conservando la evidencia de que el dato ya no proviene directamente del cálculo automático. Además, el sistema permite regenerar la proyección, aunque esta acción reemplaza los valores proyectados anteriores, incluidos los ajustes manuales, previa confirmación del usuario.

Figura 25 Diagrama de caso de uso CU-IN-03: Proyectar inflación para años futuros



Nota. Elaboración propia

3.5.7 Módulo de mantenimiento, capital de trabajo e inversión inicial

El módulo de mantenimiento, capital de trabajo e inversión inicial permite calcular los costos operativos atribuibles a una nueva carrera universitaria, estimar el capital necesario para iniciar operaciones sin ingresos inmediatos, consolidar la inversión inicial y registrar activos diferidos. Este módulo cumple una función estratégica dentro del aplicativo, debido a que convierte información operativa y administrativa en valores financieros que luego son utilizados por los módulos de Costos y Gastos, Flujo de Fondos, Financiamiento y Balance.

Los actores que intervienen en este módulo son el Administrador, el Planificador Académico, el Consultor y el Sistema. El Administrador registra costos anuales, configura meses de capital de trabajo, porcentaje de imprevistos y tasa de amortización. El Planificador Académico registra activos diferidos y revisa el resumen de inversión inicial. El Consultor accede a la información en modo de lectura, mientras que el Sistema realiza cálculos automáticos, distribuciones proporcionales, recálculos y registros de auditoría.

La tabla 24 resume los casos de uso correspondientes al módulo de mantenimiento, capital de trabajo e inversión inicial. Su finalidad es mostrar cómo cada caso de uso aporta al cálculo de la inversión requerida para la apertura de la carrera.

Tabla 24 Casos de uso del módulo de mantenimiento, capital de trabajo e inversión inicial

Identificador	Caso de uso	Actor principal	Propósito funcional
CU-MI-01	Registrar y calcular costos de servicios básicos y mantenimiento	Administrador	Registrar costos anuales institucionales y distribuirlos proporcionalmente a la carrera por período, aplicando inflación.
CU-MI-02	Calcular capital de trabajo	Administrador	Calcular el dinero necesario para operar durante los primeros meses sin ingresos, usando los costos mensuales del primer período.
CU-MI-03	Calcular inversión inicial total	Sistema	Consolidar activos diferidos, activos fijos, capital de trabajo e imprevistos para obtener la inversión inicial.
CU-MI-04	Registrar activos diferidos y calcular amortización	Planificador Académico	Registrar gastos preoperativos y calcular su amortización semestral durante el horizonte de la carrera.

Nota. Elaboración propia

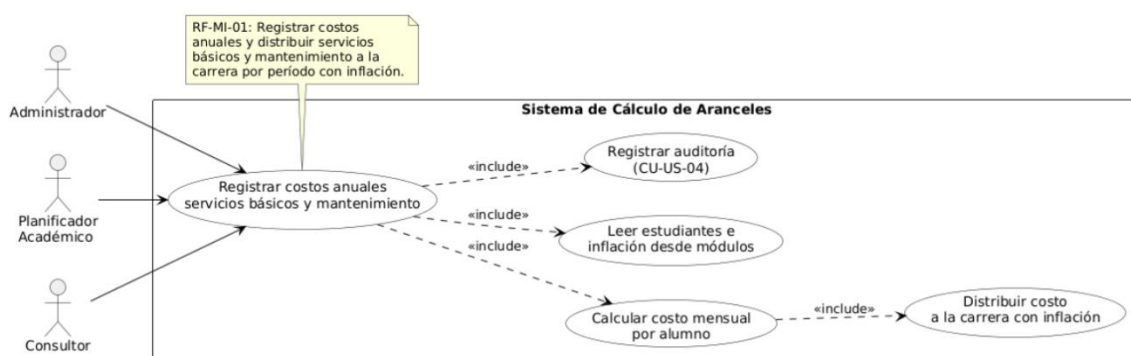
CU-MI-01. Registrar y calcular costos de servicios básicos y mantenimiento

El caso de uso Registrar y calcular costos de servicios básicos y mantenimiento permite que el Administrador ingrese los costos anuales institucionales relacionados con servicios básicos y mantenimiento. Dentro de servicios básicos se consideran rubros como agua, internet, energía y comunicaciones. En mantenimiento se incluyen limpieza, seguros, seguridad y refacciones. Estos valores corresponden a costos generales de la universidad, por lo que el sistema debe distribuirlos proporcionalmente a la carrera.

Para realizar el cálculo, el sistema toma el total anual de cada grupo de costos, lo divide para el total de estudiantes de la universidad y luego obtiene un costo mensual por estudiante. Posteriormente, ese valor se multiplica por los estudiantes proyectados de la carrera, por los seis meses del período académico y por el factor de inflación acumulado correspondiente. El resultado es que un costo institucional anual se convierte en un costo específico atribuible a la carrera por período.

Esta funcionalidad depende de datos provenientes de otros módulos. El total de estudiantes de la universidad se obtiene desde Sueldos y Planta Central; la cantidad de estudiantes por período proviene del módulo de Estudiantes; y el factor de inflación se lee desde el módulo de Inflación. Si alguno de estos datos no está disponible, el sistema genera advertencias y utiliza valores provisionales, evitando que el proceso se bloquee completamente.

Figura 26 Diagrama de caso de uso CU-MI-01: Registrar y calcular costos de servicios básicos y mantenimiento



Nota. Elaboración propia

CU-MI-02. Calcular capital de trabajo

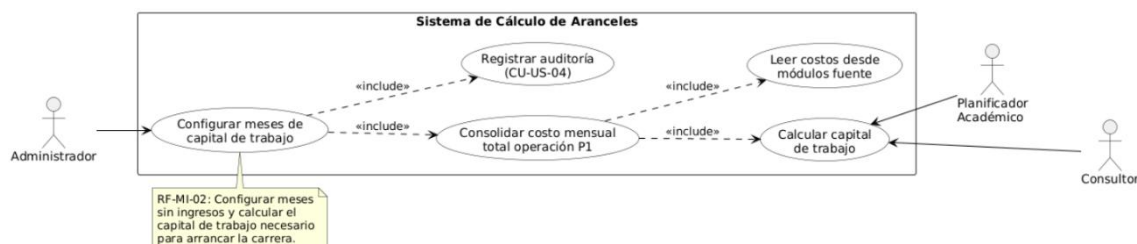
Este cálculo es relevante porque una nueva oferta académica puede requerir pagos iniciales de sueldos, servicios, mantenimiento y materiales antes de alcanzar un flujo de ingresos suficiente.

El Administrador configura el número de meses de capital de trabajo, cuyo valor por defecto es dos. Luego, el sistema consolida el costo mensual total de operación del primer período. Para ello, considera los sueldos mensuales provenientes del módulo de Sueldos y Planta Central, los costos mensuales de servicios básicos y mantenimiento calculados en CU-MI-01, y los materiales mensuales provenientes del módulo de Demanda.

El cálculo se realiza multiplicando el costo mensual total de operación por el número de meses configurado. El resultado representa el capital que debe estar disponible para que la carrera pueda iniciar operaciones. Si alguno de los módulos fuente no tiene datos del primer período, el sistema utiliza valores provisionales y muestra advertencias para que el usuario complete la información pendiente.

Este valor alimenta directamente el cálculo de inversión inicial total, por lo que su correcta configuración es necesaria para estimar cuánto dinero debe inyectar la universidad al inicio del proyecto académico.

Figura 27 Diagrama de caso de uso CU-MI-02: Calcular capital de trabajo



Nota. Elaboración propia

CU-MI-03. Calcular inversión inicial total

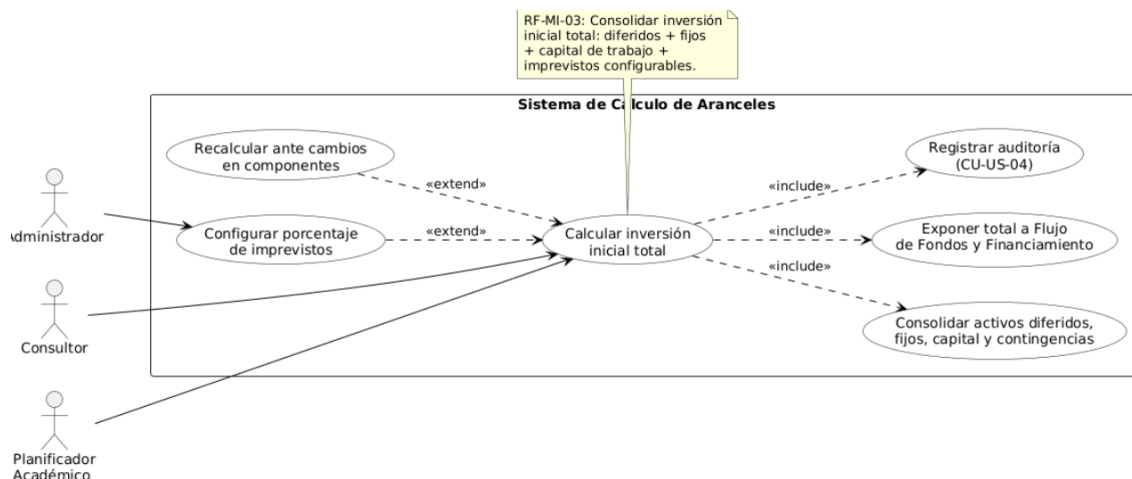
El sistema integra cuatro elementos principales: activos diferidos, activos fijos del año cero, capital de trabajo e imprevistos. Esta suma representa la inversión inicial que la universidad debe considerar para poner en marcha la nueva oferta académica.

El sistema verifica la disponibilidad de los componentes antes de realizar el cálculo. Los activos diferidos provienen del caso CU-MI-04; los activos fijos del año cero se obtienen desde el módulo de Recursos Físicos y Depreciación; el capital de trabajo proviene de CU-MI-02; y los imprevistos se calculan como un porcentaje configurable sobre el capital de trabajo. Por defecto, el porcentaje de imprevistos es del 5 %, aunque puede ser modificado por el Administrador dentro del rango permitido.

El total calculado se expone al módulo de Flujo de Fondos como inversión del año cero y al módulo de Financiamiento como monto a financiar. Esta conexión es importante porque permite que la inversión inicial no quede aislada, sino que se utilice en los cálculos posteriores de viabilidad financiera, recuperación de inversión y estructura de financiamiento.

Cuando algún componente no está disponible, el sistema no bloquea el proceso. En su lugar, utiliza un valor provisional de cero y muestra una advertencia al usuario. Esto permite revisar la inversión inicial de forma parcial, pero también deja claro qué información debe completarse para obtener un cálculo definitivo.

Figura 28 Diagrama de caso de uso CU-MI-03: Calcular inversión inicial total



Nota. Elaboración propia

CU-MI-04. Registrar activos diferidos y calcular amortización

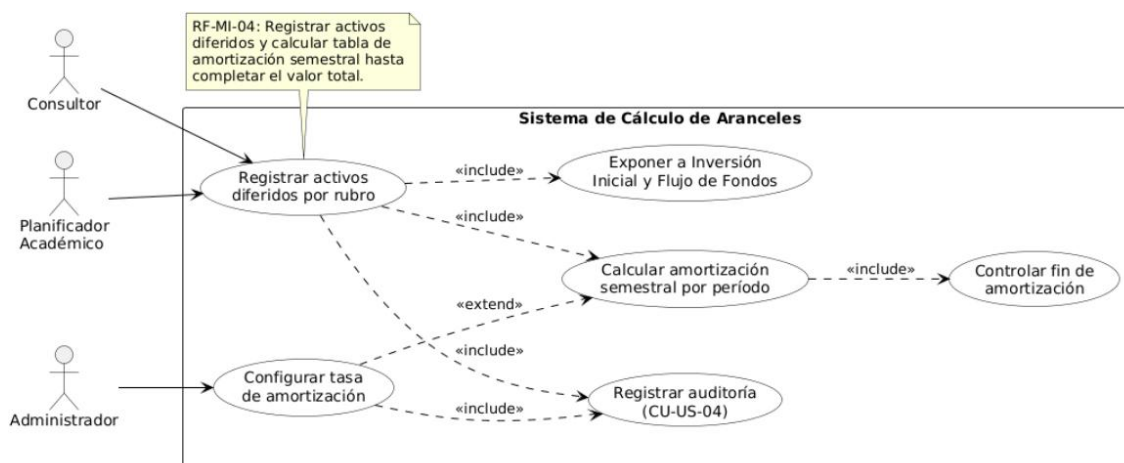
El caso de uso Registrar activos diferidos y calcular amortización permite registrar gastos preoperativos asociados a la carrera, como permisos municipales, permisos de bomberos u otros trámites necesarios antes del inicio de operaciones. Estos rubros pueden tener un valor económico específico o mantenerse en cero cuando la carrera no requiere este tipo de gastos.

El Planificador Académico registra los activos diferidos con su nombre y valor en dólares. Luego, el sistema calcula el total de activos diferidos y aplica una tasa de amortización anual. Por defecto, la tasa configurada es del 20 % anual, equivalente a una vida contable de cinco años o diez semestres. A partir de este dato, el sistema calcula la amortización semestral y la distribuye durante el horizonte de evaluación hasta completar el valor total del activo diferido.

Esta funcionalidad permite que los gastos preoperativos no se traten únicamente como un valor inicial, sino también como un componente amortizable en el tiempo. La tabla de amortización generada alimenta los módulos de Costos y Gastos y Flujo de Fondos, mientras que el total de activos diferidos se utiliza como uno de los componentes de la inversión inicial.

Si la amortización acumulada alcanza el valor total de los activos diferidos antes de finalizar el horizonte de evaluación, el sistema ajusta el último período para no exceder el total original y fija en cero los períodos restantes. Esta regla evita que la amortización supere el valor registrado y mantiene consistencia en el cálculo financiero.

Figura 29 Diagrama de caso de uso CU-MI-04: Registrar activos diferidos y calcular amortización



Nota. Elaboración propia

3.5.8 Módulo de recursos físicos y depreciación

El módulo de recursos físicos y depreciación permite registrar los activos fijos necesarios para la apertura y funcionamiento de una nueva carrera universitaria. Dentro de este módulo se consideran tanto los activos requeridos en la inversión inicial como las necesidades futuras que pueden surgir durante el horizonte de evaluación. Además, el sistema calcula los costos monetarios de esas necesidades aplicando inflación, determina la depreciación semestral por activo y consolida la depreciación acumulada por período.

Este módulo es relevante porque conecta la planificación física de la carrera con los cálculos financieros posteriores. Los activos registrados alimentan el módulo de inversión inicial, mientras que los costos monetarios proyectados se envían al flujo de fondos y a costos y gastos. A su vez, la depreciación semestral y acumulada permite reflejar la pérdida de valor de los activos en el tiempo y generar información útil para el balance proyectado.

La siguiente tabla resume los casos de uso correspondientes al módulo de recursos físicos y depreciación. Su finalidad es mostrar cómo cada funcionalidad contribuye al registro, proyección, valoración y depreciación de los activos requeridos por la carrera.

Tabla 25 Casos de uso del módulo de recursos físicos y depreciación

Identificador	Caso de uso	Actor principal	Propósito funcional
---------------	-------------	-----------------	---------------------

CU-RD-01	Registrar activos fijos y proyectar necesidades futuras	Planificador Académico	Registrar activos de inversión inicial y planificar necesidades futuras por período.
CU-RD-02	Calcular costos monetarios de necesidades proyectadas con inflación	Planificador Académico	Calcular el costo de activos futuros aplicando el factor de inflación acumulado.
CU-RD-03	Calcular depreciación semestral por activo	Planificador Académico	Calcular la depreciación de cada activo mediante el método de línea recta.
CU-RD-04	Calcular depreciación acumulada por período	Sistema	Sumar progresivamente la depreciación semestral y generar valores para Costos y Gastos y Balance.

Nota. Elaboración propia

CU-RD-01. Registrar activos fijos y proyectar necesidades futuras

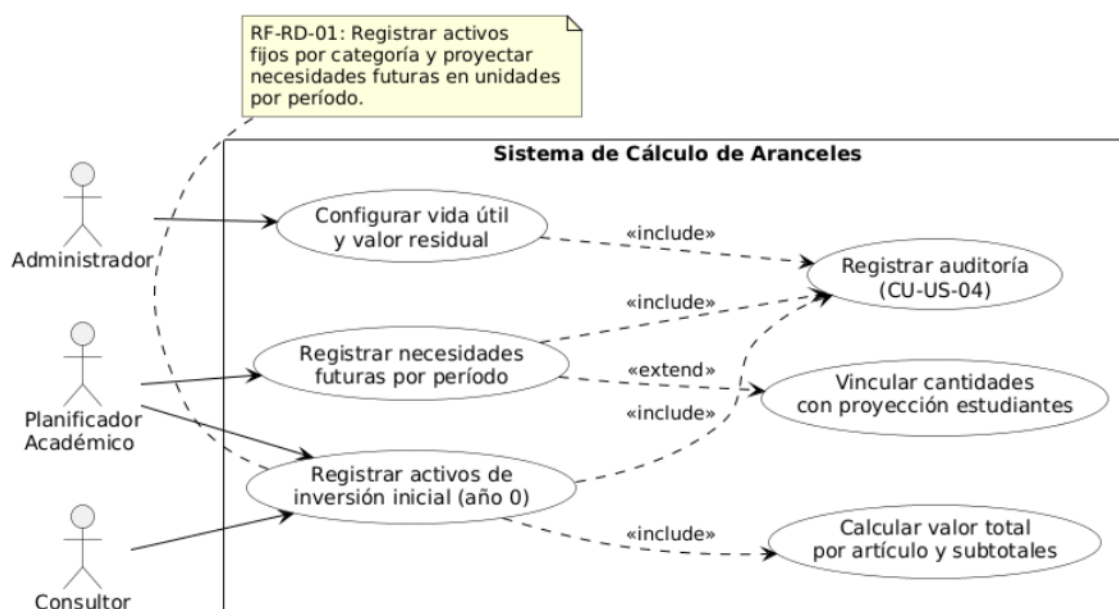
El caso de uso Registrar activos fijos y proyectar necesidades futuras permite que el Planificador Académico registre los activos requeridos para iniciar la carrera. Estos activos se organizan por categorías, como muebles y enseres, laboratorios y equipos, equipo de cómputo, equipo de oficina y edificaciones. Para cada activo se ingresa una descripción, cantidad, unidad y valor unitario, a partir de lo cual el sistema calcula automáticamente el valor total por artículo, los subtotales por categoría y el total general de activos fijos del año cero.

Este caso de uso también permite proyectar necesidades futuras en unidades por período. Algunos activos pueden estar vinculados al número de estudiantes proyectados, como ciertos recursos tecnológicos o plataformas, mientras que otros se ingresan manualmente, por ejemplo, un laboratorio requerido en un período específico. Esta funcionalidad permite que la planificación física de la carrera no se limite a la inversión inicial, sino que considere necesidades que aparecen durante el desarrollo del programa.

El Administrador puede configurar la vida útil y el valor residual por categoría de activo. Estos parámetros son necesarios para que posteriormente el sistema pueda calcular la depreciación. Si

no existe proyección de estudiantes, el sistema puede mostrar valores provisionales y permitir el ingreso manual, evitando que el flujo se bloquee por falta de información.

Figura 30 Diagrama de caso de uso CU-RD-01: Registrar activos fijos y proyectar necesidades futuras



Nota. Elaboración propia

CU-RD-02. Calcular costos monetarios de necesidades proyectadas con inflación

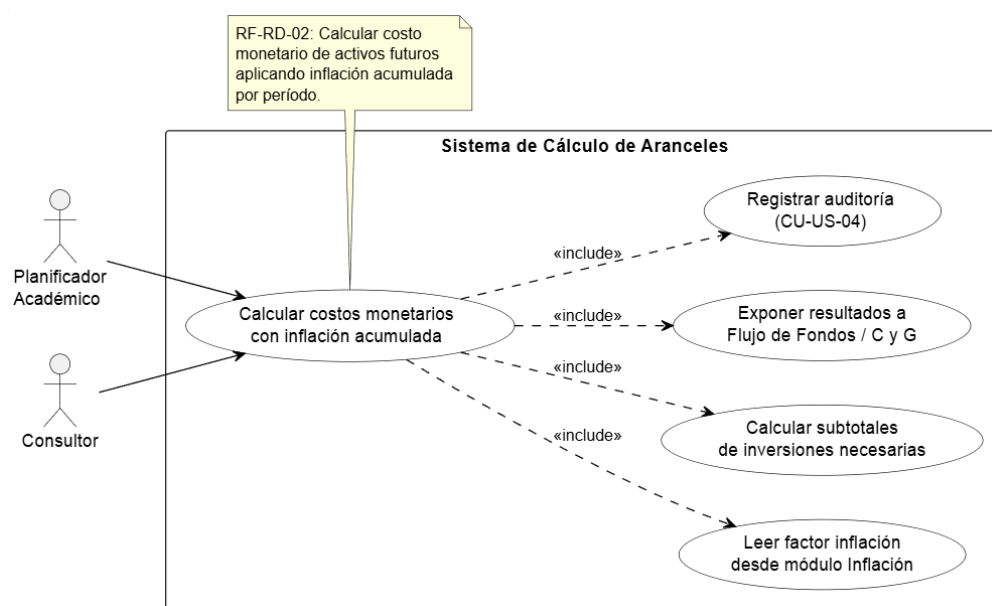
El caso de uso **Calcular costos monetarios de necesidades proyectadas con inflación** permite transformar las necesidades futuras registradas en unidades en valores monetarios por período. Para ello, el sistema utiliza la cantidad proyectada de cada activo, el valor unitario registrado y el factor de inflación acumulado proveniente del módulo de Inflación.

La fórmula aplicada por el sistema permite estimar cuánto costará adquirir un activo en un período futuro, considerando el efecto de la inflación. De esta forma, el aplicativo evita trabajar con valores fijos durante todo el horizonte de evaluación y permite reflejar de manera más realista el costo de adquisición de recursos físicos.

Los resultados generados se presentan en una tabla de costos monetarios por artículo y período, con subtotales por categoría y una fila de inversiones necesarias. Esta información alimenta posteriormente el módulo de Flujo de Fondos como salida de inversión y el módulo de Costos y Gastos como gasto asociado a activos.

Si no existe información de inflación para un año del horizonte, el sistema puede utilizar un factor provisional de 1.0 y mostrar una advertencia informativa. El cálculo continúa así sin bloquearse, pero deja constancia de que el módulo de Inflación debe completarse o revisarse.

Figura 31 Diagrama de caso de uso CU-RD-02: Calcular costos monetarios de necesidades proyectadas con inflación



Nota. Elaboración propia

CU-RD-03. Calcular depreciación semestral por activo

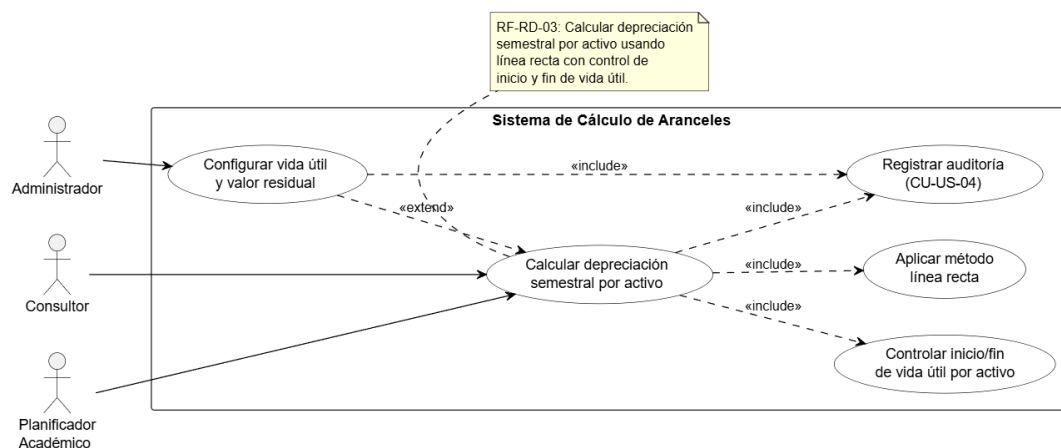
El sistema utiliza el método de línea recta, considerando el valor original del activo, el valor residual y la vida útil configurada para la categoría correspondiente.

El valor residual se calcula como un porcentaje del valor original, con un valor por defecto del 5 %. A partir de ello, el sistema calcula la depreciación anual y luego la divide entre dos para obtener la depreciación semestral. Esta lógica resulta adecuada porque el modelo trabaja por períodos académicos semestrales, por lo que los resultados deben estar alineados con la estructura temporal usada en los demás módulos.

Los activos de inversión inicial comienzan a depreciarse desde el primer período del horizonte. En cambio, los activos adquiridos en períodos futuros inician su depreciación desde el período en que se registra su adquisición. Cuando un activo completa su vida útil, el sistema detiene automáticamente su depreciación semestral y mantiene el valor acumulado sin incrementarlo.

Esta funcionalidad genera una tabla por activo, donde se muestran elementos como descripción, valor, residual, vida útil y depreciación semestral por período. Los valores calculados sirven como entrada para el caso de uso de depreciación acumulada.

Figura 32 Diagrama de caso de uso CU-RD-03: Calcular depreciación semestral por activo



Nota. Elaboración propia

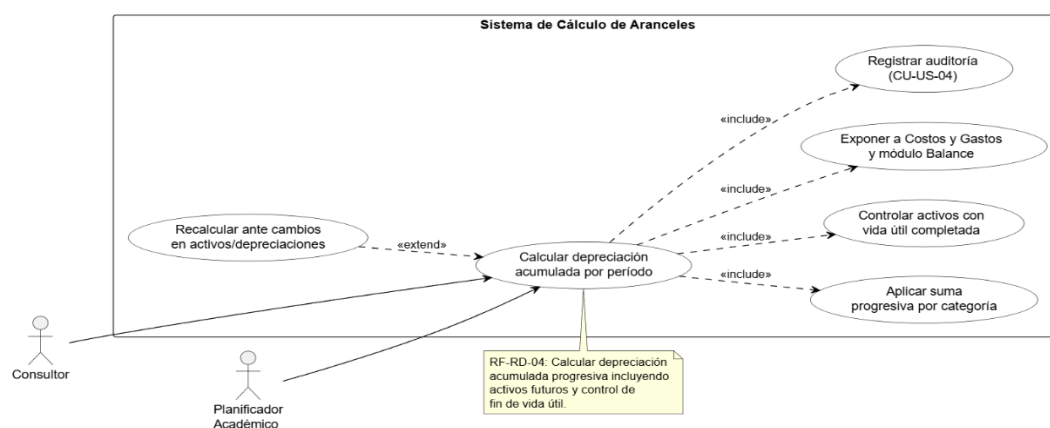
CU-RD-04. Calcular depreciación acumulada por período

El caso de uso Calcular depreciación acumulada por período permite sumar progresivamente la depreciación semestral de los activos registrados. La acumulación considera tanto los activos iniciales como aquellos adquiridos en períodos futuros, incorporándolos desde el momento en que empiezan a depreciarse.

El sistema calcula la depreciación acumulada período a período. Para el primer período, el valor acumulado corresponde a la depreciación semestral de los activos activos en ese momento. En los períodos posteriores, el sistema suma la depreciación del período actual al valor acumulado anterior. Esta regla asegura que la depreciación acumulada nunca disminuya entre períodos.

Los resultados de este caso de uso alimentan dos componentes importantes del aplicativo. Por un lado, el total de depreciación del período se expone al módulo de Costos y Gastos como gasto de depreciación. Por otro lado, el total de depreciación acumulada se envía al módulo de Balance como parte del cálculo del activo fijo neto.

Figura 33 Diagrama de caso de uso CU-RD-04: Calcular depreciación acumulada por período



Nota. Elaboración propia

3.5.9 Módulo de sueldos y planta central

El módulo de sueldos y planta central permite calcular los costos de personal atribuibles a la carrera, considerando tanto los cargos propios de la facultad como la proporción correspondiente de la planta central de la universidad. Aquí la información académica del módulo de Estudiantes se convierte en costos económicos concretos: remuneraciones docentes y administrativas, beneficios sociales y personal institucional de soporte.

La lógica del módulo se organiza en dos grandes grupos. El primero corresponde a los sueldos de la facultad, donde se incluyen cargos administrativos, autoridades académicas, docentes por tipo de dedicación y técnicos docentes. El segundo corresponde a la planta central, integrada por cargos institucionales generales como rectorado, vicerrectorados, jefaturas departamentales y personal administrativo general. Estos costos se distribuyen proporcionalmente a la carrera según la cantidad de estudiantes proyectados.

La tabla 26 resume los casos de uso del módulo de sueldos y planta central. Su propósito es mostrar cómo cada funcionalidad contribuye al cálculo de costos de personal, los cuales posteriormente alimentan a los módulos de Costos y Gastos y Capital de Trabajo.

Tabla 26 Casos de uso del módulo de sueldos y planta central

Identificador	Caso de uso	Actor principal	Propósito funcional
CU-SP-01	Configurar cargos, sueldos y beneficios sociales de la facultad	Planificador Académico	Registrar cargos de facultad, sueldos base, número de personas, beneficios sociales y peso proporcional por cargo.

CU-SP-02	Calcular sueldos de la facultad con peso e inflación	Planificador Académico	Calcular el costo semestral de cada cargo aplicando beneficios sociales, peso proporcional e inflación acumulada.
CU-SP-03	Calcular costos de planta central atribuidos a la carrera	Administrador	Registrar cargos de planta central y distribuir sus costos según la proporción de estudiantes de la carrera frente al total universitario.
CU-SP-04	Consolidar costos totales de personal por período	Sistema	Integrar sueldos de facultad y planta central en un resumen por período, clasificado por destino contable.

Nota. Elaboración propia

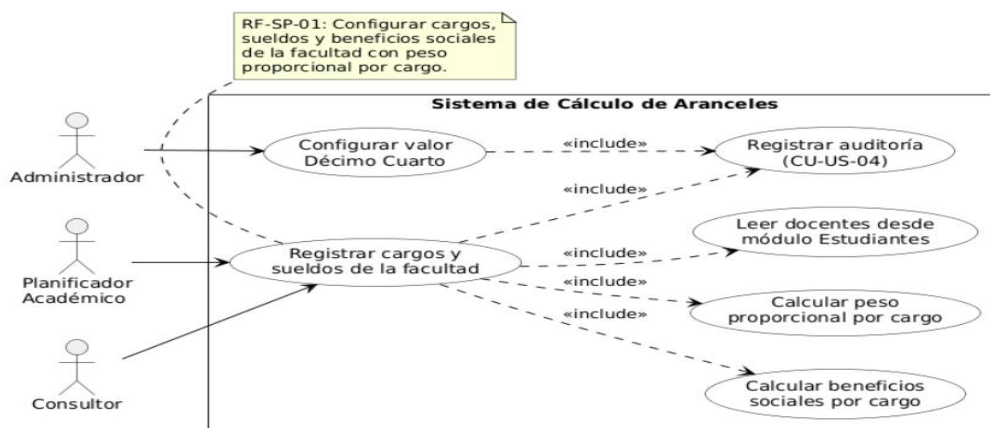
CU-SP-01. Configurar cargos, sueldos y beneficios sociales de la facultad

El caso de uso **Configurar cargos, sueldos y beneficios sociales de la facultad** permite registrar los cargos asociados al funcionamiento académico y administrativo de la carrera. Entre estos cargos se consideran autoridades de facultad, personal administrativo, docentes de tiempo completo con grado PhD, docentes con grado de maestría, docentes de medio tiempo o parciales y técnicos docentes.

El Planificador Académico registra o edita el nombre del cargo, el número de personas y el sueldo base mensual. En el caso de los cargos docentes, el número de personas no se ingresa manualmente, sino que se toma como referencia desde el módulo de Estudiantes, específicamente del cálculo de docentes requeridos por tipo. Esta conexión evita duplicar información y permite que los costos de personal respondan directamente a la planificación académica de la carrera.

El sistema calcula automáticamente los beneficios sociales asociados a cada cargo, tales como Décimo Tercero, Décimo Cuarto, vacaciones, fondo de reserva y aporte patronal. Además, determina el peso proporcional de los cargos administrativos de la facultad en función del número de estudiantes de la carrera frente al total de estudiantes de la Unidad Académica. En cambio, el Director de Carrera y los docentes mantienen un peso fijo de 1.0, debido a que se consideran directamente vinculados a la carrera.

Figura 34 Diagrama de caso de uso CU-SP-01: Configurar cargos, sueldos y beneficios sociales de la facultad



Nota. Elaboración propia

CU-SP-02. Calcular sueldos semestrales de la facultad con peso e inflación

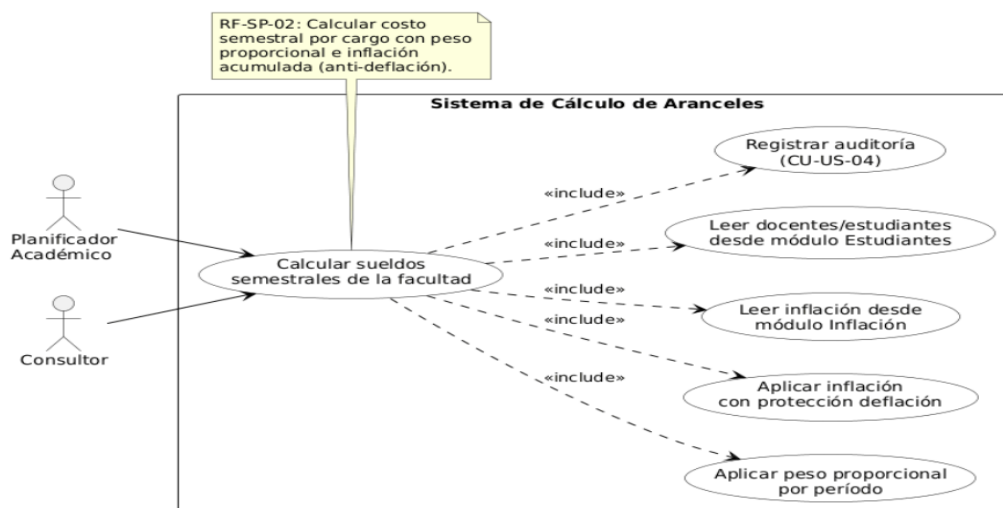
El caso de uso Calcular sueldos semestrales de la facultad con peso e inflación permite determinar el costo semestral atribuible a la carrera por cada cargo registrado en la facultad. Para ejecutar este cálculo, el sistema utiliza los cargos y beneficios sociales configurados en CU-SP-01, los estudiantes proyectados y docentes requeridos desde el módulo de Estudiantes, y los factores de inflación provenientes del módulo de Inflación.

El cálculo considera el sueldo base, fondo de reserva, aporte patronal, Décimo Tercero, Décimo Cuarto y vacaciones. Además, aplica el peso proporcional correspondiente a cada cargo. En los cargos administrativos, este peso cambia en cada período porque depende del crecimiento de estudiantes proyectados para la carrera. En los cargos docentes y en el Director de Carrera, el peso se mantiene en 1.0, por su dedicación directa al programa.

El sistema también aplica inflación acumulada por año, pero incorpora una regla de protección anti-deflación. Esto significa que, si la inflación es negativa, el factor utilizado se mantiene en 1.0 para evitar que los sueldos disminuyan artificialmente. Esta regla permite conservar estabilidad en la proyección de costos de personal.

El resultado de este caso de uso es una tabla de costos semestrales por cargo y período, junto con el total de sueldos de la facultad. Estos valores sirven como insumo para la consolidación de costos totales de personal y, posteriormente, para Costos y Gastos y Capital de Trabajo.

Figura 35 Diagrama de caso de uso CU-SP-02: Calcular sueldos semestrales de la facultad con peso e inflación



Nota. Elaboración propia

CU-SP-03. Calcular costos de planta central atribuidos a la carrera

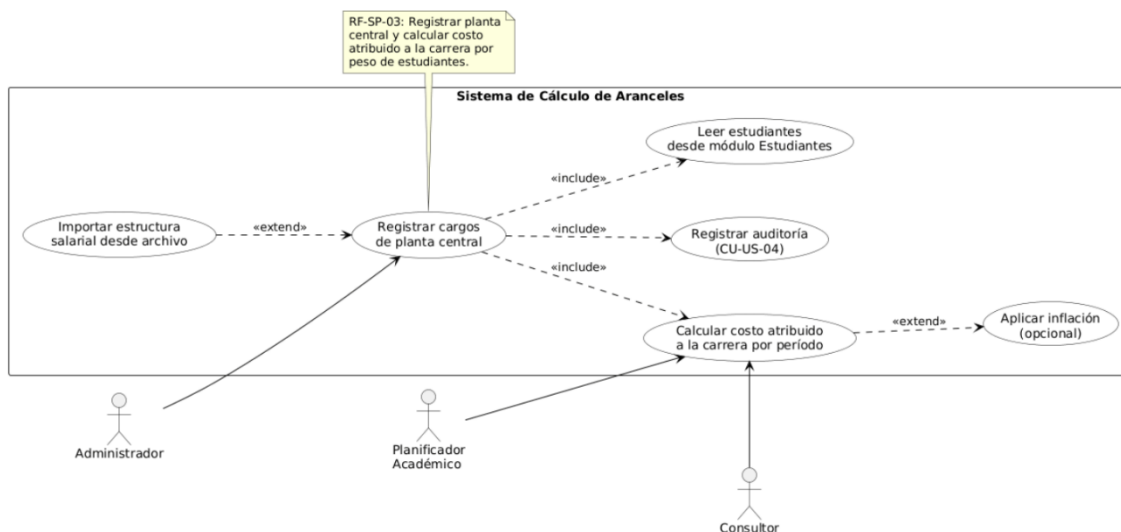
El caso de uso **Calcular costos de planta central atribuidos a la carrera** permite registrar los cargos generales de la universidad y calcular qué proporción de esos costos debe asignarse a la carrera proyectada. Dentro de estos cargos pueden incluirse rectorado, vicerrectorados, jefaturas departamentales, talento humano, área financiera y personal administrativo general.

El Administrador registra los cargos de planta central, el sueldo mensual total de cada cargo y el total de estudiantes de la universidad. Luego, el sistema lee la cantidad de estudiantes proyectados para la carrera y calcula el costo atribuido por período. La distribución se realiza de forma proporcional, considerando la relación entre estudiantes de la carrera y estudiantes totales de la institución.

Esta funcionalidad permite que la carrera asuma, además de los costos directos de su facultad, una parte proporcional de los costos institucionales generales. El peso de distribución se recalcula período a período, ya que la cantidad de estudiantes proyectados puede variar conforme avanza la cohorte.

El módulo también permite importar la estructura salarial desde archivos XLSX o CSV, siempre que se cumpla con los campos obligatorios. Además, la aplicación de inflación a los sueldos de planta central puede configurarse de forma opcional, siguiendo la misma regla de protección anti-deflación aplicada en los sueldos de facultad.

Figura 36 Diagrama de caso de uso CU-SP-03: Calcular costos de planta central atribuidos a la carrera



Nota. Elaboración propia

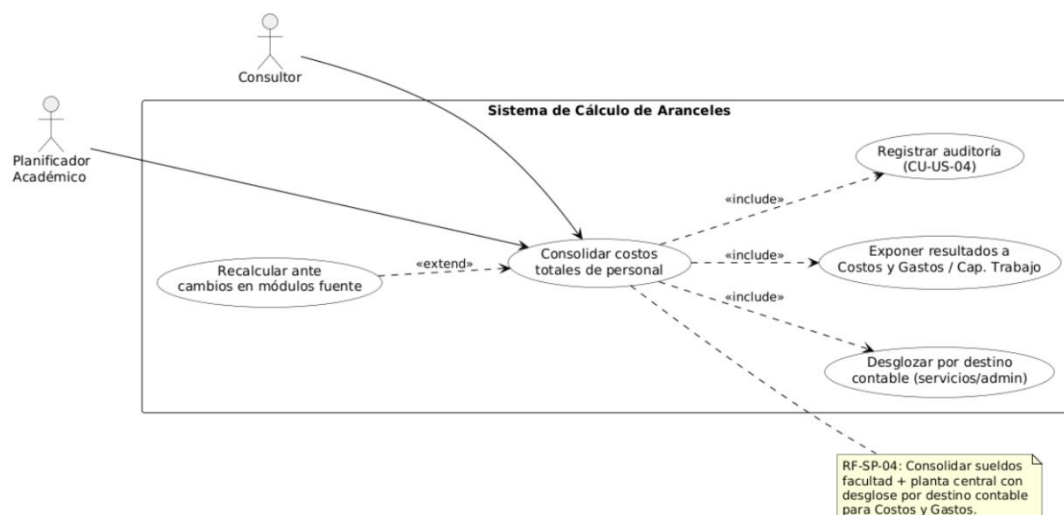
CU-SP-04. Consolidar costos totales de personal por período

El sistema verifica que existan resultados de sueldos de facultad y, cuando están disponibles, costos de planta central. Luego calcula el total de personal por período mediante la suma de ambos componentes. Si los costos de planta central aún no han sido registrados, el sistema puede generar un consolidado parcial únicamente con sueldos de facultad, mostrando una advertencia informativa para completar el cálculo.

Una parte importante de este caso de uso es el desglose por destino contable. Los sueldos docentes se clasifican como Costos por Servicios, mientras que los sueldos administrativos de la facultad y los costos de planta central se clasifican como Gastos de Administración. Esta clasificación permite que el módulo de Costos y Gastos reciba la información organizada según su naturaleza contable.

El consolidado también se expone al módulo de Capital de Trabajo, debido a que los costos de personal forman parte del costo mensual necesario para que la carrera pueda operar durante los primeros meses. El módulo de Sueldos y Planta Central, por tanto, no se limita a calcular remuneraciones: alimenta directamente la estimación financiera de la apertura de la carrera.

Figura 37 Diagrama de caso de uso CU-SP-04: Consolidar costos totales de personal por período



Nota. Elaboración propia

3.5.10 Módulo de tasa de retención

El módulo de tasa de retención permite registrar, validar, simular y consultar las tasas de retención y graduación de una carrera universitaria. Su función principal es preparar la información académica que posteriormente será utilizada por el módulo de Estudiantes para proyectar estudiantes por ciclo, año y período. Por esta razón, este módulo se ubica como uno de los primeros componentes funcionales dentro del flujo general del aplicativo.

Este módulo permite configurar el número de ciclos de la carrera, los paralelos por período, los estudiantes iniciales por paralelo, la tasa de retención y la tasa de graduación. La tasa de retención se aplica en los ciclos iniciales de la carrera, mientras que la tasa de graduación se aplica en los ciclos finales. Además, el sistema calcula indicadores de retención acumulada y titulación acumulada para compararlos con criterios de referencia institucional, como 65 % de retención y 100 % de titulación, valores que pueden ser modificados por el Administrador según el ejercicio vigente.

El módulo tiene una relación directa con el cálculo de aranceles, debido a que la permanencia estudiantil influye en la cantidad de estudiantes proyectados, los ingresos esperados, la demanda docente y la distribución de costos. Si la tasa de retención es alta, los costos operativos pueden distribuirse entre una mayor cantidad de estudiantes; en cambio, si la retención disminuye, menos estudiantes absorben los costos de operación, lo que puede elevar el arancel requerido para sostener la carrera.

La siguiente tabla resume los casos de uso correspondientes al módulo de tasa de retención. Su propósito es mostrar cómo cada funcionalidad contribuye a la configuración académica inicial y a la proyección posterior de estudiantes.

Tabla 27 Casos de uso del módulo de tasa de retención

Identificador	Caso de uso	Actor principal	Propósito funcional
CU-TR-01	Configurar, registrar y validar tasas de retención y graduación	Planificador Académico	Registrar por carrera las tasas de retención y graduación, ciclos, paralelos, estudiantes iniciales y criterios de referencia.
CU-TR-02	Generar simulación por ciclo y calcular indicadores	Planificador Académico	Simular estudiantes por ciclo y período, calcular Ret.% y Titu.%, y comparar los resultados con criterios de referencia.
CU-TR-03	Consultar y editar configuración guardada	Planificador Académico	Consultar o modificar configuraciones registradas, recalcular indicadores y conservar trazabilidad de cambios.

Nota. Elaboración propia

CU-TR-01. Configurar, registrar y validar tasas de retención y graduación

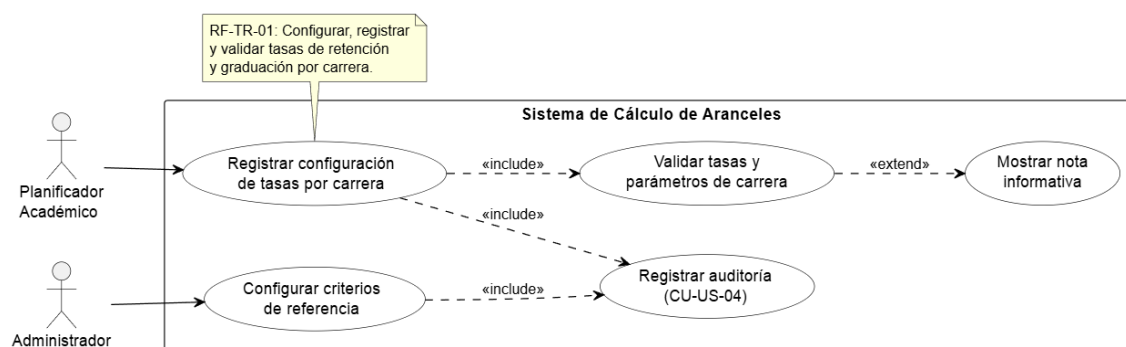
El caso de uso **Configurar, registrar y validar tasas de retención y graduación** permite que el Planificador Académico registre la información base para simular el comportamiento de una cohorte. Para ello, selecciona la carrera e ingresa el número de ciclos, los paralelos por período, los estudiantes iniciales por paralelo, la tasa de retención y la tasa de graduación. El número de ciclos se maneja por defecto en 8, pero puede configurarse a 10 o más cuando el tipo de programa lo requiera.

La tasa de retención se aplica desde el ciclo 1 hasta la mitad de la carrera, mientras que la tasa de graduación se aplica desde la segunda mitad hasta el ciclo final. Por ejemplo, en una carrera de 8 ciclos, la retención se aplica del ciclo 1 al ciclo 4 y la graduación del ciclo 5 al ciclo 8. Esta separación permite representar con mayor precisión el comportamiento académico esperado de la carrera.

El sistema valida que las tasas se encuentren entre 0 % y 100 %, que el número de ciclos sea mayor o igual a 2 y par, que los estudiantes iniciales sean mayores a cero y que exista al menos un paralelo por período. Además, el Administrador puede configurar los criterios de referencia

para acreditación, como retención mínima y titulación esperada. Estos criterios son informativos y no bloquean el guardado de la configuración.

Figura 38 Diagrama de caso de uso CU-TR-01: Configurar, registrar y validar tasas de retención y graduación



Nota. Elaboración propia

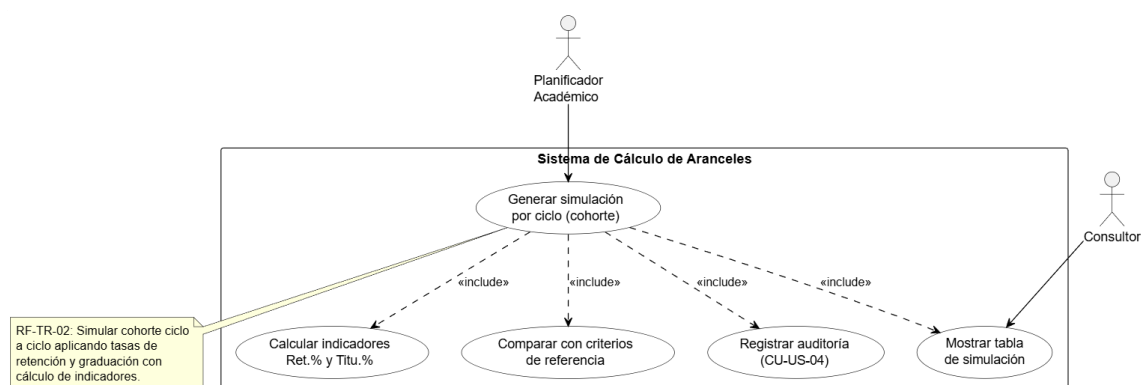
CU-TR-02. Generar simulación por ciclo y calcular indicadores

El caso de uso Generar simulación por ciclo y calcular indicadores permite que el sistema proyecte automáticamente la cantidad de estudiantes por ciclo y período. Para ello, recupera la configuración registrada previamente, aplica la tasa de retención en la primera mitad de la carrera y la tasa de graduación en la segunda mitad. Los valores se conservan con precisión decimal completa, sin redondeo, para que el módulo de Estudiantes pueda utilizarlos con mayor exactitud en cálculos posteriores.

En la zona de retención, el primer ciclo toma los valores iniciales ingresados por el usuario y los ciclos siguientes se calculan multiplicando el valor del ciclo anterior por la tasa de retención. En la zona de graduación, el sistema aplica la misma lógica, pero utilizando la tasa de graduación. Esta simulación permite visualizar cómo disminuye o se mantiene la cohorte a lo largo del programa académico.

El sistema también calcula dos indicadores principales: el porcentaje de retención acumulada y el porcentaje de titulación acumulada. El indicador de retención se obtiene comparando los estudiantes de la mitad de la carrera con los estudiantes iniciales, mientras que el indicador de titulación compara los estudiantes del ciclo final con los estudiantes iniciales. Luego, estos resultados se contrastan con los criterios de referencia definidos por el Administrador, mostrando alertas visuales cuando los valores quedan por debajo del criterio configurado.

Figura 39 Diagrama de caso de uso CU-TR-02: Generar simulación por ciclo y calcular indicadores



Nota. Elaboración propia

CU-TR-03. Consultar y editar configuración guardada

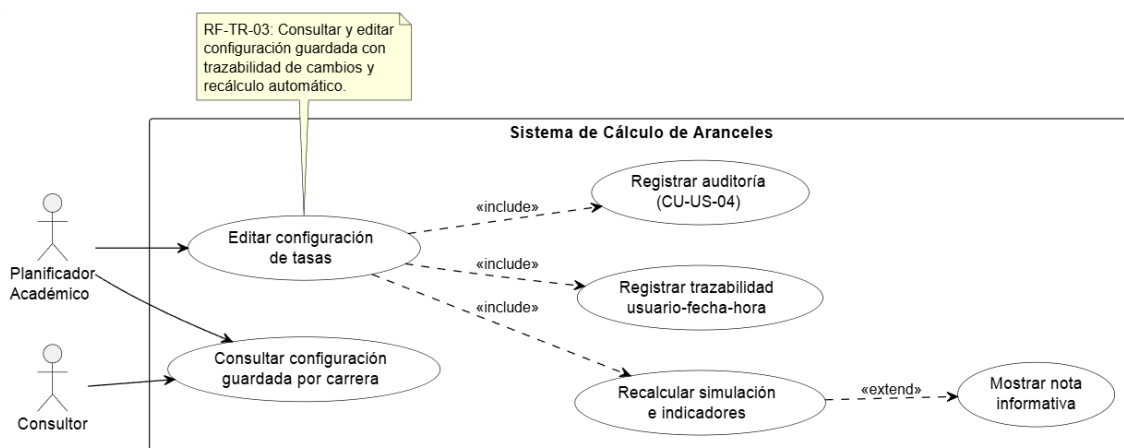
El Planificador Académico puede consultar los valores actuales de tasas, ciclos, paralelos, estudiantes iniciales, criterios de referencia, tabla de simulación e indicadores calculados. El Consultor también puede acceder a esta información, pero únicamente en modo de lectura.

Cuando el Planificador Académico edita una configuración, el sistema habilita los campos correspondientes y valida los nuevos valores aplicando las mismas reglas definidas para el registro inicial. Si los datos son válidos, la configuración se guarda y el sistema recalcula automáticamente la simulación y los indicadores. Esto permite que cualquier cambio en tasas, ciclos, paralelos o estudiantes iniciales se refleje inmediatamente en la proyección académica.

Una característica importante de este caso de uso es la trazabilidad. Cada edición exitosa registra el nombre del usuario, la fecha y la hora de modificación. Además, la acción queda registrada en el log de auditoría del sistema. Esta funcionalidad es necesaria porque los cambios en la tasa de retención o graduación pueden afectar directamente la proyección de estudiantes, los ingresos esperados, la demanda docente y los resultados financieros del aplicativo.

Si un Consultor intenta editar la configuración, el sistema restringe la acción y mantiene el acceso solo en modo de lectura. Esta regla protege la integridad de los datos académicos y asegura que únicamente usuarios autorizados puedan modificar parámetros que impactan el cálculo de aranceles.

Figura 40 Diagrama de caso de uso CU-TR-03: Consultar y editar configuración guardada



Nota. Elaboración propia

3.5.11 Módulo de usuarios

El módulo de usuarios permite administrar las cuentas, roles, permisos, sesiones y registros de auditoría del aplicativo. Es el único componente transversal a todo el sistema: define quién accede, qué operaciones puede realizar cada usuario y cómo quedan registradas las acciones críticas ejecutadas en los módulos académicos, financieros y administrativos.

La funcionalidad del módulo se orienta a garantizar que el aplicativo sea utilizado únicamente por personal autorizado. Para ello, permite crear y editar cuentas, suspender o reactivar usuarios, autenticar el ingreso mediante credenciales, asignar roles, restringir acciones por permisos y registrar auditoría básica de actividades. Según el documento funcional del módulo, los roles principales considerados son Administrador, Planificador Académico y Consultor, cada uno con niveles de acceso diferenciados dentro del sistema.

El Administrador tiene acceso completo a la gestión de cuentas, roles y permisos. El Planificador Académico puede ingresar y editar información en los módulos de cálculo según los permisos asignados. El Consultor accede principalmente a la visualización de resultados y reportes, sin modificar la información del sistema. Esta diferenciación es necesaria porque el aplicativo maneja datos que influyen directamente en el cálculo de aranceles, por lo que no todos los usuarios deben tener permisos de escritura sobre los mismos módulos.

La tabla 28 resume los casos de uso correspondientes al módulo de usuarios. Su propósito es mostrar cómo cada funcionalidad contribuye al control de acceso, seguridad interna y trazabilidad del aplicativo.

Tabla 28 Casos de uso del módulo de usuarios

Identificador	Caso de uso	Actor principal	Propósito funcional
CU-US-01	Gestionar cuentas de usuario	Administrador	Crear, consultar, editar, suspender o reactivar cuentas de usuario, validando correos únicos y cifrado de contraseñas.
CU-US-02	Autenticar usuarios y gestionar sesiones	Usuario	Permitir el inicio y cierre de sesión, validar credenciales, cargar menú según rol y expirar sesiones por inactividad.
CU-US-03	Gestionar roles, permisos y restringir acceso	Administrador	Crear, editar, activar o desactivar roles y limitar el acceso a módulos y acciones según permisos asignados.
CU-US-04	Registrar auditoría básica de actividades	Sistema	Registrar acciones críticas ejecutadas por usuarios dentro del sistema y permitir la consulta del log por parte del Administrador.

Nota. Elaboración propia

CU-US-01. Gestionar cuentas de usuario

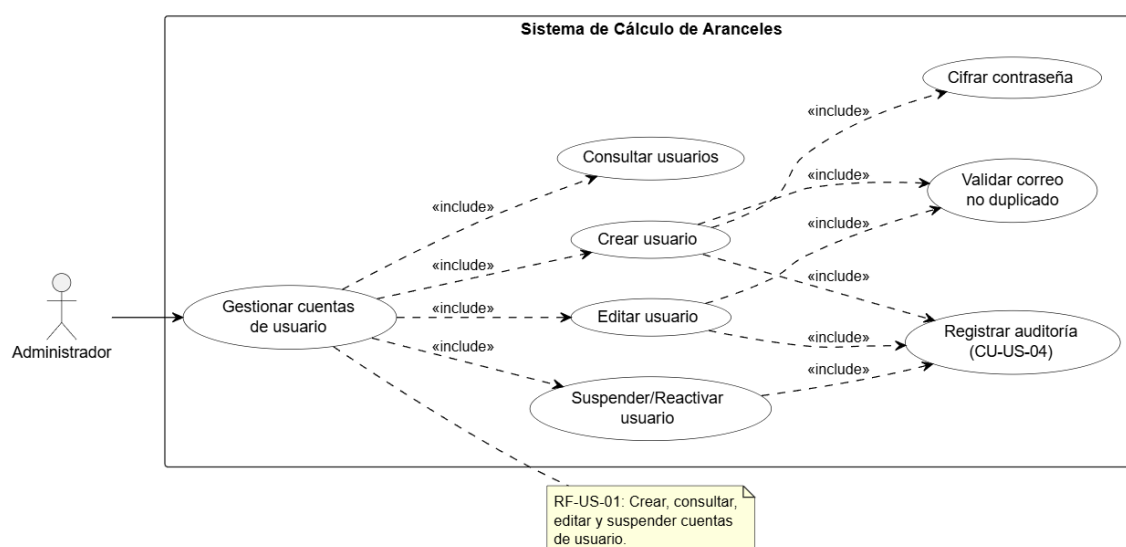
El caso de uso **Gestionar cuentas de usuario** permite que el Administrador cree nuevas cuentas, consulte usuarios existentes, edite datos personales o de rol, y suspenda o reactive cuentas según sea necesario. Esta funcionalidad constituye la base del control de acceso del sistema, ya que define qué personas podrán ingresar al aplicativo y bajo qué perfil institucional.

Para crear una cuenta, el Administrador registra el nombre completo, correo electrónico, contraseña inicial y rol asignado. El sistema valida que el correo no se encuentre duplicado, cifra la contraseña mediante BCrypt y crea la cuenta con estado activo. Esta regla evita la duplicidad de usuarios y protege las credenciales, ya que las contraseñas no se almacenan en texto plano.

El caso de uso también contempla la consulta y edición de usuarios. El Administrador puede revisar el listado de cuentas con nombre, correo, rol y estado; además, puede filtrar por rol o estado, o buscar por nombre y correo. En la edición, el sistema valida nuevamente que el correo no se repita cuando este sea modificado.

La suspensión y reactivación de usuarios permite impedir temporalmente el acceso sin eliminar físicamente la cuenta. El sistema restringe acciones críticas, como suspender la propia cuenta del Administrador o dejar al sistema sin al menos un usuario con rol Administrador activo. Cada operación genera un registro de auditoría, lo que permite conservar evidencia de los cambios realizados.

Figura 41 Diagrama de caso de uso CU-US-01: Gestionar cuentas de usuario



Nota. Elaboración propia

CU-US-02. Autenticar usuarios y gestionar sesiones

Una vez que el usuario envía sus credenciales, el sistema valida que los campos estén completos, busca el correo en la base de datos, compara la contraseña ingresada con el hash BCrypt almacenado y verifica que la cuenta se encuentre activa.

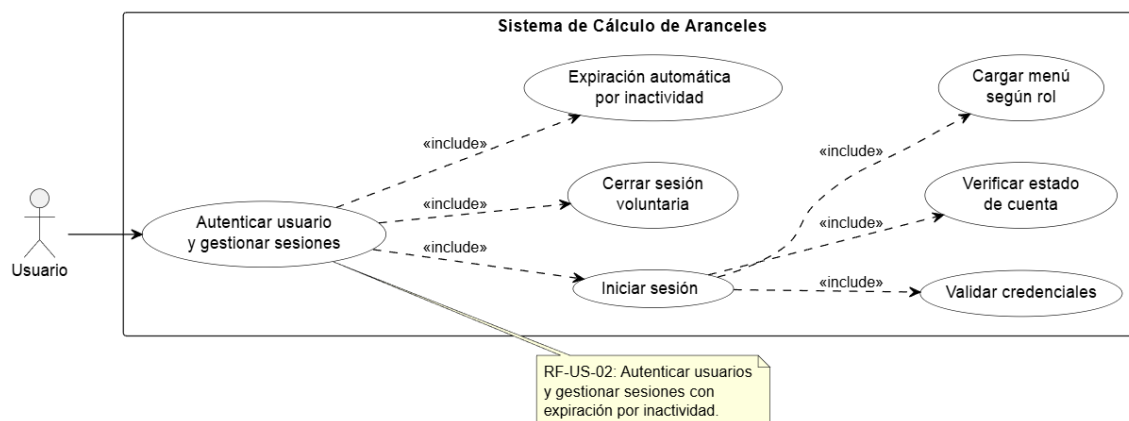
Si las credenciales son correctas, el sistema crea una sesión autenticada y carga el menú de navegación de acuerdo con el rol del usuario. Esta característica es importante porque evita que un usuario visualice módulos o acciones que no le corresponden. Por ejemplo, un Consultor puede acceder a reportes o resultados, mientras que un Administrador puede gestionar usuarios, roles y permisos.

El caso de uso también contempla el cierre de sesión voluntario y la expiración automática por inactividad. El usuario puede cerrar sesión desde cualquier pantalla del sistema, mientras que el aplicativo puede invalidar la sesión cuando no detecta interacción durante un tiempo configurable, cuyo valor por defecto es de 30 minutos. Esta funcionalidad refuerza la seguridad del sistema,

especialmente en un entorno institucional donde se maneja información académica y financiera sensible.

En los errores de autenticación, el sistema muestra un mensaje genérico de “Credenciales incorrectas”. Esta regla evita revelar si el correo existe o si la contraseña fue incorrecta, reduciendo la exposición de información sobre las cuentas registradas.

Figura 42 Diagrama de caso de uso CU-US-02: Autenticar usuarios y gestionar sesiones



Nota. Elaboración propia

CU-US-03. Gestionar roles, permisos y restringir acceso

Se permite que el Administrador cree, edite, active o desactive roles, además de definir permisos específicos por módulo y acción. Los permisos pueden asociarse a operaciones como leer, escribir o exportar información, según las necesidades del perfil institucional.

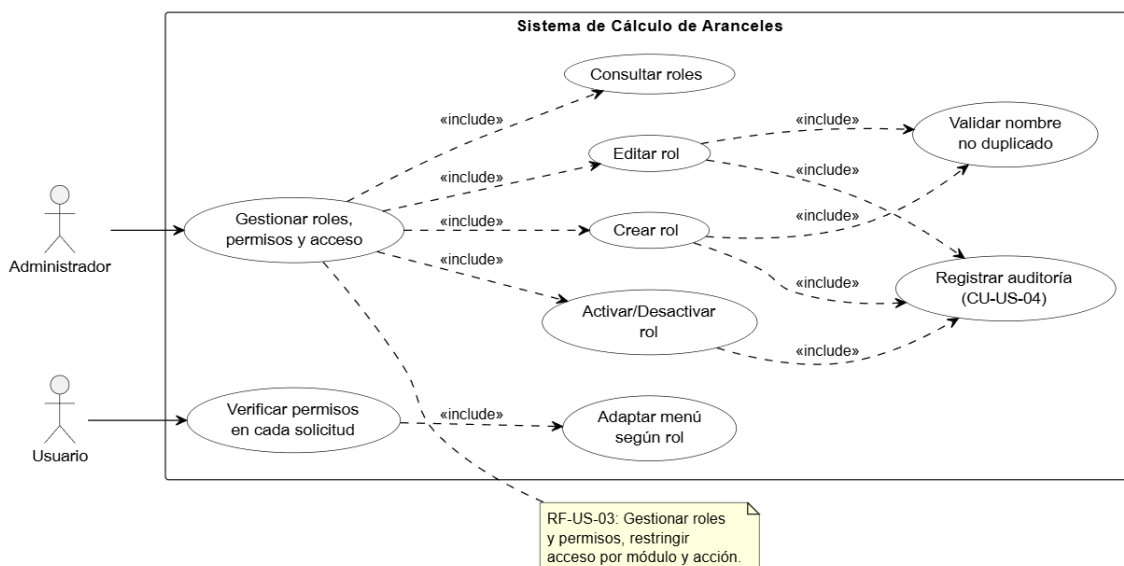
El sistema valida que no existan roles duplicados y exige que cada rol tenga al menos un permiso asignado. Una vez creado o editado un rol, los cambios se aplican inmediatamente a los usuarios que lo tienen asignado. Esto permite adaptar el acceso al sistema sin modificar directamente cada módulo funcional.

Este caso de uso también incluye la verificación continua de permisos. Cada vez que un usuario intenta acceder a un módulo o ejecutar una acción, el sistema consulta el rol asignado y valida si cuenta con el permiso correspondiente. Si el usuario no tiene autorización, el sistema deniega el acceso y muestra un mensaje informativo.

Una característica importante es la adaptación dinámica del menú de navegación. El sistema muestra únicamente los módulos autorizados según el rol del usuario, lo que reduce errores de operación y mejora la experiencia de uso. Además, el rol Administrador no puede ser desactivado

ni despojado de permisos esenciales sobre el módulo de Usuarios, ya que esto comprometería la administración del sistema.

Figura 43 Diagrama de caso de uso CU-US-03: Gestionar roles, permisos y restringir acceso



Nota. Elaboración propia

CU-US-04. Registrar auditoría básica de actividades

El sistema captura información mínima de cada acción crítica: acción realizada, usuario que la ejecutó, fecha y hora exacta, y módulo afectado. Estos datos se almacenan en una tabla de auditoría y no pueden ser editados ni eliminados por ningún usuario, incluyendo el Administrador. Esta restricción fortalece la confiabilidad del registro histórico.

El Administrador puede consultar el log de auditoría mediante filtros por usuario, rango de fechas o módulo afectado. Cuando existe un volumen grande de registros, el sistema puede paginar los resultados. Si ocurre un error al guardar el registro de auditoría, la operación principal del usuario no se interrumpe, ya que la auditoría se ejecuta de forma transparente y no debe bloquear la funcionalidad del sistema.

Se presenta una síntesis funcional de este caso de uso en la siguiente tabla.

Tabla 29 Resumen funcional del caso de uso CU-US-04

Elemento	Descripción
Caso de uso	Registrar auditoría básica de actividades
Actor principal	Sistema

Actor secundario	Administrador
Entradas principales	Acción realizada, usuario que ejecutó la acción, fecha, hora y módulo afectado.
Proceso central	Detectar acciones críticas, capturar datos mínimos y almacenar el registro en la tabla de auditoría.
Salida esperada	Log consultable por el Administrador con filtros por usuario, fecha y módulo.
Reglas principales	Los registros son inmutables, no pueden editarse ni eliminarse, y la auditoría no debe interrumpir la operación principal.
Módulos relacionados	Todos los módulos del sistema que ejecutan operaciones críticas o modifican datos de cálculo.

Nota. Elaboración propia

3.6 Diseño de la base de datos

El diseño de la base de datos constituye un componente central del aplicativo, debido a que permite transformar la lógica contenida en la matriz Excel institucional en una estructura relacional, organizada y trazable. Para este proyecto se utilizó PostgreSQL como sistema gestor de base de datos, alojado mediante Supabase, con el propósito de almacenar de forma centralizada la información relacionada con usuarios, roles, carreras, períodos académicos, parámetros de cálculo, proyecciones, costos, resultados financieros y registros de auditoría.

La elección de PostgreSQL/Supabase responde a la necesidad de conservar los datos en un repositorio estructurado, evitando la dependencia de archivos locales, copias duplicadas o versiones independientes de una misma hoja de cálculo. En la matriz Excel original, los datos académicos, financieros y administrativos se encontraban distribuidos en diferentes hojas, fórmulas y referencias cruzadas. En cambio, la base de datos propuesta permite relacionar cada dato con una carrera, un escenario de proyección, un período académico y un usuario responsable de la operación realizada.

El modelo de datos se organizó en cuatro bloques principales. El primero corresponde a la persistencia transversal y académica base, donde se gestionan usuarios, roles, permisos, carreras, períodos académicos y escenarios de proyección. El segundo bloque agrupa la información académico-operativa, relacionada con inflación, retención, graduación, proyección de estudiantes, configuración de aranceles y requerimiento docente. El tercer bloque contiene los

costos operativos, activos, gastos, cargos institucionales, materiales, insumos, activos fijos y presupuestos. El cuarto bloque almacena la información financiera de análisis y financiamiento, incluyendo tasa mínima de retorno, financiamiento, amortización, balance proyectado, resumen financiero e indicadores como VAN, TIR y punto de equilibrio.

El eje articulador del modelo es la entidad `escenario_proyección`, ya que permite representar una simulación o caso de análisis asociado a una carrera específica. A partir de este escenario se vinculan las configuraciones académicas, financieras y operativas necesarias para calcular el arancel propuesto. Esta decisión permite que una misma carrera pueda tener diferentes escenarios de evaluación, sin mezclar los resultados ni perder la trazabilidad de los parámetros utilizados.

La gestión de acceso se estructura mediante las entidades `usuario`, `rol`, `permiso`, `usuario_rol`, `rol_permiso` y `usuario_permiso_override`. Esta relación permite asignar responsabilidades de acuerdo con el perfil institucional de cada usuario. Por ejemplo, un usuario con rol financiero puede acceder a módulos de costos, ingresos y resultados, mientras que un usuario académico puede trabajar con proyección de estudiantes, retención, graduación y carga docente. Además, la tabla de permisos incorpora el campo `módulo_nombre`, lo que permite asociar cada acción a un módulo funcional del sistema.

La trazabilidad se gestiona mediante la entidad `auditoria_log`, que registra el usuario que ejecuta la acción, la fecha del evento, el módulo afectado, la entidad modificada, el identificador del registro, la acción realizada, un resumen textual y los valores anteriores y nuevos en formato JSON. Esta estructura permite reconstruir los cambios realizados en el sistema, identificar responsabilidades y fortalecer la confiabilidad del cálculo. A diferencia de la matriz Excel, donde los cambios pueden quedar ocultos o depender de versiones manuales del archivo, el aplicativo conserva evidencia de las operaciones relevantes.

En el componente académico-operativo, la base de datos almacena configuraciones de retención y graduación, criterios de referencia, simulaciones, proyecciones de estudiantes por período académico, número de ciclos, cantidad de paralelos y total de estudiantes. También registra parámetros para estimar la carga docente, diferenciando horas estándar de docencia, horas técnicas y proporciones de docentes con formación de cuarto nivel. Estos datos alimentan posteriormente los cálculos de costos docentes y requerimientos de personal.

En el componente financiero y operativo, el modelo incorpora entidades para materiales e insumos, cargos de facultad, cargos de planta central, activos fijos, activos diferidos, servicios básicos, mantenimiento, presupuesto institucional, capital de trabajo, costos y gastos por período. Esta organización separa los componentes económicos que antes estaban mezclados en hojas de cálculo y simplifica la consulta, validación y actualización de cada rubro.

Los resultados financieros se almacenan en entidades específicas como resumen_proyección_financiera, resultado_análisis_financiero y balance_proyectado. Estas tablas permiten conservar los resultados generados por el motor de cálculo, incluyendo ingreso total, costo total, gasto total, resultado operacional, resultado neto, flujos de caja, arancel promedio, estudiantes totales, punto de equilibrio, VAN, TIR, período de recuperación y validación de viabilidad. El sistema, además de calcular, conserva los resultados para análisis posteriores, comparación de escenarios y generación de reportes institucionales.

La tabla resume las entidades principales consideradas en el diseño de la base de datos. Su propósito es mostrar la función de cada grupo de información dentro del aplicativo y su relación con el proceso de automatización del cálculo de aranceles.

Tabla 30 *Entidades principales del modelo de base de datos*

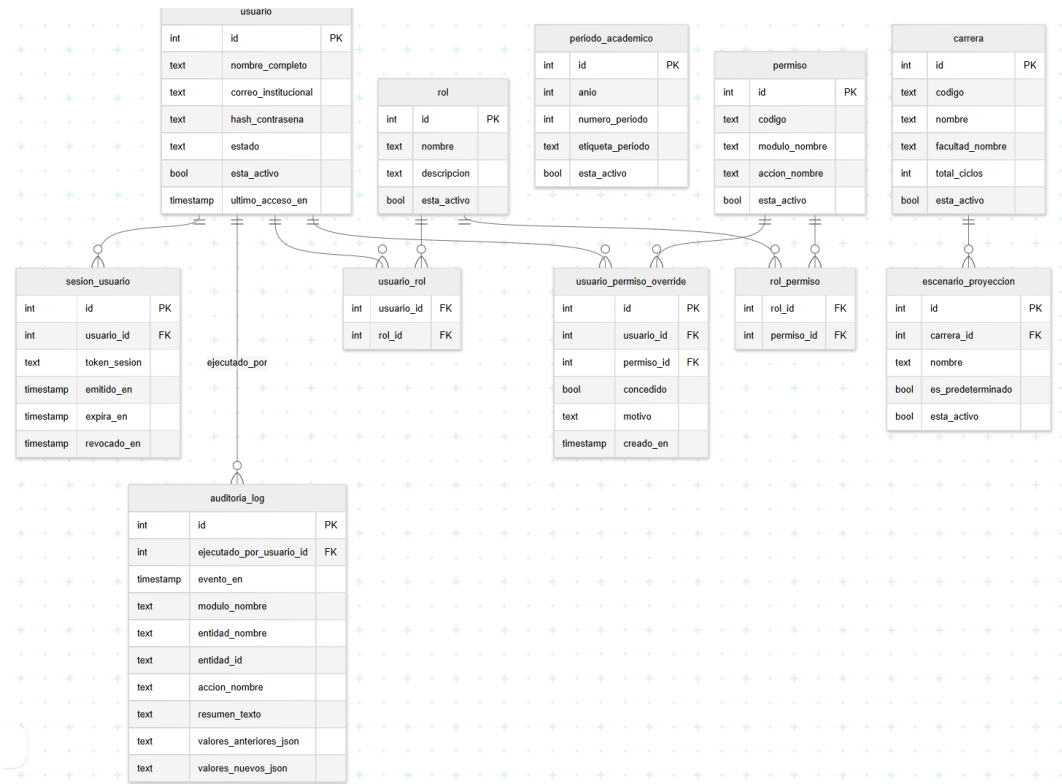
Entidad	Propósito
Usuarios	Almacena los datos de acceso, identificación, estado de cuenta y último acceso de los usuarios del sistema.
Roles	Define los perfiles institucionales que determinan responsabilidades y niveles de acceso dentro del aplicativo.
Permisos	Registra las acciones permitidas por módulo, facilitando el control granular de operaciones.
Carreras	Guarda la información de la oferta académica, como código, nombre, facultad y número total de ciclos.
Períodos académicos	Organiza los años, períodos, etiquetas y fechas utilizadas para proyectar información académica y financiera.
Escenarios de proyección	Representa cada caso de análisis asociado a una carrera, permitiendo comparar distintas simulaciones.
Parámetros académicos	Registra información de estudiantes, ciclos, paralelos, retención, graduación y carga docente.
Parámetros financieros	Almacena costos, gastos, inversión, activos, financiamiento, inflación, capital de trabajo e ingresos proyectados.
Cálculos	Conserva las configuraciones y ejecuciones necesarias para procesar proyecciones académicas y financieras.

Resultados financieros	Guarda VAN, TIR, punto de equilibrio, flujo de caja, balance proyectado y viabilidad del escenario.
Auditoría trazabilidad	/ Registra usuario, fecha, módulo, entidad, acción ejecutada y valores modificados.

Nota. Elaboración propia

El diagrama ER se presenta como parte del cuerpo del capítulo porque permite visualizar la estructura lógica de persistencia utilizada por el aplicativo. El modelo se divide en cuatro vistas para facilitar su lectura: persistencia transversal y académica base, persistencia académico-operativa, costos operativos y activos, y persistencia financiera de análisis y financiamiento.

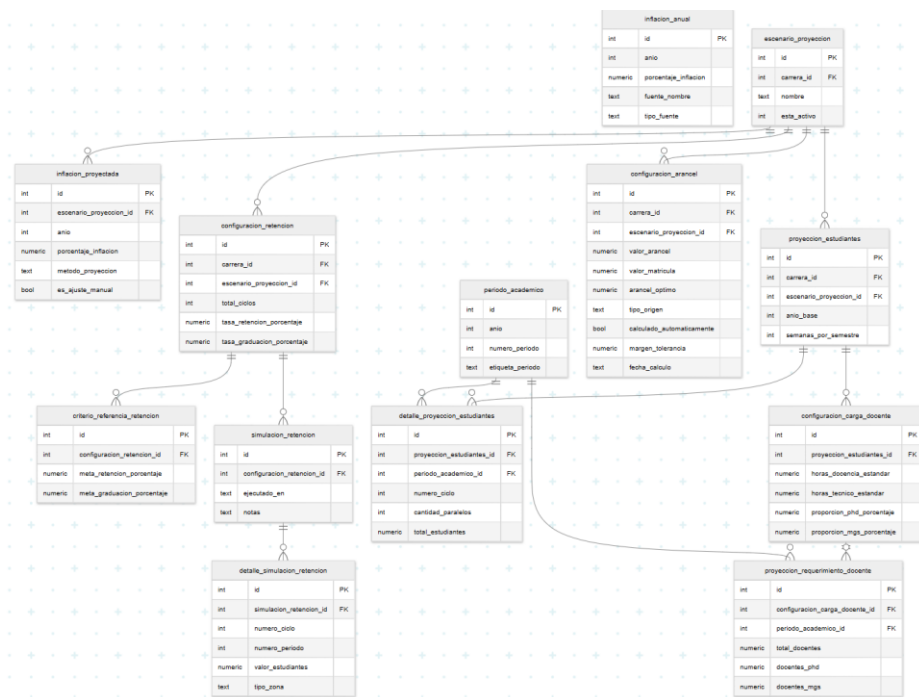
Figura 44 Diagrama ER del aplicativo para automatizar el cálculo de aranceles universitarios



Nota. Elaboración propia

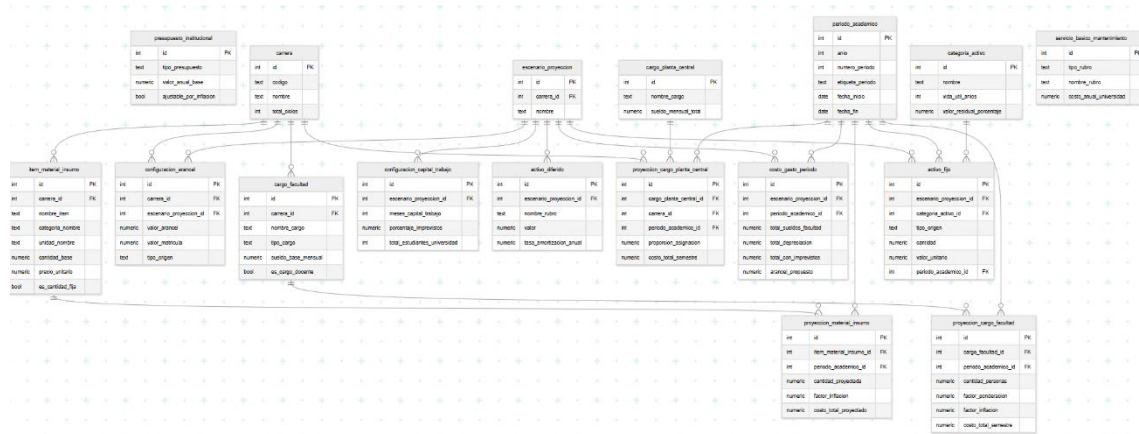
Esta vista, en la figura 45, muestra la estructura relacionada con usuarios, roles, permisos, sesiones, auditoría, carreras, períodos académicos y escenarios de proyección. Su función es sostener la seguridad del sistema, el acceso controlado y la base académica común sobre la cual se construyen los cálculos.

Figura 45 Persistencia académico-operativa.



Esta vista, en la figura 46, representa las entidades asociadas a inflación, retención, graduación, simulaciones, proyección de estudiantes, configuración de aranceles y requerimiento docente. Estos datos permiten alimentar el cálculo académico que sirve de base para estimar ingresos, costos docentes y demanda de recursos.

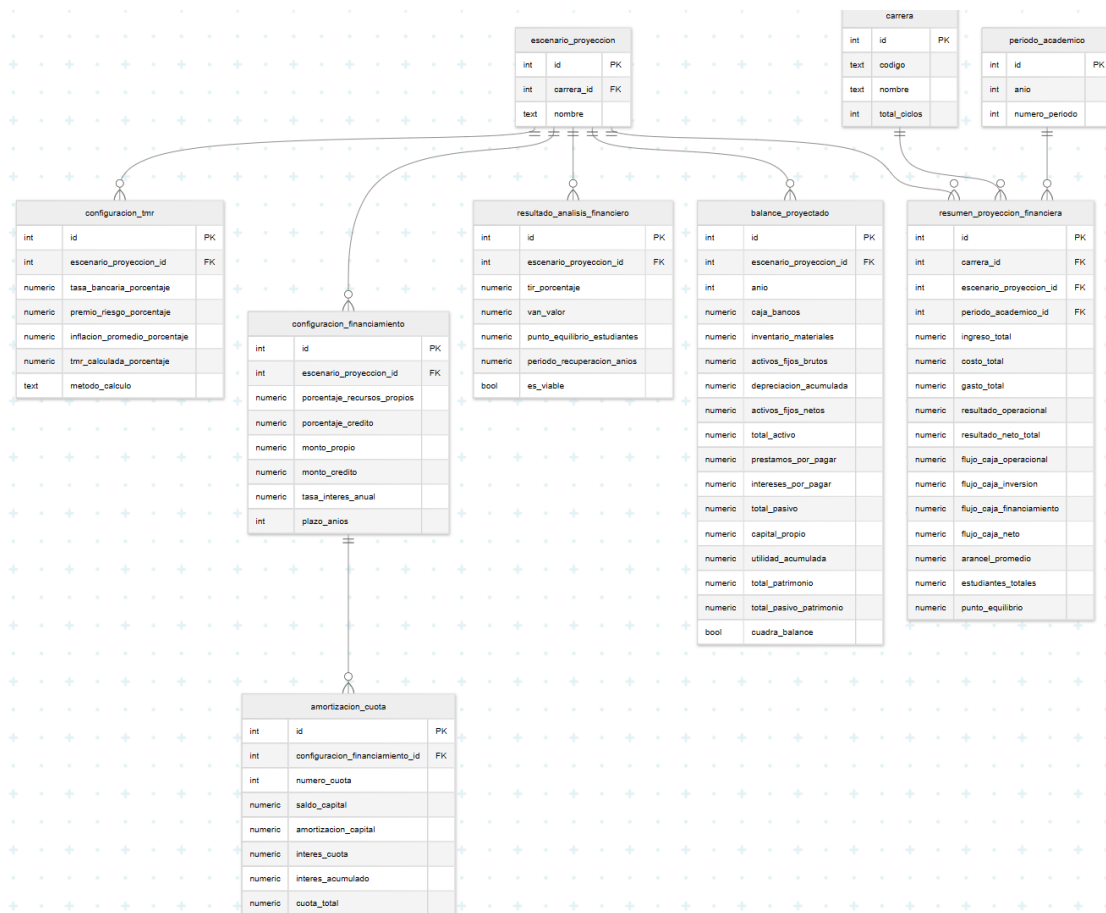
Figura 46 Costos operativos, activos y gastos.



Nota. Elaboración propia

Esta vista, en la figura 47, integra las entidades relacionadas con presupuestos, materiales, insumos, cargos de facultad, cargos de planta central, activos fijos, activos diferidos, servicios básicos, mantenimiento, capital de trabajo y costos por período. Su propósito es estructurar los componentes económicos requeridos para evaluar la sostenibilidad de una nueva carrera.

Figura 47 Persistencia financiera, análisis y financiamiento.



Esta vista, en la figura 48, agrupa las tablas vinculadas con tasa mínima de retorno, configuración de financiamiento, amortización, análisis financiero, balance proyectado y resumen de proyección financiera. En este bloque se almacenan los indicadores de viabilidad que permiten comparar escenarios y sustentar la toma de decisiones institucional.

El diseño relacional propuesto permite que el aplicativo conserve una correspondencia directa entre los datos ingresados, los cálculos ejecutados y los resultados obtenidos. Cada escenario de proyección funciona como una unidad de análisis que reúne información académica, operativa y financiera sin alterar los datos de otros escenarios. Esta estructura mejora la consistencia del proceso, reduce el riesgo de errores manuales y permite reproducir los cálculos con los mismos parámetros de entrada.

3.7 Diseño arquitectónico y estructura del aplicativo

El diseño arquitectónico del aplicativo se definió con el propósito de organizar técnicamente la solución de software y separar las responsabilidades internas del sistema. Esta decisión fue

necesaria debido a que el aplicativo no se limita a registrar datos, sino que procesa variables académicas, financieras y administrativas, ejecuta reglas de cálculo, almacena resultados, controla accesos y conserva trazabilidad de las acciones realizadas por los usuarios.

La arquitectura general se estructuró bajo el enfoque de Clean Architecture, complementado con el patrón MVVM para la capa de presentación. Esta combinación permitió dividir el sistema en capas independientes, donde cada una cumple una función específica dentro del flujo de operación. La interfaz gráfica, la lógica de cálculo, los casos de uso, el acceso a datos y la persistencia en PostgreSQL/Supabase se mantienen así separados; el sistema no depende de una única pantalla, archivo o componente tecnológico.

Desde el punto de vista técnico, el aplicativo fue construido como una solución de escritorio mediante C# con .NET 8 y WPF. C# y .NET 8 se utilizaron para implementar la lógica de negocio, los servicios de aplicación y la comunicación entre capas. WPF permitió construir la interfaz gráfica con formularios, vistas y componentes visuales orientados al ingreso de información y consulta de resultados. PostgreSQL, alojado mediante Supabase, se empleó como mecanismo de persistencia centralizada para almacenar usuarios, roles, carreras, escenarios, parámetros, cálculos, resultados financieros y registros de auditoría.

Clean Architecture permitió organizar el sistema en cuatro capas principales: Presentación, Aplicación, Dominio e Infraestructura. La capa de Presentación contiene las vistas desarrolladas en WPF y los ViewModels asociados al patrón MVVM. La capa de Aplicación coordina los casos de uso del sistema, como registrar parámetros, ejecutar cálculos, consultar resultados o generar reportes. La capa de Dominio concentra las entidades principales y reglas del negocio institucional, especialmente aquellas relacionadas con el cálculo de aranceles, proyección de estudiantes, costos, ingresos e indicadores financieros. La capa de Infraestructura implementa el acceso a la base de datos, los repositorios y la conexión con PostgreSQL/Supabase.

La tabla describe la responsabilidad de cada capa dentro del aplicativo. Su finalidad es mostrar cómo la arquitectura distribuye las funciones del sistema y evita mezclar la interfaz gráfica con la lógica institucional de cálculo.

Tabla 31 *Capas arquitectónicas del aplicativo*

Capa	Responsabilidad principal	Aplicación dentro del sistema
Presentación	Permite la interacción del usuario con el aplicativo.	Pantallas WPF, formularios, vistas de consulta, navegación y componentes visuales.

Aplicación	Coordina los casos de uso y el flujo de operaciones.	Registro de parámetros, ejecución de cálculos, validación de datos, consulta de resultados y generación de reportes.
Dominio	Contiene las entidades, reglas y lógica central del negocio.	Carreras, escenarios, estudiantes, retención, graduación, costos, ingresos, VAN, TIR y punto de equilibrio.
Infraestructura	Gestiona la comunicación con servicios externos y persistencia.	Repositorios, conexión con PostgreSQL/Supabase, almacenamiento de resultados y auditoría.

Nota. Elaboración propia

El patrón MVVM se utilizó dentro de la capa de Presentación para separar la interfaz visual de la lógica que controla la interacción del usuario. Bajo este patrón, las vistas WPF representan las pantallas del sistema; los ViewModels gestionan comandos, datos, validaciones y comunicación con la capa de Aplicación; y los modelos representan estructuras de datos utilizadas para mostrar o capturar información. Esta separación facilita el mantenimiento del aplicativo, ya que permite modificar una pantalla sin alterar directamente las reglas de cálculo o la persistencia de datos.

En el aplicativo, una pantalla de configuración académica, por ejemplo, no ejecuta directamente el cálculo financiero ni accede de forma directa a la base de datos. La vista captura los datos ingresados por el usuario, el ViewModel valida y organiza esa información, la capa de Aplicación ejecuta el caso de uso correspondiente, el Dominio aplica las reglas necesarias y la Infraestructura almacena los resultados en PostgreSQL/Supabase. Esta secuencia permite conservar un flujo ordenado desde la interacción del usuario hasta el registro definitivo de la información.

La organización por capas también favorece la trazabilidad del proceso. Cuando un usuario modifica un parámetro académico o financiero, la operación puede pasar por validaciones de aplicación, reglas de dominio y registros de infraestructura. Esto permite identificar qué dato fue modificado, en qué módulo ocurrió, qué usuario realizó la acción y qué resultado se generó a partir de esa modificación. En consecuencia, la arquitectura cumple una función técnica y, a la vez, respalda la confiabilidad metodológica del aplicativo.

Los módulos del sistema se organizaron de acuerdo con las responsabilidades funcionales identificadas durante el análisis de la matriz institucional. Esta organización permite que cada grupo de módulos se ubique dentro de la arquitectura sin romper la separación de responsabilidades.

Tabla 32 Organización de módulos dentro de la arquitectura

Grupo funcional	Módulos relacionados	Relación con la arquitectura
Seguridad y administración	Usuarios, roles, permisos, sesiones y auditoría.	Se gestiona desde Presentación y Aplicación; se almacena mediante Infraestructura en PostgreSQL/Supabase.
Configuración académica	Carreras, períodos académicos y escenarios de proyección.	Define entidades de Dominio y casos de uso para registrar la base académica del cálculo.
Proyección académica	Estudiantes, ciclos, paralelos, retención, graduación y carga docente.	Procesa reglas de Dominio y genera datos que alimentan módulos financieros.
Configuración financiera	Aranceles, matrícula, inflación, inversión, capital de trabajo y financiamiento.	Integra parámetros financieros que son validados por Aplicación y procesados por Dominio.
Costos y gastos	Cargos docentes, cargos administrativos, activos, materiales, insumos, servicios y mantenimiento.	Organiza datos operativos necesarios para calcular egresos proyectados.
Motor de cálculo	Flujo de caja, balance proyectado, VAN, TIR, punto de equilibrio y viabilidad.	Se concentra en Dominio y Aplicación, manteniendo separadas las reglas de cálculo de la interfaz gráfica.
Reportes	Reportes académicos, financieros, administrativos y de viabilidad.	Recupera información procesada desde Infraestructura y la presenta al usuario mediante WPF.

Nota. Elaboración propia

El diseño arquitectónico permite que los módulos académicos y financieros no funcionen como componentes aislados. Por el contrario, cada módulo aporta información a una cadena de procesamiento más amplia. La configuración de carrera y período académico permite crear un escenario de proyección; la proyección de estudiantes determina la demanda académica; la carga docente y los recursos físicos alimentan los costos; los ingresos y egresos permiten generar flujos de caja; y los flujos proyectados se utilizan para calcular indicadores financieros como VAN, TIR y punto de equilibrio.

Esta estructura evita reproducir las limitaciones de la matriz Excel institucional. En una hoja de cálculo, las fórmulas, parámetros y resultados pueden quedar distribuidos en varias hojas y depender de referencias internas difíciles de controlar. En el aplicativo, la arquitectura separa entradas, reglas, procesos, resultados y persistencia. Así, cada cálculo puede asociarse a un escenario específico, a los parámetros utilizados y al usuario responsable de la operación.

La relación entre WPF, C#.NET 8 y PostgreSQL/Supabase se establece mediante una comunicación por capas. WPF opera como medio de interacción visual; C#.NET 8 sostiene la lógica interna del aplicativo, los casos de uso, las entidades y los servicios; PostgreSQL/Supabase conserva la información de manera centralizada. Esta relación permite que la tecnología de interfaz no controle directamente la base de datos ni las reglas de cálculo, lo que mejora la mantenibilidad del sistema.

El siguiente diagrama en la figura 48, se incorpora para representar visualmente la arquitectura general del aplicativo. La figura muestra el flujo desde el usuario institucional hasta la base de datos; las capas de Presentación, Aplicación, Dominio e Infraestructura aparecen como bandas separadas.

Figura 48 *Arquitectura general del aplicativo*



Nota. Elaboración propia

El diseño arquitectónico propuesto fortalece la estabilidad del aplicativo porque distribuye las responsabilidades técnicas en componentes independientes. Esta separación permite modificar pantallas, ajustar reglas de negocio, cambiar consultas de base de datos o ampliar módulos sin afectar todo el sistema. Además, la arquitectura facilita la validación posterior del aplicativo, ya que los resultados pueden compararse con la matriz Excel de referencia manteniendo control sobre los datos de entrada, los cálculos ejecutados y los registros generados.

3.8 Diagramas de clases de dominio

Los diagramas de clases de dominio permiten representar las entidades principales que conforman la lógica interna del aplicativo. A diferencia del diagrama entidad-relación, cuyo propósito es mostrar la estructura de persistencia en la base de datos, los diagramas de clases describen cómo se organiza conceptualmente el dominio del sistema, es decir, cómo se modelan las reglas, objetos y relaciones que intervienen en el cálculo institucional de aranceles universitarios.

En este proyecto, el dominio se organizó en áreas funcionales relacionadas con la gestión académica, la proyección operativa, el análisis financiero, la seguridad y la trazabilidad. Esta separación responde a la necesidad de mantener una estructura coherente con Clean Architecture, donde la lógica de negocio se conserva independiente de la interfaz gráfica, de la base de datos y de otros componentes externos. Por ello, las clases del dominio representan los elementos esenciales del proceso institucional, tales como carrera, período académico, escenario de

proyección, retención, estudiantes, carga docente, costos, aranceles, financiamiento, balance e indicadores financieros.

Para el cuerpo principal del documento se seleccionaron dos diagramas de clases generales. El primero corresponde al dominio académico, porque contiene las clases que alimentan el cálculo a partir de información relacionada con estudiantes, retención, inflación, períodos y carga docente. El segundo corresponde al dominio financiero-estratégico, debido a que concentra las clases asociadas con el cálculo de aranceles, financiamiento, balance, flujo de caja e indicadores de viabilidad. Los diagramas complementarios de seguridad, auditoría, personal, activos, materiales y vistas específicas se incorporan en el Anexo A, con el fin de no sobrecargar la lectura del capítulo metodológico.

La siguiente tabla resume las clases principales consideradas dentro del dominio. Su propósito es explicar cómo cada grupo de clases participa en la representación de la lógica institucional del cálculo.

Tabla 33 *Clases principales del dominio del aplicativo*

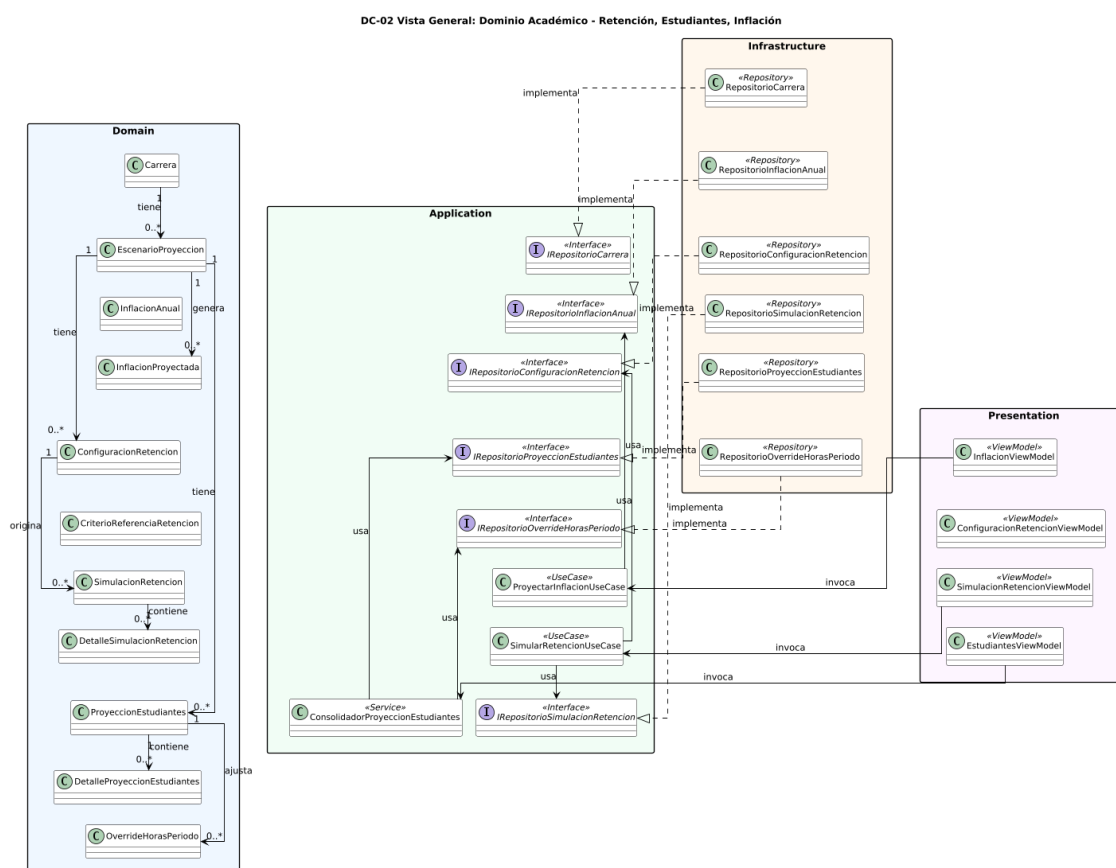
Grupo de clases	Clases representativas	Función dentro del dominio
Académicas base	Carrera, PeriodoAcademico, EscenarioProyeccion	Definen la carrera evaluada, el período de análisis y el escenario sobre el cual se ejecutan las proyecciones.
Proyección académica	ProyeccionEstudiantes, DetalleProyeccionEstudiantes, ConfiguracionRetencion, SimulacionRetencion	Representan la evolución esperada de estudiantes, ciclos, paralelos, permanencia y graduación.
Carga docente	CargoFacultad, ProyeccionCargoFacultad	Permiten estimar horas docentes y requerimientos de profesores según la proyección estudiantil.
Parámetros económicos	ConfiguracionArancelCarrera, DatosInstitucionales, InflacionAnual, InflacionProyectada	Definen valores de matrícula, arancel, inflación y ajustes utilizados en el cálculo financiero.

Costos y financiamiento	DatosInstitucionales, InversionFutura, ServicioMantenimiento	Representan fuentes de financiamiento, crédito, recursos propios, tasa de interés y tasa mínima de retorno.
Resultados financieros	ArancelOptimoBiseccionDto, CesDto, BalanceDto	Conservan los resultados del análisis, tales como VAN, TIR, punto de equilibrio, flujo de caja y balance.
Seguridad y trazabilidad	Usuario, Rol, Permiso, AuditoriaLog	Controlan el acceso al sistema y registran las operaciones realizadas sobre los datos institucionales.

Nota. Elaboración propia

El dominio académico constituye la base inicial del proceso de cálculo, ya que permite modelar las condiciones académicas de una nueva carrera universitaria. En este bloque se representan clases relacionadas con la carrera, los períodos académicos, los escenarios de proyección, la inflación, las tasas de retención, la graduación, la proyección de estudiantes y la carga docente. Estas clases permiten convertir información académica de entrada en datos estructurados que posteriormente alimentan los módulos financieros.

Figura 49 *Diagrama de clases del dominio académico*



Nota. Elaboración propia

El diagrama del dominio académico muestra que la clase *EscenarioProyeccion* cumple una función articuladora, debido a que permite vincular una carrera con las configuraciones y proyecciones que serán evaluadas. A partir de esta clase se relacionan los componentes de inflación, retención, estudiantes y carga docente. Esta estructura permite que cada escenario conserve sus propios parámetros, evitando mezclar datos entre diferentes simulaciones de una misma carrera.

La clase *Carrera* representa la oferta académica que se desea analizar, incluyendo datos como el código, nombre, facultad y total de ciclos. La clase *PeriodoAcademico* permite organizar la información en función de años, períodos o semestres, lo que resulta necesario para proyectar estudiantes, costos, ingresos y requerimientos docentes en el tiempo. Por su parte, las clases asociadas a retención y graduación permiten representar el comportamiento esperado de permanencia estudiantil, aspecto fundamental para estimar ingresos futuros y sostenibilidad académica.

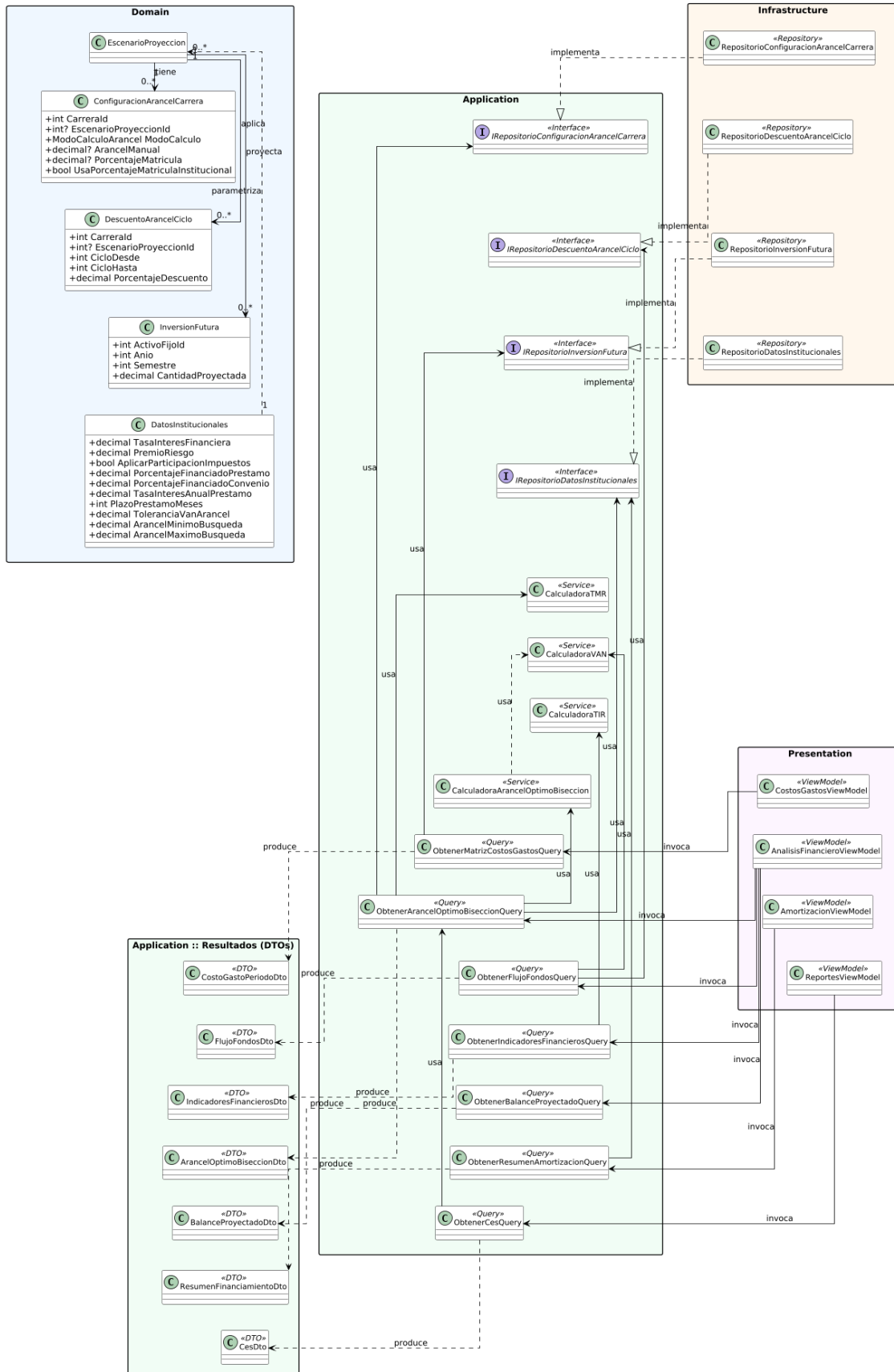
Dentro de este dominio, la proyección de estudiantes se relaciona con el cálculo de paralelos, ciclos y total de estudiantes por período. Esta información no se utiliza de forma aislada, sino que

alimenta clases posteriores vinculadas con carga docente y requerimiento de profesores. El dominio académico constituye, en suma, la primera etapa de la lógica institucional: estimar cuántos estudiantes cursarán la carrera, cómo avanzarán entre períodos académicos y qué recursos docentes serán necesarios para sostener la oferta.

El dominio financiero-estratégico integra los resultados derivados de los datos académicos y operativos. En este bloque se modelan las clases que permiten calcular ingresos, costos, gastos, financiamiento, amortización, flujo de caja, balance proyectado e indicadores financieros. Su propósito es representar la lógica que permite determinar si una nueva carrera es viable desde el punto de vista económico.

Figura 50 *Diagrama de clases del dominio financiero-estratégico*

DC-04 Vista General: Dominio Financiero-Estratégico - Análisis, Financiamiento, Balance



Nota. Elaboración propia

El diagrama del dominio financiero-estratégico permite observar cómo los parámetros académicos y económicos se transforman en resultados de análisis. La clase ConfiguraciónArancelCarrera representa los valores de arancel y matrícula asociados a cada carrera, mientras que la clase DatosInstitucionales concentra los parámetros de alcance institucional: porcentajes de matrícula y de becas, parámetros de la tasa mínima de rendimiento (tasa de interés financiera, inflación promedio y premio al riesgo) y parámetros de financiamiento (proporción de crédito, monto financiado, tasa de interés y plazo del préstamo). La tasa mínima de rendimiento no se almacena como un valor fijo, sino que se deriva de esos parámetros mediante el servicio CalculadoraTMR, lo que mantiene la regla de cálculo centralizada y modificable en un solo punto. Las inversiones que se incorporan en períodos posteriores se modelan mediante la clase InversiónFutura, y los descuentos comerciales por ciclo mediante la clase DescuentoArancelCiclo.

La amortización del crédito no se modela como una entidad persistida, sino que se calcula en la capa de aplicación mediante el método de la tabla de amortización francesa, obteniendo período a período el saldo de capital, la amortización, los intereses y la cuota total. Esta información es relevante porque los compromisos financieros afectan el flujo de caja proyectado y, por tanto, los indicadores de viabilidad de la carrera. De manera análoga, el balance proyectado —activos, pasivos, patrimonio, depreciación y utilidad acumulada— se construye en la capa de aplicación a partir de las entidades del dominio y se expone como un objeto de resultado que permite observar la evolución financiera del escenario sin acoplar el cálculo a la estructura de persistencia.

Los indicadores financieros —Tasa Interna de Retorno, Valor Actual Neto, punto de equilibrio, período de recuperación y la evaluación de viabilidad del escenario— se calculan igualmente en la capa de aplicación, mediante los servicios financieros del aplicativo (entre ellos el algoritmo de bisección que ajusta el arancel hasta aproximar el Valor Actual Neto a cero), y se devuelven como objetos de resultado (DTOs), no como entidades del dominio. Estos valores constituyen una salida fundamental del aplicativo, ya que transforman los datos ingresados en información útil para la toma de decisiones institucionales. El resumen de la proyección financiera —ingresos, costos, gastos, resultado operacional, resultado neto y flujos de caja por período académico— se consolida del mismo modo en la capa de aplicación, completando la cadena que va desde los parámetros académicos y económicos hasta los indicadores de viabilidad. Las clases vinculadas con usuarios, roles, permisos y auditoría no se presentan como figura principal en esta sección porque cumplen una función transversal. Sin embargo, su importancia dentro del dominio es significativa, ya que permiten controlar quién accede al aplicativo, qué acciones puede realizar y

qué cambios quedan registrados. Por esta razón, los diagramas específicos de seguridad, autenticación, RBAC, permisos y auditoría se incorporan en el Anexo A como soporte técnico complementario.

De igual manera, las clases relacionadas con personal, activos, mantenimiento, materiales, insumos y presupuesto se consideran parte del dominio operativo-financiero. Estos elementos alimentan los cálculos de costos y gastos, pero su nivel de detalle puede ser revisado de forma complementaria en anexos. En el cuerpo del capítulo se priorizan las vistas generales del dominio académico y financiero-estratégico porque explican con mayor claridad la lógica central del cálculo institucional de aranceles.

Los diagramas complementarios se presentan en el Anexo A para ampliar la documentación técnica del dominio sin interrumpir la lectura del capítulo metodológico.

3.9 Diagramas de secuencia del proceso de cálculo

Los diagramas de secuencia permiten representar el comportamiento dinámico del aplicativo durante la ejecución de sus procesos principales. Mientras los diagramas de clases describen la estructura del dominio y las relaciones entre entidades, los diagramas de secuencia muestran cómo interactúan los actores, pantallas, servicios, reglas de negocio y componentes de persistencia cuando el usuario realiza una operación dentro del sistema.

En el caso del aplicativo desarrollado, estos diagramas son necesarios para explicar el flujo técnico que ocurre desde el ingreso de datos hasta la generación de resultados financieros. El proceso no se limita a capturar información en formularios; también implica validar parámetros, consultar datos previamente almacenados, ejecutar reglas de cálculo, guardar resultados, registrar trazabilidad y generar salidas técnicas para uso institucional.

Para el cuerpo principal de esta sección se seleccionaron dos diagramas. El primero representa el ajuste automático de arancel mediante el método de bisección con VAN igual a cero, debido a que constituye uno de los procesos más relevantes del motor de cálculo. El segundo corresponde a la generación de balance y reporte CES, ya que muestra cómo los resultados calculados se consolidan en información útil para sustentar la toma de decisiones y la documentación técnica requerida por la institución.

La siguiente tabla resume las etapas generales que intervienen en el flujo de cálculo. Su propósito es mostrar la secuencia funcional que sigue el sistema desde la interacción inicial del usuario hasta la obtención de resultados y reportes.

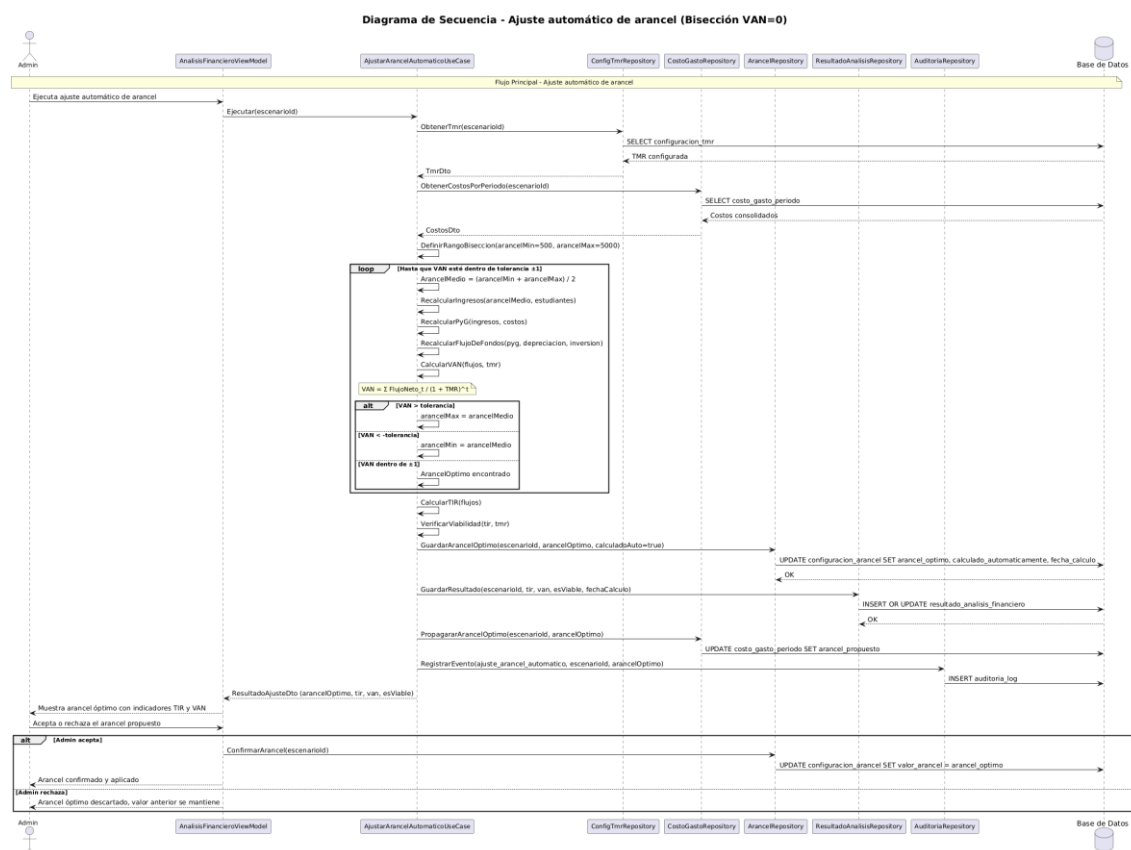
Tabla 34 *Etapas del proceso de cálculo dentro del aplicativo*

Etapas	Descripción
Ingreso de datos	El usuario registra o selecciona los parámetros académicos, financieros y operativos asociados a una carrera y a un escenario de proyección.
Validación de parámetros	El sistema verifica que los datos requeridos estén completos y sean coherentes antes de ejecutar el cálculo.
Consulta de información	El aplicativo recupera desde PostgreSQL/Supabase los datos relacionados con carrera, período, costos, estudiantes, inflación, financiamiento y escenarios previos.
Ejecución del motor de cálculo	Se aplican las reglas del dominio para calcular costos, ingresos, flujos, arancel, VAN, TIR, punto de equilibrio y otros indicadores.
Almacenamiento de resultados	Los resultados generados se guardan en la base de datos para permitir consulta, comparación y validación posterior.
Registro de trazabilidad	El sistema registra usuario, fecha, acción ejecutada, módulo afectado y datos procesados.
Generación de reportes	El aplicativo consolida los resultados en salidas técnicas dirigidas a las áreas institucionales correspondientes.

Nota. Elaboración propia

El primer diagrama seleccionado corresponde al ajuste automático de arancel mediante bisección, como se observa en la figura 51. Este proceso permite estimar un valor de arancel que acerque el Valor Actual Neto a cero, considerando los ingresos, costos, gastos, inversión, financiamiento y flujos proyectados. Su inclusión es importante porque representa una operación central del aplicativo: transformar datos académicos y financieros en una propuesta de arancel técnicamente calculada.

Figura 51 Diagrama de secuencia del ajuste automático de arancel mediante bisección VAN=0



Nota. Elaboración propia

En esta secuencia, el usuario inicia el proceso desde la interfaz del aplicativo, seleccionando una carrera y un escenario de proyección. La capa de presentación, construida en WPF bajo el patrón MVVM, envía la solicitud hacia la capa de aplicación, donde se coordina el caso de uso correspondiente. Antes de ejecutar el cálculo, el sistema valida que existan los parámetros mínimos necesarios, tales como proyección de estudiantes, costos, gastos, tasa mínima de retorno, configuración de arancel, financiamiento e inflación proyectada.

Una vez superada la validación, el sistema consulta en la base de datos la información asociada al escenario. Esta consulta permite recuperar los datos académicos y financieros previamente registrados, evitando que el cálculo dependa de archivos externos o de valores ingresados

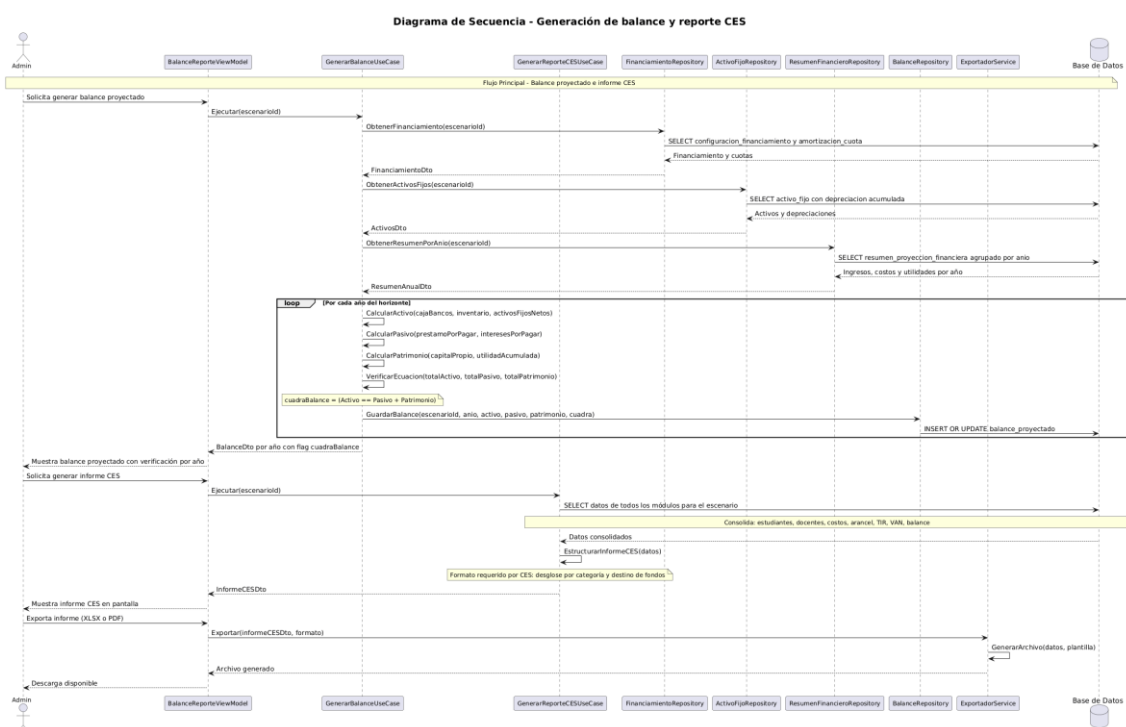
manualmente en el momento de la ejecución. Esta decisión mejora la consistencia del proceso, ya que todos los datos provienen de un repositorio centralizado.

Luego, el motor de cálculo ejecuta el proceso de ajuste automático. El método de bisección permite evaluar distintos valores de arancel dentro de un rango definido, recalculando los flujos financieros hasta encontrar un valor que aproxime el VAN a cero. En cada iteración se estiman ingresos proyectados, costos totales, gastos, flujos de caja y resultado financiero. Cuando el sistema alcanza el criterio de convergencia establecido, se obtiene el arancel sugerido para el escenario analizado.

El resultado del cálculo no queda únicamente en pantalla. El aplicativo almacena el arancel calculado, el VAN, la TIR, el punto de equilibrio y otros indicadores en las tablas correspondientes de resultados financieros. Además, registra la acción en el módulo de auditoría, incluyendo el usuario que ejecutó el proceso, la fecha, el módulo involucrado y el resumen de la operación. Esta trazabilidad permite reconstruir el cálculo y verificar bajo qué condiciones se obtuvo el resultado.

El segundo diagrama, como se observa en la figura 52, corresponde a la generación de balance y reporte CES. Este proceso representa la salida institucional del sistema, debido a que consolida la información generada por los módulos académicos, operativos y financieros en un reporte técnico. Su inclusión en esta sección muestra que el aplicativo, además de ejecutar cálculos internos, produce información organizada para revisión y toma de decisiones.

Figura 52 *Diagrama de secuencia de generación de balance y reporte CES*



Nota. Elaboración propia

En esta secuencia, el usuario solicita la generación del balance y del reporte desde la interfaz del aplicativo. La solicitud pasa al ViewModel correspondiente y posteriormente al caso de uso encargado de consolidar la información financiera. El sistema verifica que el escenario cuente con resultados previos de cálculo, debido a que el balance y el reporte dependen de datos ya procesados, como ingresos, costos, gastos, activos, pasivos, patrimonio, depreciación, flujos de caja e indicadores de viabilidad.

Después de la validación, el aplicativo consulta la información almacenada en PostgreSQL/Supabase. Esta consulta incluye los resultados de la proyección financiera, el balance proyectado, el análisis de VAN y TIR, el punto de equilibrio y los datos generales de la carrera. Con esa información, la capa de aplicación organiza los datos y los envía a los componentes encargados de construir el reporte.

El balance proyectado permite observar la estructura financiera del escenario, considerando activos, pasivos, patrimonio y resultados acumulados. Esta información es relevante porque complementa el cálculo del arancel con una lectura más amplia de la sostenibilidad económica de la carrera. De esta forma, el reporte no se limita a mostrar un valor final, sino que presenta una visión consolidada de la situación financiera proyectada.

El reporte CES se genera como una salida técnica que puede ser revisada por las áreas institucionales involucradas en el proceso de apertura de carreras. Esta salida puede incluir datos

académicos, supuestos de cálculo, costos, ingresos, indicadores financieros y resultados consolidados. El sistema registra también esta operación en la auditoría, lo que permite identificar cuándo se generó el reporte, por qué usuario y a partir de qué escenario de proyección.

La relación entre ambos diagramas evidencia el flujo completo del proceso de cálculo. Primero, el sistema ajusta el arancel mediante reglas financieras y validaciones internas. Después, consolida los resultados en un balance y en un reporte técnico. Esta secuencia permite pasar de datos dispersos a información institucional estructurada, reduciendo la dependencia de la matriz Excel y fortaleciendo la trazabilidad del proceso.

Los demás diagramas de secuencia se ubican en el Anexo B como documentación complementaria. Esta decisión permite mantener en el cuerpo del capítulo únicamente los flujos más representativos del proceso de cálculo, mientras que los procesos auxiliares, como autenticación, gestión de usuarios, inflación, retención, proyección de estudiantes, activos, gastos y dashboard financiero, quedan disponibles como respaldo técnico.

3.10 Descripción de los módulos implementados

El aplicativo se organizó en módulos funcionales con el propósito de trasladar la lógica de la matriz Excel institucional hacia una solución digital estructurada, validable y mantenible. Cada módulo atiende una parte específica del proceso de cálculo de aranceles, pero su funcionamiento no es aislado. Los datos académicos alimentan la proyección de demanda; la demanda se relaciona con ingresos, costos y gastos; los costos permiten calcular indicadores financieros; y los resultados se consolidan en reportes institucionales.

Esta organización modular permite reducir la complejidad del sistema, ya que cada componente cumple una responsabilidad definida dentro del flujo general. Además, cada módulo cuenta con documentación funcional propia, en la que se describen propósito, alcance, usuarios, restricciones, dependencias, interfaces y requerimientos específicos. Con ello, la implementación se sustenta tanto en las pantallas del aplicativo como en los documentos técnicos que respaldan el desarrollo realizado.

La siguiente tabla presenta la organización general de los módulos implementados. Su finalidad es mostrar cómo se agrupan dentro del aplicativo y qué tipo de evidencia puede incorporarse en el cuerpo del documento sin saturar el capítulo con capturas repetidas.

Tabla 35 *Módulos implementados en el aplicativo*

Grupo	Módulos incluidos	Propósito dentro del sistema	Evidencia sugerida
--------------	--------------------------	-------------------------------------	---------------------------

Administrativo	Usuarios	Gestionar cuentas, Captura de autenticación, roles, gestión de permisos y trazabilidad usuarios. de acciones críticas.
Académico	Estudiantes; Tasa de Retención	Proyectar estudiantes, paralelos, graduación, académica o horas docentes y docentes simulación de requeridos. retención.
Financiero-operativo	Demanda e Ingresos; Inflación; Sueldos y Planta Central; Recursos Físicos y Depreciación; Mantenimiento, Capital de Trabajo e Inversión Inicial; Costos y Gastos	Calcular ingresos, costos, Captura de gastos, inflación, cálculo financiero o consolidación de costos. mantenimiento, inversión y costo por estudiante.
Análisis	Análisis Financiero	Evaluar viabilidad Captura de VAN, mediante pérdidas y TIR, punto de ganancias, flujo de equilibrio o fondos, TIR, VAN, punto dashboard de equilibrio, período de financiero. recuperación y ajuste automático de arancel.
Reportes	Financiamiento, Balance y Reportes	Configurar Captura de financiamiento, generar reporte generado amortización, balance o balance proyectado, informe CES proyectado. y exportaciones en XLSX o PDF.

El grupo administrativo está representado por el módulo de Usuarios. Este módulo permite crear, consultar, editar, suspender o activar cuentas, autenticar usuarios, gestionar sesiones, definir roles y permisos, y registrar acciones críticas en un log de auditoría. Su función es transversal porque

controla quién puede ingresar al sistema y qué operaciones puede realizar cada perfil institucional. La documentación del módulo establece que el sistema debe restringir el acceso según rol, administrar permisos por módulo y conservar evidencia de actividades relevantes para la trazabilidad.

La Figura 53 muestra una captura del módulo administrativo de gestión de usuarios, en la que se observa el control de cuentas con el listado de usuarios y la asignación de roles y permisos. Esta evidencia permite visualizar cómo se implementó el control de acceso dentro del aplicativo.

Figura 53 Captura del módulo administrativo de gestión de usuarios

The screenshot displays the 'Sistema de Aranceles Universitarios' administrative interface. On the left is a dark blue sidebar with the 'Aranceles' logo and a navigation menu including 'Usuarios', 'Auditoría', 'Configuración base', 'Carreras', 'Inflación', 'Tasa de Retención y Graduación', 'Datos Institucionales', 'Proyección académica', 'Proyección de Estudiantes', 'Demanda e Ingresos', 'Costos y recursos', 'Sueldos Carrera', 'Aporte Planta Central', 'Recursos y Depreciación', and 'Mantenimiento e Inversión'. The main content area is titled 'Editar Usuario' and contains the following fields and sections:

- Nombre Completo ***: Text input field with 'Prueba2' entered.
- Correo Institucional ***: Text input field with 'prueba2@ucacue.edu.ec' entered.
- Contraseña ***: Text input field with the placeholder '(dejar vacío para mantener la actual)'. There is a 'VOLVER' link above this field.
- Rol ***: Dropdown menu with 'Visualizador' selected.
- Estado**: Dropdown menu with 'Activo' selected.
- Permisos de Acceso por Módulo**: Section header with the note 'Estos permisos anulan los del rol base para este usuario específico.' Below this are four modules with permission checkboxes:
 - Amortización**: 'editar' (unchecked), 'ver' (checked, rol base).
 - Análisis Financiero**: 'editar' (unchecked), 'ver' (checked, rol base).
 - Auditoría**: 'ver' (checked).
 - Capital De Trabajo**: 'ver' (checked, rol base).

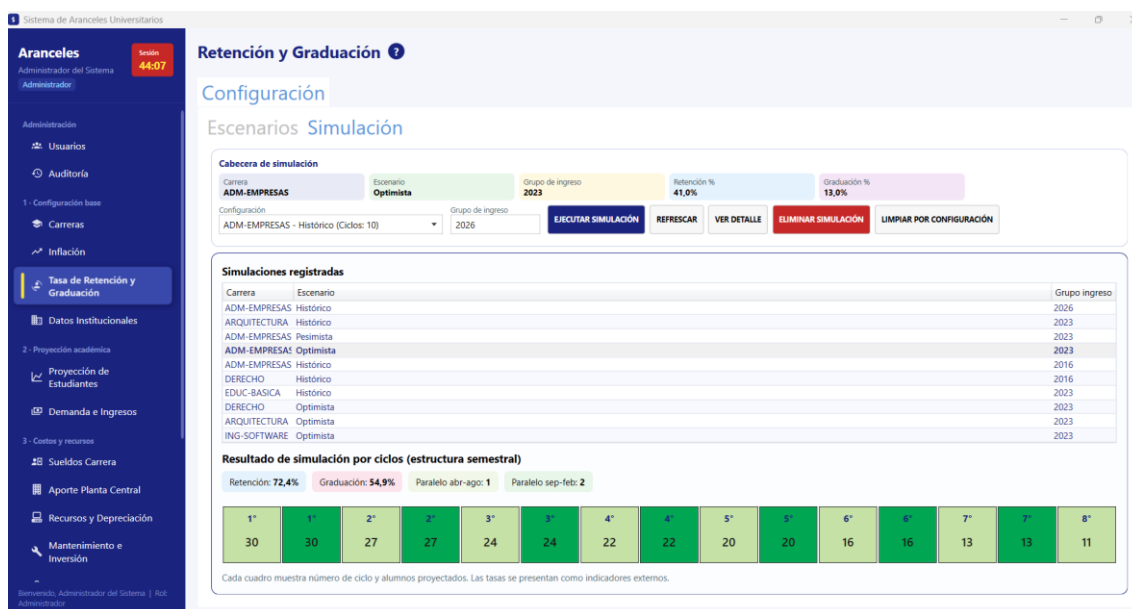
El grupo académico está conformado por los módulos de Tasa de Retención y Estudiantes. El módulo de Tasa de Retención permite registrar y simular tasas de retención y graduación por carrera, definir número de ciclos, estudiantes iniciales por período y paralelos, además de calcular indicadores de retención y titulación acumulada. Estos valores sirven como base para evaluar criterios académicos y alimentar la proyección de estudiantes.

El módulo de Estudiantes toma la configuración de retención y graduación para proyectar estudiantes por ciclo, año y período académico. También calcula paralelos acumulados, horas de docencia asistida, horas de aplicación práctica y docentes requeridos por tipo, como PhD, Mgs., parcial y técnico. Esta información es esencial porque constituye la base académica que alimenta la demanda, los ingresos, los costos docentes y otros cálculos posteriores.

La Figura 54 muestra una captura del módulo académico, en la que se presenta la proyección de estudiantes por ciclo, año y período, junto con la simulación de la tasa de retención y el desglose

de docentes requeridos. Esta evidencia demuestra que el sistema transforma los datos académicos en insumos para el cálculo financiero, en lugar de limitarse a almacenarlos.

Figura 54 Captura del módulo académico de proyección de estudiantes o tasa de retención



El grupo financiero-operativo reúne los módulos encargados de calcular los componentes económicos de la carrera. El módulo de Demanda e Ingresos consolida la proyección de estudiantes, ingresos por arancel y matrícula, seguro estudiantil, becas, presupuestos institucionales y materiales ajustados por inflación. Este módulo funciona como puente entre la proyección académica y los módulos financieros, ya que sus resultados alimentan Costos y Gastos, Análisis Financiero y Capital de Trabajo.

El módulo de Inflación permite registrar, importar y proyectar valores de inflación anual, los cuales son utilizados como datos de referencia para ajustar costos futuros en módulos como Sueldos, Demanda y Mantenimiento. Su incorporación es necesaria porque el cálculo de aranceles no se limita a valores estáticos, sino que debe considerar variaciones esperadas de costos durante el horizonte de proyección.

El módulo de Sueldos y Planta Central calcula los costos de personal atribuibles a la carrera, incluyendo cargos docentes, administrativos de facultad y proporción correspondiente de la planta central universitaria. Este cálculo considera beneficios sociales, pesos proporcionales y ajustes por inflación, lo que permite estimar el costo real de personal asociado a la nueva oferta académica.

El módulo de Recursos Físicos y Depreciación registra activos fijos de inversión inicial y necesidades futuras, calcula costos monetarios ajustados por inflación y determina la depreciación

semestral y acumulada. Sus resultados alimentan la inversión inicial, los costos y gastos, el balance y el flujo de fondos.

El módulo de Mantenimiento, Capital de Trabajo e Inversión Inicial calcula costos de servicios básicos, mantenimiento, capital de trabajo, inversión inicial total, activos diferidos y amortización. Este módulo vincula la operación futura de la carrera con los recursos necesarios para iniciar y sostener sus actividades durante los primeros períodos.

El módulo de Costos y Gastos consolida la información proveniente de los módulos anteriores. Agrupa costos por servicios, gastos administrativos, gastos de ventas, otros gastos y gasto financiero; aplica el factor de imprevistos; calcula ponderaciones; determina el costo por estudiante; y propone un arancel base. Por esta razón, funciona como punto de integración entre los componentes operativos y el análisis financiero.

La Figura 55 muestra una captura del módulo financiero, en la que se presenta la consolidación de costos con el resumen de inversión, sueldos, depreciación y costo por estudiante. La vista seleccionada evidencia los totales y los resultados calculados, y no únicamente los formularios de entrada de datos.

Figura 55 Captura del módulo financiero de costos, gastos o inversión

Costos y Gastos
Inv. Vin. Becas, Costos y Gastos, y Costo de la carrera (referencial)

Carrera: Administración de Empresas | Escenario: Optimista (con proyección) | REFRESCAR

Costos y Gastos calculado correctamente.

1. Inv. Vin. Becas 2. Costos y Gastos 3. Costo de la carrera (referencial)

Total costos y gastos: \$ 1.891.624,36 | Total descontado becas gobierno: \$ 1.891.624,36 | Imprevisto / variable: 1,05

Proyección de Costos y Gastos

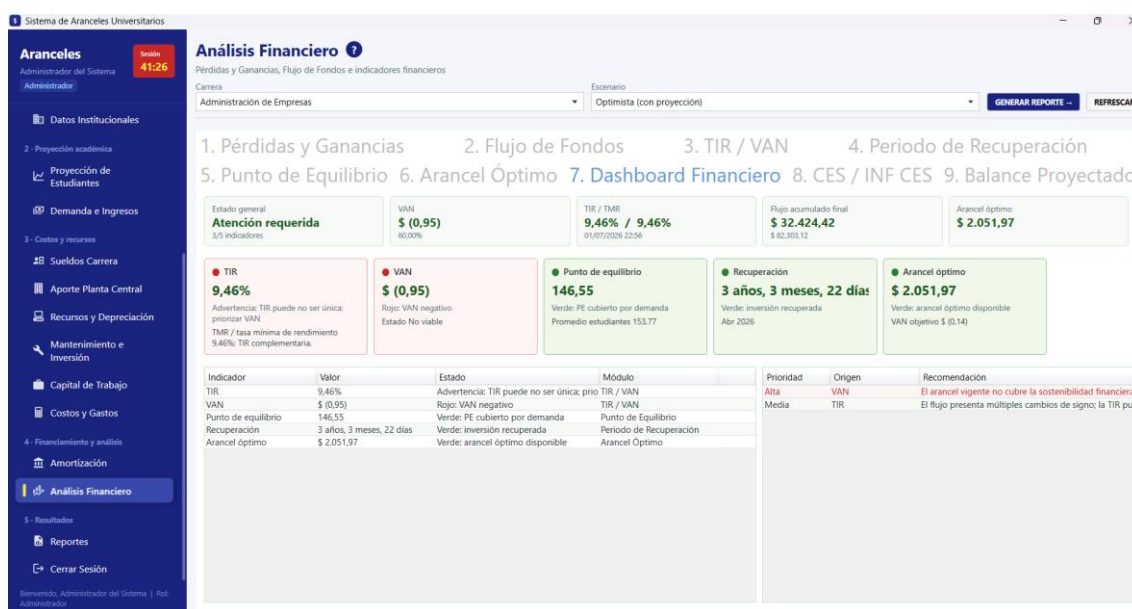
Concepto	Abr 2023	Sep 2023	Abr 2024	Sep 2024	Abr 2025	Sep 2025	Abr 2026	Sep 2026
1. Costos por servicios	\$ 31.863,09	\$ 88.387,30	\$ 110.008,06	\$ 160.377,98	\$ 186.344,99	\$ 237.544,98	\$ 253.256,94	\$ 311,3
Mantenimiento Edificio	\$ 3.071,71	\$ 9.028,22	\$ 11.207,45	\$ 16.378,53	\$ 17.839,03	\$ 22.339,75	\$ 22.865,02	\$ 26,88
Capacitación Docente	\$ 179,03	\$ 544,33	\$ 725,77	\$ 912,01	\$ 912,01	\$ 1.301,27	\$ 1.301,27	\$ 1.698,1
Internacionalización	\$ 115,71	\$ 339,86	\$ 422,46	\$ 617,16	\$ 672,11	\$ 849,24	\$ 865,37	\$ 1.012,2
Insumos Prácticas y Laboratorios	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Tiempo Completo PhD (18 horas)	\$ 0,00	\$ 23.834,99	\$ 23.961,16	\$ 23.961,16	\$ 48.839,97	\$ 48.839,97	\$ 49.595,41	\$ 74,39
Tiempo Completo Mgs. (18 horas)	\$ 15.202,78	\$ 15.408,00	\$ 15.409,57	\$ 30.979,14	\$ 31.572,24	\$ 47.338,36	\$ 64.121,15	\$ 64,12
Medio Tiempo(12 horas)	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 7.865,10	\$ 7.865,10	\$ 0,00	\$ 8.015,78	\$ 0,00	\$ 8,13
Tiempo Parcial (6 h)	\$ 0,00	\$ 2.758,34	\$ 2.772,94	\$ 2.772,94	\$ 2.826,05	\$ 2.826,05	\$ 2.869,74	\$ 2,86
Ocasional Tipo 2 (Técnico Docente)	\$ 2.865,28	\$ 6.170,34	\$ 9.487,86	\$ 16.420,73	\$ 20.267,25	\$ 26.592,58	\$ 30.212,70	\$ 37,38
Costo del Seguro Estudiantil	\$ 921,02	\$ 2.705,16	\$ 3.362,69	\$ 4.912,47	\$ 5.349,80	\$ 6.759,72	\$ 6.888,09	\$ 8,05
Becas Institucionales 10 % estudiantes	\$ 3.935,37	\$ 11.404,70	\$ 14.388,37	\$ 21.214,66	\$ 23.368,33	\$ 29.390,78	\$ 30.407,87	\$ 35,84
Investigación 5%	\$ 3.860,07	\$ 11.337,52	\$ 14.093,28	\$ 20.588,50	\$ 22.421,36	\$ 28.330,44	\$ 28.868,46	\$ 33,77
Vinculación 1%	\$ 772,01	\$ 2.267,51	\$ 2.818,65	\$ 4.117,70	\$ 4.484,28	\$ 5.666,08	\$ 5.773,69	\$ 6,75
Materiales y Suministros	\$ 645,42	\$ 1.638,85	\$ 2.011,15	\$ 2.854,04	\$ 3.083,99	\$ 3.884,99	\$ 3.952,47	\$ 4,62
Depreciación	\$ 294,69	\$ 949,48	\$ 1.401,61	\$ 6.783,84	\$ 4.708,57	\$ 5.189,97	\$ 5.435,70	\$ 5,89
2. Gastos de administración	\$ 32.385,74	\$ 66.567,27	\$ 64.583,04	\$ 81.893,59	\$ 86.513,04	\$ 98.754,44	\$ 100.905,14	\$ 110,0
Administración Central	\$ 4.905,81	\$ 14.217,04	\$ 17.672,71	\$ 25.681,71	\$ 27.967,99	\$ 34.674,84	\$ 35.333,34	\$ 40,70
Decano	\$ 2.946,43	\$ 7.330,65	\$ 8.668,63	\$ 11.203,94	\$ 12.051,60	\$ 13.709,90	\$ 14.072,07	\$ 15,21
Subdecano	\$ 2.192,56	\$ 5.455,04	\$ 6.450,70	\$ 8.337,33	\$ 8.968,10	\$ 10.202,11	\$ 10.471,61	\$ 11,32
Director de Carrera	\$ 17.646,36	\$ 17.884,55	\$ 17.979,27	\$ 17.979,27	\$ 18.323,46	\$ 18.323,46	\$ 18.606,91	\$ 18,60
Secretario	\$ 775,29	\$ 1.538,90	\$ 2.280,95	\$ 2.940,06	\$ 3.171,11	\$ 3.607,46	\$ 3.702,74	\$ 4,00
Auxiliar de Secretaria	\$ 662,21	\$ 1.647,57	\$ 1.948,26	\$ 2.518,06	\$ 2.708,59	\$ 3.081,29	\$ 3.162,69	\$ 3,49
Coordinador	\$ 699,90	\$ 1.741,33	\$ 2.059,16	\$ 2.661,40	\$ 2.862,78	\$ 3.256,70	\$ 3.342,71	\$ 3,61
Bienestar Estudiantil	\$ 699,90	\$ 1.741,33	\$ 2.059,16	\$ 2.661,40	\$ 2.862,78	\$ 3.256,70	\$ 3.342,71	\$ 3,61
Bibliotecario	\$ 624,52	\$ 1.553,77	\$ 1.837,37	\$ 2.374,74	\$ 2.554,42	\$ 2.905,91	\$ 2.982,70	\$ 3,22
Auxiliar de Servicios	\$ 771,10	\$ 1.784,64	\$ 2.129,17	\$ 2.740,84	\$ 2.946,17	\$ 3.336,14	\$ 3.445,08	\$ 3,74

El grupo de análisis está representado por el módulo de Análisis Financiero. Este módulo evalúa la viabilidad de la carrera mediante estado de pérdidas y ganancias, flujo de fondos, TIR, VAN, punto de equilibrio y período de recuperación. También incorpora una función crítica: el ajuste automático de arancel para aproximar el VAN a cero y la TIR a la TMR, eliminando el proceso manual de prueba y error que se realizaba en la matriz Excel.

Este módulo tiene un valor central dentro del aplicativo porque convierte los datos académicos, operativos y financieros en indicadores de decisión. En lugar de presentar únicamente costos aislados, permite determinar si el arancel propuesto permite sostener la carrera bajo las condiciones proyectadas. Además, el dashboard financiero facilita la revisión de resultados por parte de administradores, planificadores académicos y consultores.

La Figura 56 muestra una captura del módulo de análisis financiero, en la que se presentan los indicadores principales: VAN, TIR, punto de equilibrio, período de recuperación, flujo de fondos y arancel óptimo. Esta evidencia es relevante porque representa el resultado más significativo del motor de cálculo del aplicativo.

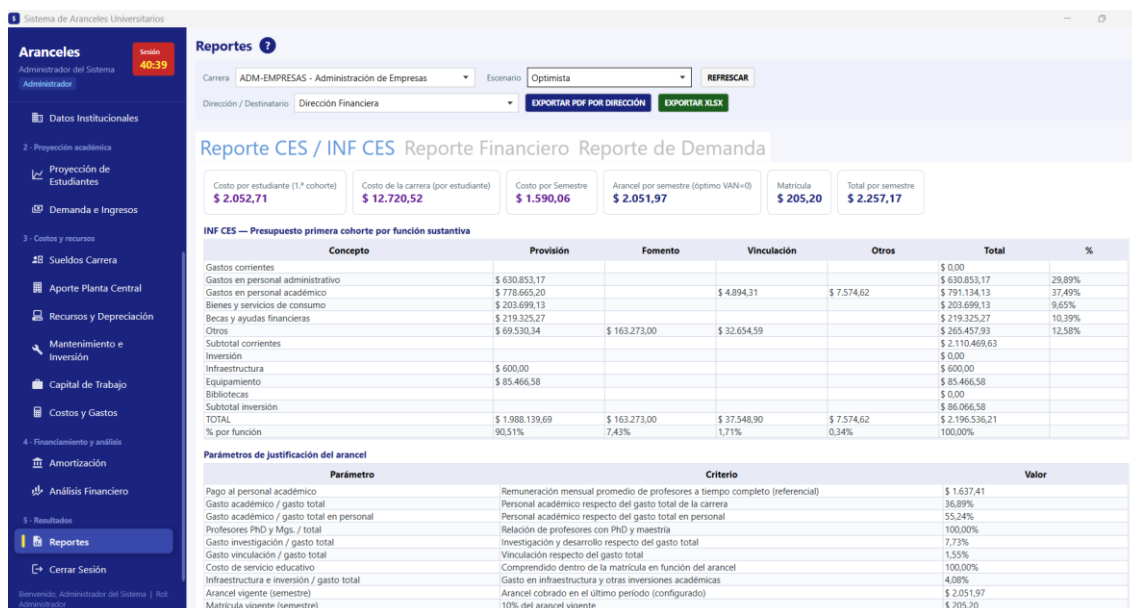
Figura 56 Captura del módulo de análisis financiero



El grupo de reportes corresponde al módulo de Financiamiento, Balance y Reportes. Este módulo permite configurar la distribución entre recursos propios y crédito, generar la tabla de amortización, proyectar el balance contable, elaborar el informe CES/INF CES y exportar resultados de los módulos en formato XLSX o PDF. Su función es consolidar la información calculada y transformarla en salidas institucionales utilizables para revisión, validación y toma de decisiones.

El reporte CES tiene especial importancia porque resume la información que justifica el arancel de la carrera. Además, el módulo contempla reportes por dirección institucional, como Dirección Financiera, Gestión Docente, Dirección Administrativa, Estrategia Comercial y Talento Humano. Esto permite que cada área consulte información relacionada con su responsabilidad sin alterar los cálculos del sistema.

Figura 57 Captura del módulo de financiamiento, balance y reportes



En conjunto, los módulos implementados permiten reproducir la lógica de la matriz institucional dentro de una estructura digital organizada. La diferencia principal frente al uso de Excel es que el aplicativo separa responsabilidades, valida datos, controla accesos, registra trazabilidad y conserva resultados en una base de datos centralizada. Esta organización facilita la revisión técnica del cálculo, reduce errores manuales y permite generar reportes por área institucional. En el Anexo C se observan las Capturas complementarias de módulos implementados

3.11 Validación del aplicativo

La validación del aplicativo se planteó como un proceso comparativo entre los resultados generados por la matriz Excel institucional y los resultados obtenidos mediante el sistema desarrollado. Esta comparación permite verificar si el aplicativo reproduce correctamente la lógica de cálculo existente, reduce errores operativos, mejora el tiempo de procesamiento y conserva evidencia de las operaciones realizadas. En la investigación ya se estableció que la validación considera métricas de precisión, tiempo de cálculo, inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad, las cuales permiten evaluar tanto la exactitud numérica como la mejora funcional del sistema frente al mecanismo anterior.

El procedimiento de validación parte de la selección de una carrera o programa de referencia y de la definición de escenarios de prueba. Para cada escenario se registran los mismos datos en la matriz Excel y en el aplicativo, considerando variables académicas, financieras y operativas. Entre estas variables se incluyen estudiantes iniciales, ciclos, paralelos, tasas de retención y graduación, inflación, costos docentes, recursos físicos, mantenimiento, inversión inicial, financiamiento, ingresos, costos, gastos y parámetros de análisis financiero.

La comparación se realiza bajo el mismo conjunto de datos de entrada. Primero se ejecuta el cálculo en la matriz Excel institucional, considerada como referencia inicial del proceso. Luego se ejecuta el mismo escenario en el aplicativo. Los resultados obtenidos en ambos entornos se organizan en tablas comparativas para identificar diferencias en valores clave, tales como estudiantes proyectados, costo por estudiante, arancel propuesto, ingresos, costos, gastos, inversión inicial, flujo de fondos, VAN, TIR, punto de equilibrio y período de recuperación.

Esta validación tiene un carácter funcional y numérico. Es funcional porque verifica que los módulos del sistema respondan al flujo esperado: ingreso de datos, validación, cálculo, almacenamiento, trazabilidad y generación de reportes. Es numérica porque contrasta los resultados del aplicativo con los obtenidos en Excel, utilizando indicadores que permitan medir diferencias y justificar la consistencia del sistema. En el documento metodológico ya se establece que el componente comparativo se orienta a contrastar los resultados del aplicativo con la matriz Excel de referencia mediante error relativo, tiempo de cálculo, número de inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad.

Para que la validación no dependa de un único comportamiento esperado, se definieron tres escenarios de prueba: caso base, caso optimista y caso crítico. Estos escenarios permiten evaluar el sistema en condiciones normales, favorables y de riesgo. El aplicativo se valida así frente a datos promedio y también frente a variaciones que pueden comprometer la sostenibilidad financiera de una nueva carrera.

La tabla 36 presenta los escenarios definidos para la validación. Su propósito es ordenar las condiciones bajo las cuales se compararán los resultados de Excel y del aplicativo.

Tabla 36 *Escenarios de prueba para la validación del aplicativo*

Escenario	Característica	Propósito
Caso base	Datos promedio de una carrera estándar, con matrícula, retención, costos e inversión en valores esperados.	Verificar el comportamiento normal del aplicativo frente a la matriz Excel institucional.
Caso optimista	Mayor matrícula, mejor retención, mejor graduación o costos controlados.	Evaluar el comportamiento del sistema bajo condiciones favorables para la sostenibilidad financiera.
Caso crítico	Baja matrícula, menor retención, mayores costos, mayor inversión inicial o incremento de gastos operativos.	Evaluar el comportamiento del sistema en condiciones de riesgo académico y financiero.

Nota. Elaboración propia.

En el caso base se utilizan valores promedio o esperados de una carrera estándar. Este escenario permite comprobar que el aplicativo funcione correctamente cuando los datos se encuentran dentro de condiciones normales. Aquí se revisa principalmente la consistencia del cálculo, la correspondencia con Excel y la generación adecuada de resultados.

En el caso optimista se modifican variables que favorecen la viabilidad de la carrera, como mayor número de estudiantes, mejor tasa de retención, mayor graduación o costos más controlados. Este escenario permite observar si el sistema responde correctamente cuando aumentan los ingresos o mejora la permanencia estudiantil. También permite verificar si los indicadores financieros reflejan una situación más favorable, especialmente en VAN, TIR, punto de equilibrio y período de recuperación.

En el caso crítico se modifican variables que generan presión sobre la sostenibilidad del programa. Se pueden reducir estudiantes iniciales, disminuir la retención, aumentar costos docentes, incrementar inversión inicial o elevar gastos operativos. Este escenario permite evaluar si el aplicativo detecta condiciones de riesgo y si los indicadores financieros reflejan adecuadamente una posible inviabilidad. Este punto es importante porque el aplicativo no debe limitarse a confirmar escenarios favorables, sino también evidenciar situaciones que requieren revisión institucional.

Las métricas de validación permiten medir el grado de correspondencia entre el aplicativo y la matriz Excel, así como la mejora operativa obtenida por la automatización. Estas métricas se aplican a los tres escenarios definidos. En cada caso se registran los datos de entrada, los resultados de Excel, los resultados del aplicativo, las diferencias detectadas y la evidencia funcional correspondiente.

Tabla 37 *Métricas de validación del aplicativo*

Métrica	Forma de aplicación	Evidencia esperada
Error relativo	Se calcula la diferencia porcentual entre el resultado generado por Excel y el resultado generado por el aplicativo.	Tabla comparativa de resultados por escenario.
Tiempo de cálculo	Se mide el tiempo requerido para ejecutar el cálculo en Excel y en el aplicativo.	Registro de tiempo de ejecución o comparación cronológica del proceso.

Número de inconsistencias	Se identifican diferencias, errores de cálculo, valores faltantes o resultados no coherentes.	Lista de inconsistencias detectadas y corregidas.
Trazabilidad	Se verifica si el sistema registra usuario, fecha, módulo, acción y datos modificados.	Captura o registro de auditoría generado por el aplicativo.
Reproducibilidad	Se repite el cálculo con los mismos datos para comprobar que el resultado se mantenga constante.	Comparación de ejecuciones repetidas del mismo escenario.

El error relativo se aplicará sobre los valores principales del cálculo. Para ello se tomará cada resultado de Excel como valor de referencia y se comparará con el valor generado por el aplicativo. La fórmula utilizada será:

$$\text{Error relativo (\%)} = \frac{|\text{Resultado Excel} - \text{Resultado aplicativo}|}{|\text{Resultado Excel}|} \times 100$$

Esta métrica se aplicará especialmente sobre valores como arancel propuesto, ingresos totales, costos totales, flujo de fondos, VAN, TIR, punto de equilibrio, inversión inicial y período de recuperación. Si existen diferencias mínimas, estas deberán analizarse en función de redondeos, número de decimales, aproximaciones de fórmulas o criterios de cálculo automatizado.

El tiempo de cálculo permitirá comparar la eficiencia operativa del proceso. En Excel, el tiempo se medirá desde el inicio de la carga o modificación de datos hasta la obtención de resultados consolidados. En el aplicativo, se medirá desde la ejecución del escenario hasta la generación de resultados y reportes. Esta métrica es relevante porque uno de los objetivos del sistema es reducir el trabajo manual y acelerar el procesamiento de información.

El número de inconsistencias permitirá identificar errores, diferencias o comportamientos no esperados. Una inconsistencia puede presentarse cuando un resultado no coincide con Excel, cuando un valor requerido no se valida correctamente, cuando un campo queda vacío, cuando un cálculo no se actualiza o cuando existe una diferencia no justificada en los resultados. Las inconsistencias encontradas deberán registrarse, clasificarse y corregirse antes de presentar los resultados definitivos.

La trazabilidad se validará revisando si el aplicativo registra las operaciones relevantes realizadas por los usuarios. Esto incluye cambios en tasas de retención, inflación, costos, inversión, financiamiento, arancel, ejecución de cálculos y generación de reportes. La importancia de esta

métrica radica en que la matriz Excel depende de controles externos o versiones manuales, mientras que el aplicativo puede conservar registros de auditoría con usuario, fecha, módulo y acción.

La reproducibilidad se evaluará ejecutando el mismo escenario más de una vez con los mismos datos de entrada. El resultado esperado es que el sistema genere los mismos valores en cada ejecución, salvo que se modifique algún parámetro. Esta métrica permite verificar que el cálculo no dependa de acciones manuales no controladas ni de cambios ocultos en fórmulas, como puede ocurrir en hojas de cálculo complejas.

Además de las métricas generales, se validarán resultados específicos del módulo de Análisis Financiero, debido a que este concentra los indicadores de viabilidad. Este módulo calcula pérdidas y ganancias, flujo de fondos, TIR, VAN, punto de equilibrio, período de recuperación y ajuste automático de arancel para aproximar $VAN=0$ y $TIR=TMR$. Por tanto, en el Capítulo 4 deberán presentarse evidencias comparativas de estos indicadores frente a los resultados obtenidos en Excel.

En el caso del ajuste automático de arancel, la validación revisará si el aplicativo encuentra un valor que aproxime el VAN a cero dentro de la tolerancia definida por el sistema. La documentación del módulo de análisis financiero establece que el sistema debe ejecutar un algoritmo de búsqueda, como bisección o búsqueda binaria, recalculando ingresos, pérdidas y ganancias, flujo y VAN hasta encontrar el arancel que produzca VAN aproximado a cero.

También se validará la generación de balance y reportes, debido a que estos constituyen la salida institucional del proceso. El módulo de Financiamiento, Balance y Reportes contempla la configuración de recursos propios y crédito, la generación de amortización, el balance proyectado, el informe CES y la exportación de resultados. Por ello, la validación debe comprobar que los resultados financieros se consoliden correctamente y que los reportes generados correspondan con los datos calculados.

Los datos que se registrarán durante la validación deben permitir reconstruir cada prueba realizada. Para cada escenario se debe conservar el nombre de la carrera o programa analizado, fecha de ejecución, usuario responsable, parámetros académicos, parámetros financieros, resultados de Excel, resultados del aplicativo, diferencia absoluta, error relativo, tiempo de cálculo, inconsistencias detectadas, evidencias de auditoría y capturas de reportes generados.

Tabla 38 *Datos que se registrarán durante la validación*

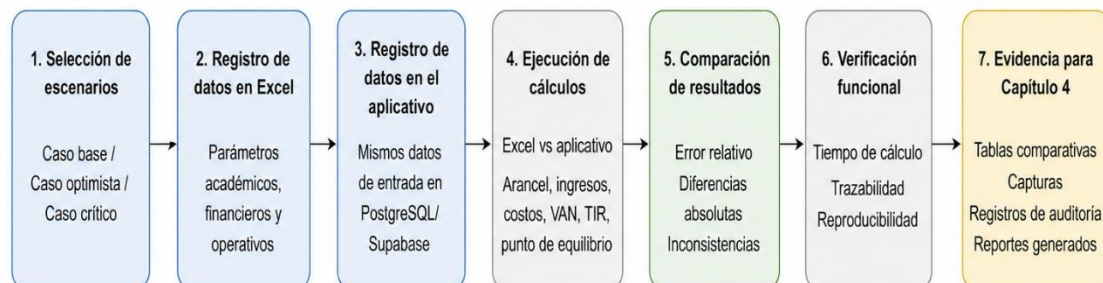
Tipo de dato	Información registrada
--------------	------------------------

Identificación del escenario	Nombre del escenario, carrera evaluada, fecha de ejecución y usuario responsable.
Parámetros académicos	Estudiantes iniciales, ciclos, paralelos, retención, graduación y docentes requeridos.
Parámetros financieros	Inflación, inversión inicial, costos, gastos, financiamiento, TMR y arancel.
Resultados Excel	Valores obtenidos en la matriz institucional para cada indicador seleccionado.
Resultados aplicativo	Valores generados por el sistema para los mismos indicadores.
Comparación	Diferencia absoluta, error relativo y observaciones técnicas.
Tiempo	Tiempo requerido por Excel y tiempo requerido por el aplicativo.
Trazabilidad	Registro de usuario, fecha, módulo, acción y cambios realizados.
Evidencia funcional	Capturas de pantalla, reportes generados y tablas exportadas.

El proceso de validación permite cerrar el marco metodológico conectando el desarrollo técnico del aplicativo con la evaluación de sus resultados. La comparación con Excel permite comprobar la precisión del cálculo; los escenarios permiten evaluar distintos comportamientos; las métricas permiten medir el desempeño del sistema; y la evidencia generada permite sustentar el análisis posterior. De esta forma, la validación no se limita a indicar que el aplicativo funciona, sino que demuestra bajo qué condiciones fue probado y qué resultados serán analizados en el capítulo siguiente.

Figura 58 *Proceso de validación del aplicativo*

Proceso de validación comparativa entre matriz Excel y aplicativo



3.12 Consolidado de requerimientos funcionales y no funcionales

Los requerimientos del sistema se especificaron por módulo durante el levantamiento descrito en las secciones anteriores, siguiendo la distinción entre requerimientos funcionales, que describen los servicios que el sistema debe proveer, y requerimientos no funcionales, que restringen cómo debe proveerlos [32]. Esta sección los consolida. Los requerimientos funcionales se derivaron de los 44 casos de uso identificados en los once módulos y se codificaron como RF-NN; los no funcionales se organizaron conforme a las características del modelo de calidad de producto ISO/IEC 25010 [26].

3.12.1 Requerimientos funcionales

La Tabla 39 presenta el consolidado de los requerimientos funcionales con su prioridad y el módulo al que pertenecen.

Tabla 39 *Requerimientos funcionales del sistema*

ID	Descripción completa	Prioridad	Módulo
RF-01	El sistema debe permitir al Administrador crear cuentas de usuario con nombre completo, correo electrónico, contraseña inicial y rol asignado, garantizando que no existan correos duplicados y almacenando la contraseña cifrada con BCrypt.	Alta	Gestión de Usuarios
RF-02	El sistema debe permitir consultar, editar datos y cambiar el estado (Activo/Suspendido) de las cuentas de usuario existentes, impidiendo que el Administrador suspenda su propia cuenta o elimine el único Administrador activo.	Alta	Gestión de Usuarios
RF-03	El sistema debe autenticar a los usuarios mediante correo y contraseña, mostrar un mensaje genérico ante credenciales incorrectas, y gestionar la expiración automática de sesión por inactividad (45 minutos, configurable).	Alta	Gestión de Usuarios
RF-04	El sistema debe permitir al Administrador crear y gestionar roles con permisos específicos por módulo y acción (leer, escribir, exportar), restringiendo automáticamente el acceso según el rol asignado y adaptando el menú de navegación.	Alta	Gestión de Usuarios
RF-05	El sistema debe registrar automáticamente un log inmutable de las acciones críticas (crear, editar, suspender cuentas; modificar roles y datos de cálculo), permitiendo al Administrador consultarlo con filtros por usuario, fecha y módulo.	Alta	Gestión de Usuarios
RF-06	El sistema debe permitir registrar datos históricos de inflación anual del Ecuador, validando que el valor esté entre -100 y 100 y que no existan duplicados por año.	Alta	Inflación

RF-07	El sistema debe permitir editar un valor de inflación ya registrado, con registro de trazabilidad (usuario, fecha y hora del cambio).	Media	Inflación
RF-08	El sistema debe proyectar la inflación para años futuros mediante regresión lineal, mostrando los valores proyectados diferenciados de los históricos.	Alta	Inflación
RF-09	El sistema debe permitir registrar por carrera las tasas de retención y graduación, número de ciclos, paralelos por periodo y estudiantes iniciales por paralelo, validando los rangos de cada campo.	Alta	Tasa de Retención
RF-10	El sistema debe calcular automáticamente la simulación de cohorte estudiantil ciclo a ciclo manteniendo precisión decimal, y los indicadores de retención y titulación.	Alta	Tasa de Retención
RF-11	El sistema debe permitir consultar y editar la configuración de tasas guardada, recalculando automáticamente la simulación tras cualquier cambio y registrando trazabilidad.	Media	Tasa de Retención
RF-12	El sistema debe generar automáticamente los paralelos y proyectar el número de estudiantes por ciclo, año y periodo usando los valores de la simulación de retención.	Alta	Estudiantes
RF-13	El sistema debe calcular las horas de docencia asistida y práctica requeridas por semana y por periodo, en función del número de paralelos proyectados.	Alta	Estudiantes
RF-14	El sistema debe calcular el número de docentes requeridos por tipo (PhD, Mgs., Parcial, Técnico) a partir de las horas de docencia calculadas.	Alta	Estudiantes
RF-15	El sistema debe permitir registrar los cargos de la facultad con su sueldo base y calcular automáticamente sus beneficios sociales y peso proporcional sobre la carrera.	Alta	Sueldos y Planta Central
RF-16	El sistema debe calcular el costo semestral de personal de la facultad aplicando el peso proporcional de la carrera y el factor de inflación acumulada proyectada por periodo.	Alta	Sueldos y Planta Central
RF-17	El sistema debe calcular y distribuir los costos de la planta central de la universidad a la carrera mediante un factor de prorratio configurable.	Media	Sueldos y Planta Central
RF-18	El sistema debe consolidar en una vista única los costos totales de personal (facultad y planta central) por periodo.	Media	Sueldos y Planta Central
RF-19	El sistema debe permitir configurar el valor del arancel semestral y la matrícula por estudiante por carrera.	Alta	Demanda e Ingresos
RF-20	El sistema debe calcular los ingresos proyectados por periodo, deduciendo becas institucionales y el costo del seguro estudiantil.	Alta	Demanda e Ingresos

RF-21	El sistema debe distribuir los presupuestos institucionales de capacitacion, internacionalizacion y marketing hacia la carrera mediante un factor de distribucion configurable.	Media	Demanda e Ingresos
RF-22	El sistema debe permitir registrar materiales y suministros, proyectando sus cantidades y calculando sus costos ajustados por inflación acumulada para cada periodo.	Alta	Demanda e Ingresos
RF-23	El sistema debe consolidar en una vista unica toda la información de demanda proyectada de la carrera.	Baja	Demanda e Ingresos
RF-24	El sistema debe permitir registrar activos fijos de inversion inicial y proyectar necesidades de nuevos activos para periodos futuros, diferenciando ambas categorias.	Alta	Recursos Físicos y Depreciacion
RF-25	El sistema debe calcular el costo monetario de cada activo proyectado aplicando inflación acumulada desde el periodo base hasta el periodo de adquisicion.	Alta	Recursos Físicos y Depreciacion
RF-26	El sistema debe calcular la depreciación semestral de cada activo fijo por el método de linea recta, utilizando el valor original, valor residual (5%) y vida util por categoria.	Alta	Recursos Físicos y Depreciacion
RF-27	El sistema debe calcular la depreciación acumulada progresiva a lo largo del horizonte de la carrera y dejarla disponible para el análisis financiero.	Alta	Recursos Físicos y Depreciacion
RF-28	El sistema debe calcular los costos de servicios basicos y mantenimiento atribuibles a la carrera distribuyendo proporcionalmente el gasto institucional.	Media	Mantenimiento, Capital e Inversion Inicial
RF-29	El sistema debe calcular el capital de trabajo necesario para cubrir los meses de operación sin ingresos al inicio de la carrera.	Alta	Mantenimiento, Capital e Inversion Inicial
RF-30	El sistema debe calcular la inversion inicial total consolidando activos diferidos, activos fijos, capital de trabajo e imprevistos (porcentaje configurable).	Alta	Mantenimiento, Capital e Inversion Inicial
RF-31	El sistema debe permitir registrar activos diferidos (gastos pre-operativos) y calcular su amortizacion semestral a lo largo del horizonte de la carrera.	Media	Mantenimiento, Capital e Inversion Inicial
RF-32	El sistema debe consolidar todos los costos y gastos de la carrera por periodo, aplicando el factor de imprevistos y ponderaciones configurables.	Alta	Costos y Gastos
RF-33	El sistema debe calcular el costo por estudiante de la carrera y proponer un arancel y matricula con base en los costos consolidados y la proyección de estudiantes.	Alta	Costos y Gastos

RF-34	El sistema debe generar el Estado de Perdidas y Ganancias proyectado por periodo, mostrando ingresos, costos y la utilidad o perdida resultante.	Alta	Análisis Financiero
RF-35	El sistema debe generar el Flujo de Fondos Neto proyectado incluyendo la inversion inicial en el año 0.	Alta	Análisis Financiero
RF-36	El sistema debe permitir configurar la Tasa Minima de Rendimiento (TMR) y calcular la TIR y el VAN sobre el flujo de fondos.	Alta	Análisis Financiero
RF-37	El sistema debe calcular automáticamente el arancel necesario para que el VAN sea igual a cero y la TIR sea igual a la TMR (biseccion).	Alta	Análisis Financiero
RF-38	El sistema debe calcular el Punto de Equilibrio (número mínimo de estudiantes para no operar en perdida) por periodo.	Alta	Análisis Financiero
RF-39	El sistema debe calcular el Periodo de Recuperacion de la Inversion (payback) a partir del flujo de fondos acumulado.	Media	Análisis Financiero
RF-40	El sistema debe presentar un dashboard consolidado con todos los indicadores de viabilidad financiera (TIR, VAN, punto de equilibrio, payback) en una vista unica.	Media	Análisis Financiero
RF-41	El sistema debe permitir configurar la distribucion entre recursos propios y credito institucional, generando la tabla de amortizacion del prestamo con cuotas semestrales.	Media	Financiamiento, Balance y Reportes
RF-42	El sistema debe generar el Balance Proyectado verificando que Activo = Pasivo + Patrimonio en cada periodo.	Alta	Financiamiento, Balance y Reportes
RF-43	El sistema debe consolidar la información de todos los módulos en el informe requerido por el CES para la apertura de nuevas carreras, permitiendo su exportación en XLSX y PDF.	Alta	Financiamiento, Balance y Reportes
RF-44	El sistema debe permitir exportar los resultados de cualquier módulo individual en formato XLSX o PDF.	Media	Financiamiento, Balance y Reportes

Nota. Elaboración propia

3.12.2 Requerimientos no funcionales

La Tabla 40 presenta los requerimientos no funcionales, cada uno con su característica de calidad, prioridad, criterio de aceptación medible y los requerimientos funcionales que respalda. La documentación de los requerimientos no funcionales con criterios verificables sigue siendo una carencia frecuente en los proyectos que siguen metodologías ágiles [32]; en este trabajo se especificaron conforme al modelo de calidad de producto ISO/IEC 25010 [26].

Tabla 40 *Requerimientos no funcionales del sistema*

ID	Nombre	Prioridad	Criterio de Aceptacion	RF Relacionados
RNF-01	Seguridad	Alta	Ninguna contraseña se almacena en texto plano. El sistema muestra un unico mensaje de error ante credenciales incorrectas. El acceso a módulos no autorizados devuelve el mensaje 'No tiene permisos para acceder a este recurso'.	RF-01, RF-03, RF-04
RNF-02	Rendimiento	Alta	Ninguna operación de cálculo del sistema supera los 2.000 ms, verificado mediante la suite de 152 pruebas automatizadas, cuya prueba más costosa se ejecuta en 7 ms y ninguna supera los 25 ms.	RF-37
RNF-03	Usabilidad	Media	Los mensajes de error contienen la descripcion del problema y la accion correctiva. El menu de navegacion no muestra módulos a los que el usuario no tiene acceso.	RF-03, RF-04
RNF-04	Disponibilidad (*)	Media	El sistema no presenta caidas no planificadas durante las sesiones de validación. El servicio de base de datos en Supabase opera con disponibilidad garantizada por su SLA.	Ninguna
RNF-05	Persistencia	Alta	Al reiniciar sesión, todos los datos previamente guardados estan disponibles. Los registros de auditoria no tienen opcion de edición ni eliminacion en ningun rol.	RF-05
RNF-06	Integridad	Alta	Los valores de módulos proveedores (Sueldos, Retencion) coinciden con los usados por los módulos consumidores (Costos, Análisis Financiero). El balance cuadra en todos los periodos.	RF-32, RF-42
RNF-07	Trazabilidad	Alta	Cada accion crítica genera un registro con ID unico. El log es consultable con filtros. Ningun usuario puede editar ni eliminar registros de auditoria.	RF-05, RF-07, RF-11
RNF-08	Control de Acceso	Alta	El rol Administrador accede a todos los módulos incluyendo gestión de usuarios. El rol Consultor accede unicamente a los módulos autorizados en modo lectura. Los recursos no autorizados son bloqueados.	RF-04

RNF-09	Escalabilidad (*)	Baja	Un nuevo módulo puede ser anadido implementando las interfaces de Application existentes sin modificar el código de los módulos ya implementados.	Ninguna
RNF-10	Mantenibilidad (*)	Media	La suite de 152 tests unitarios en Application.Tests valida la logica de negocio de forma independiente a la base de datos y a la interfaz grafica.	Ninguna
RNF-11	Compatibilidad (*)	Baja	Los archivos XLSX generados se abren correctamente en Excel sin perdida de datos. Los archivos PDF generados se visualizan correctamente en Adobe Reader.	RF-43, RF-44
RNF-12	Confiabilidad	Alta	El El error relativo de los indicadores validados se mantiene dentro del umbral institucional del diez por ciento. El Plan de Validación version 4.2 (junio 2026) comparo los resultados del aplicativo contra la matriz Excel institucional sobre tres casos de prueba (base, optimista y crítico). El error relativo en el arancel óptimo, TIR, VAN y punto de equilibrio se mantuvo dentro del umbral del 10%.	RF-33, RF-36, RF-37

Nota. Elaboración propia. Los requerimientos marcados con asterisco (RNF-04 Disponibilidad y RNF-09 Escalabilidad) se verifican por diseño arquitectónico y por el acuerdo de nivel de servicio de la plataforma de alojamiento, no mediante pruebas de ejecución directas.

3.12.3 Matriz de trazabilidad

La Tabla 41 vincula los requerimientos funcionales con sus casos de uso, los requerimientos no funcionales aplicables y el módulo correspondiente, y muestra la cobertura completa entre lo especificado y lo implementado.

Tabla 41 Matriz de trazabilidad de requerimientos

Requerimientos Funcionales	Casos de Uso	RNF Aplicables	Módulo
RF-01 a RF-05	CU-US-01 a CU-US-04	RNF-01, RNF-03, RNF-05, RNF-07, RNF-08	Gestión de Usuarios
RF-06 a RF-08	CU-IN-01, CU-IN-02, CU-IN-03	RNF-02, RNF-06, RNF-07	Inflación
RF-09 a RF-11	CU-TR-01 a CU-TR-03	RNF-02, RNF-06, RNF-07	Tasa de Retencion

RF-12 a RF-14	CU-ES-01 a CU-ES-03	RNF-02, RNF-06	Estudiantes
RF-15 a RF-18	CU-SP-01 a CU-SP-04	RNF-02, RNF-06	Sueldos y Planta Central
RF-19 a RF-23	CU-DI-01 a CU-DI-05	RNF-02, RNF-06	Demanda e Ingresos
RF-24 a RF-27	CU-RD-01 a CU-RD-04	RNF-02, RNF-06	Recursos Físicos y Depreciacion
RF-28 a RF-31	CU-MI-01 a CU-MI-04	RNF-02, RNF-06	Mantenimiento e Inversion Inicial
RF-32 a RF-33	CU-CG-01, CU-CG-02	RNF-02, RNF-06, RNF-12	Costos y Gastos
RF-34 a RF-40	CU-AF-01 a CU-AF-07	RNF-02, RNF-06, RNF-12	Análisis Financiero
RF-41 a RF-44	CU-FB-01 a CU-FB-04	RNF-02, RNF-06, RNF-11, RNF-12	Financiamiento, Balance y Reportes

Nota. Elaboración propia

3.12.4 Evidencias técnicas de cumplimiento

A continuación, se presentan las evidencias que respaldan el cumplimiento de los requerimientos no funcionales de seguridad, trazabilidad, control de acceso y rendimiento, obtenidas directamente del aplicativo implementado.

Seguridad (RNF de seguridad). El sistema despliega un mensaje genérico ante credenciales inválidas, sin revelar si el usuario o la contraseña son incorrectos, y almacena las contraseñas únicamente como hash BCrypt.

Figura 59 Mensaje genérico de inicio de sesión ante credenciales inválidas

The screenshot shows a web browser window titled "Sistema de Aranceles — Iniciar Sesión". The page has a light blue header with the title "Sistema de Aranceles" and a subtitle "Iniciar Sesión". Below the header, there are two input fields: "Correo institucional" with the value "admin@ucacue.edu.ec" and "Contraseña" with the value "ContraseñaIncorrecta". To the right of the password field is a small icon of a crossed-out eye. Below the input fields, there is a red error message: "Correo o contraseña incorrectos." At the bottom of the form is a large blue button labeled "INGRESAR".

Nota. Captura del Aplicativo

Figura 60 Almacenamiento de contraseñas mediante hash BCrypt

SQL Editor

```

1 -- 1) Usuario admin
2 SELECT id, nombre_completo, correo_institucional, estado
3 FROM public.usuario
4 WHERE correo_institucional = 'admin@ucacue.edu.ec';
5
6 -- 2) Roles existentes
7 SELECT id, nombre, descripcion
8 FROM public.rol
9 ORDER BY id;

```

Results

id	usuario_id	token_sesion	emitido_en	expira_en	revocado_en
768	1	e2eb579843e84dbd9410548903b162e6	2026-07-13 17:31:29.243681+00	2026-07-13 18:16:29.243635+00	2026-07-13 17:32:05.104489+00
759	12	c947ebc8b87406a97d9fe804ea5c87	2026-07-13 17:30:59.585882+00	2026-07-13 18:15:59.585615+00	2026-07-13 17:31:22.310385+00
758	1	6cde3e51eb9f4d15a68ade50b54ac520	2026-07-13 17:30:31.023886+00	2026-07-13 18:15:31.023792+00	2026-07-13 17:30:53.927255+00
757	1	818e6539ebc74192bbfc7407c522d901	2026-07-13 17:29:49.128599+00	2026-07-13 18:14:49.119755+00	2026-07-13 17:30:29.046883+00
756	1	678f167cc52848cebe1e7d84589eb9a2	2026-07-13 17:23:41.024868+00	2026-07-13 18:08:41.024814+00	NULL
755	12	3738bc69b26e429ebf3587b36657802	2026-07-13 17:22:47.208162+00	2026-07-13 18:07:47.208127+00	2026-07-13 17:23:32.315825+00
754	1	6362796bc23047f7aa1c4fc88eb8757	2026-07-13 17:22:04.384889+00	2026-07-13 18:07:04.384709+00	2026-07-13 17:22:41.618719+00
753	8	01a57301af1a46f3a0f7bd890a1c92d1	2026-07-13 17:21:36.409117+00	2026-07-13 18:06:36.408827+00	2026-07-13 17:21:56.737702+00
752	1	eb1b0747ca0d4b7c9456e40d68b4feb2	2026-07-13 17:15:29.785166+00	2026-07-13 18:00:29.784321+00	NULL

Nota. Consulta en base de Datos (Supabase)

Trazabilidad (RNF de trazabilidad). El módulo de auditoría registra cada operación crítica con el usuario, la fecha y hora, el módulo afectado y los valores anterior y nuevo, en registros no editables.

Figura 61 Tabla de auditoría con registros reales de operaciones

Audit Log - Acciones Críticas

Fecha	Usuario	UsuarioId	Módulo	Acción	Entidad	EntidadId	Resumen
13/07/2026 12:07:20	Usuario #1	1	Usuarios	CREAR	Usuario	12	Usuario "Prueba_Usuario" creado con rol "Analista".
13/07/2026 12:06:22	Usuario #1	1	Autenticación	LOGIN_EXITOSO	Usuario	1	Inicio de sesión exitoso para 'admin@ucacue.edu.ec'.
13/07/2026 12:06:06	Usuario #1	1	Autenticación	LOGOUT	SesionUsuario	1	Cierre de sesión del usuario Id 1.
13/07/2026 12:06:01	Usuario #1	1	Autenticación	LOGIN_EXITOSO	Usuario	1	Inicio de sesión exitoso para 'admin@ucacue.edu.ec'.
13/07/2026 12:05:45	Usuario #1	1	Autenticación	LOGOUT	SesionUsuario	1	Cierre de sesión del usuario Id 1.
13/07/2026 12:05:41	Usuario #1	1	Autenticación	LOGIN_EXITOSO	Usuario	1	Inicio de sesión exitoso para 'admin@ucacue.edu.ec'.
13/07/2026 12:04:31	Usuario #1	1	Autenticación	LOGOUT	SesionUsuario	1	Cierre de sesión del usuario Id 1.
13/07/2026 11:54:52	Usuario #1	1	Autenticación	LOGIN_EXITOSO	Usuario	1	Inicio de sesión exitoso para 'admin@ucacue.edu.ec'.
13/07/2026 11:54:40	Usuario #1	1	Autenticación	LOGOUT	SesionUsuario	1	Cierre de sesión del usuario Id 1.
13/07/2026 11:39:00	Usuario #1	1	Autenticación	LOGIN_EXITOSO	Usuario	1	Inicio de sesión exitoso para 'admin@ucacue.edu.ec'.
04/07/2026 22:45:24	Usuario #1	1	Autenticación	LOGIN_EXITOSO	Usuario	1	Inicio de sesión exitoso para 'admin@ucacue.edu.ec'.
02/07/2026 23:33:08	Usuario #1	1	DemandasIngresos	ACTUALIZAR	ConfiguracionArancel	19	Carrera=91, Escenario=95, Modo=OptimoFinanciero
02/07/2026 23:31:04	Usuario #1	1	DemandasIngresos	CREAR	ConfiguracionArancel	19	Carrera=91, Escenario=95, Modo=Manual
02/07/2026 23:29:57	Usuario #1	1	Estudiantes	GENERAL_PROYECCION	ProyeccionEstudiante	21	Proyección generada. Carrera=91, Escenario=95, AñoBase=2023, C
02/07/2026 23:29:40	Usuario #1	1	TasaRetencion	CREAR_SIMULACION	SimulacionRetencion	38	Simulación creada. Config=41, Cohorte=2023.
02/07/2026 23:29:23	Usuario #1	1	TasaRetencion	CREAR	ConfiguracionRetenci	41	Configuración de retención creada. Carrera=ADM-EMPRESAS-PRUE
02/07/2026 23:28:42	Usuario #1	1	Autenticación	LOGIN_EXITOSO	Usuario	1	Inicio de sesión exitoso para 'admin@ucacue.edu.ec'.
02/07/2026 23:27:27	Usuario #1	1	Autenticación	LOGOUT	SesionUsuario	1	Cierre de sesión del usuario Id 1.
02/07/2026 23:25:52	Usuario #1	1	DemandasIngresos	ACTUALIZAR	ConfiguracionArancel	18	Carrera=91, Escenario=94, Modo=OptimoFinanciero
02/07/2026 23:23:46	Usuario #1	1	DemandasIngresos	ACTUALIZAR	ConfiguracionArancel	18	Carrera=91, Escenario=94, Modo=Manual
02/07/2026 23:23:28	Usuario #1	1	DemandasIngresos	CREAR	ConfiguracionArancel	18	Carrera=91, Escenario=94, Modo=Manual
02/07/2026 23:22:26	Usuario #1	1	Estudiantes	GENERAL_PROYECCION	ProyeccionEstudiante	20	Proyección generada. Carrera=91, Escenario=94, AñoBase=2023, C
02/07/2026 23:22:13	Usuario #1	1	TasaRetencion	CREAR_SIMULACION	SimulacionRetencion	37	Simulación creada. Config=40, Cohorte=2023.
02/07/2026 23:21:59	Usuario #1	1	TasaRetencion	CREAR	ConfiguracionRetenci	40	Configuración de retención creada. Carrera=ADM-EMPRESAS-PRUE
02/07/2026 23:20:49	Usuario #1	1	Autenticación	LOGIN_EXITOSO	Usuario	1	Inicio de sesión exitoso para 'admin@ucacue.edu.ec'.

Nota. Captura del Aplicativo

Control de acceso por roles (RNF de control de acceso). El menú y las opciones disponibles se adaptan al rol del usuario autenticado. Las siguientes figuras muestran las vistas de los roles Administrador, Analista y Visualizador, y el control de acceso por permisos de módulo.

Figura 62 Vista del sistema para el rol Administrador

Gestión de Usuarios

ID	Nombre Completo	Correo	Estado	Rol	Último Acceso
1	Administrador del Sistema	admin@ucacue.edu.ec	Activo	Administrador	13/07/2026 12:29
3	Prueba2	prueba2@ucacue.edu.ec	Activo	Visualizador	16/05/2026 20:19
4	Prueba3	prueba3@ucacue.edu.ec	Activo	Analista	16/05/2026 21:13
7	Prueba5	prueba5@ucacue.edu.ec	Activo	Analista	09/04/2026 23:17
8	Prueba1	prueba1@ucacue.edu.ec	Activo	Analista	13/07/2026 12:21
9	Prueba4	prueba4@ucacue.edu.ec	Inactivo	Visualizador	15/04/2026 23:28
10	Admin2	admin2@ucacue.edu.ec	Activo	Administrador	02/07/2026 22:25
11	Eva Samaniego	eva.samaniego@ucacue.edu.ec	Activo	Analista	02/07/2026 16:15
12	Prueba Usuario	prueba_usuario@ucacue.edu.ec	Activo	Analista	13/07/2026 12:22

Editar Eliminar

Nota. Captura del Aplicativo

Figura 63 Vista del sistema para el rol Analista

Gestión de Carreras

Guía completa: de la carrera al reporte

Código	Nombre	Facultad	Ciclos
ADM-EMPRESAS-PRUEBAS	ADMINISTRACION EMPRESAS PRUEBAS	Ciencias Administrativas	8
ARQUITECTURA	Arquitectura	Ingeniería y Tecnología	10
BIO-SISTEMAS	Ingeniería en Sistemas Biomédicos	Ingeniería y Tecnología	8
CONT-AUD	Contabilidad y Auditoría	Ciencias Administrativas	8
DERECHO	Derecho	Ciencias Jurídicas	8
DISEÑO-GRÁFICO	Diseño Gráfico	Arte y Diseño	8
EDUC-BÁSICA	Educación Básica	Ciencias de la Educación	8
EDUC-INICIAL	Educación Inicial	Ciencias de la Educación	8
ENFERMERIA	Enfermería	Ciencias de la Salud	8
ING-CIVIL	Ingeniería Civil	Ingeniería y Tecnología	10
ING-INDUSTRIAL	Ingeniería Industrial	Ingeniería y Tecnología	10
ING-SOFTWARE	Ingeniería en Software	Ingeniería y Tecnología	8
MEDICINA	Medicina	Ciencias de la Salud	12
ODONTOLOGIA	Odontología	Ciencias de la Salud	10
PSICO-CLINICA	Psicología Clínica	Ciencias de la Salud	8
ROBOTICA	Ingeniería en Robótica	Ingeniería y Tecnología	8
TRABAJO SOCIAL	Trabajo Social	Ciencias Sociales	8
VETERINARIA	Medicina Veterinaria	Ciencias de la Salud	10
VIDEOJUEGOS	Ingeniería en Videojuegos	Ingeniería y Tecnología	8

Nueva carrera

Código:

Nombre:

Facultad:

Total ciclos:

Nuevo Editar Selección Eliminar Selección Guardar

Nota. Captura del Aplicativo

Figura 64 Vista del sistema para el rol Visualizador

Sistema de Aranceles Universitarios

Aranceles Sesión 44:49

Prueba4 Visualizador

1 - Configuración base

- Carreras
- Inflación**
- Tasa de Retención y Graduación

2 - Proyección académica

- Proyección de Estudiantes
- Demanda e Ingresos

3 - Costos y recursos

- Sueldos Carrera
- Recursos y Depreciación
- Mantenimiento e Inversión
- Capital de Trabajo
- Costos y Gastos

4 - Financiamiento y análisis

- Amortización
- Análisis Financiero

5 - Resultados

Servidor: Prueba4 | Rol: Visualizador

Módulo Inflación ?

Modificar inflación Importar inflación Gráfico inflación

Nuevo registro de inflación

Año: Inflación (%):

Fuente: Tipo:

Estimación: Estimación:

NUEVO

Ejemplo: 5.70

Año	Inflación (%)	Fuente	Tipo
2011	5.41	BCE	Dato historico
2012	4.16	BCE	Dato historico
2013	2.70	BCE	Dato historico
2014	3.67	BCE	Dato historico
2015	3.38	BCE	Dato historico
2016	1.12	BCE	Dato historico
2017	-0.20	BCE	Dato historico
2018	0.27	BCE	Dato historico
2019	-0.07	BCE	Dato historico
2020	-0.93	BCE	Dato historico
2021	1.94	BCE	Dato historico
2022	3.74	BCE	Dato historico
2023	1.35	BCE	Dato historico
2024	0.53	BCE	Dato historico
2025	1.91	BCE	Dato historico
2026	1.55	Proyeccion promedio suave	Estimacion
2027	1.33	Proyeccion promedio suave	Estimacion
2028	1.19	Proyeccion promedio suave	Estimacion
2029	1.11	Proyeccion promedio suave	Estimacion
2030	1.07	Proyeccion promedio suave	Estimacion
2031	1.04	Proyeccion promedio suave	Estimacion

Nota. Captura del Aplicativo

Figura 65 Control de acceso por permisos de módulo

Sistema de Aranceles Universitarios

Aranceles Sesión 44:43

Prueba Usuario Analista

1 - Configuración base

- Carreras**
- Inflación
- Tasa de Retención y Graduación

2 - Proyección académica

- Proyección de Estudiantes
- Demanda e Ingresos

3 - Costos y recursos

- Sueldos Carrera
- Recursos y Depreciación
- Mantenimiento e Inversión
- Capital de Trabajo
- Costos y Gastos

4 - Financiamiento y análisis

- Amortización
- Análisis Financiero

5 - Resultados

Servidor: Prueba4 Usuario | Rol: Analista

Gestión de Carreras ? ? Guía completa: de la carrera al reporte

Carreras registradas REFRESCAR

Código	Nombre	Facultad	Ciclos
ADM-EMPRESAS-PRUEBAS	ADMINISTRACION EMPRESAS PRUEBAS	Ciencias Administrativas	8
ARQUITECTURA	Arquitectura	Ingeniería y Tecnología	10
BIO-SISTEMAS	Ingeniería en Sistemas Biomédicos	Ingeniería y Tecnología	8
CONT-AUD	Contabilidad y Auditoría	Ciencias Administrativas	8
DERECHO	Derecho	Ciencias Jurídicas	8
DISEÑO-GRAFICO	Diseño Gráfico	Arte y Diseño	8
EDUC-BASICA	Educación Básica	Ciencias de la Educación	8
EDUC-INICIAL	Educación Inicial	Ciencias de la Educación	8
ENFERMERIA	Enfermería	Ciencias de la Salud	8
ING-CIVIL	Ingeniería Civil	Ingeniería y Tecnología	10
ING-INDUSTRIAL	Ingeniería Industrial	Ingeniería y Tecnología	10
ING-SOFTWARE	Ingeniería en Software	Ingeniería y Tecnología	8
MEDICINA	Medicina	Ciencias de la Salud	12
ODONTOLOGIA	Odontología	Ciencias de la Salud	10
PSICO-CLINICA	Psicología Clínica	Ciencias de la Salud	8
ROBOTICA	Ingeniería en Robótica	Ingeniería y Tecnología	8
TRABAJO-SOCIAL	Trabajo Social	Ciencias Sociales	8
VETERINARIA	Medicina Veterinaria	Ciencias de la Salud	10
VIDEOJUEGOS	Ingeniería en Videojuegos	Ingeniería y Tecnología	8

Nueva carrera

Código:

Nombre:

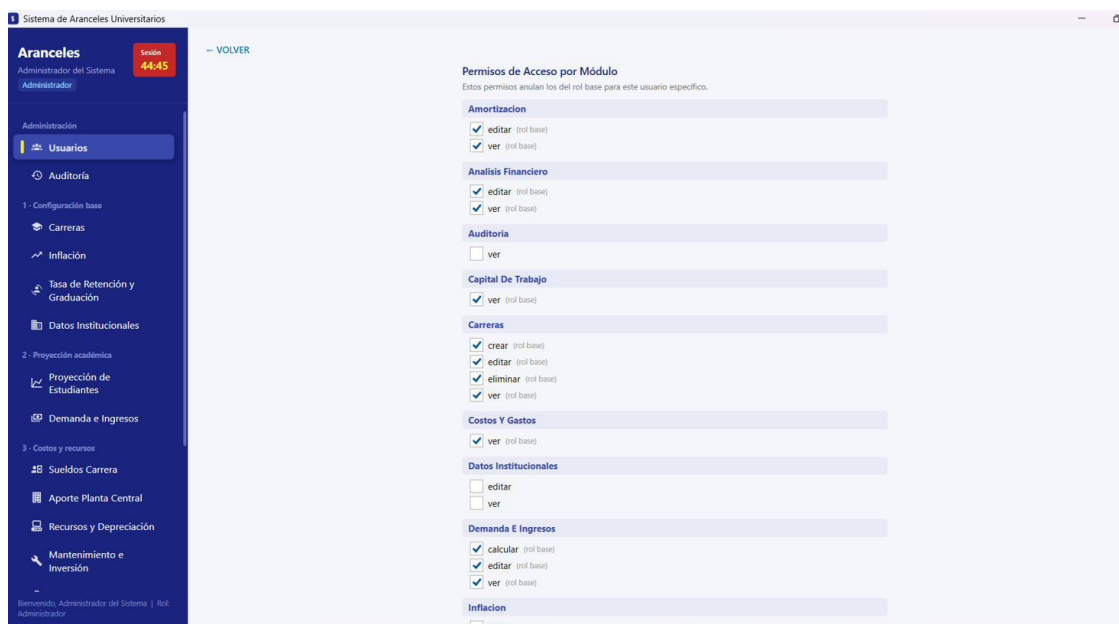
Facultad:

Total ciclos:

9

NUEVO **EDITAR SELECCIÓN** **ELIMINAR SELECCIÓN** **GUARDAR**

Nota. Captura del Aplicativo

Figura 66 Configuración de permisos por usuario y módulo

Nota. Captura del Aplicativo

Rendimiento (RNF-02, eficiencia de desempeño). El requerimiento RNF-02 establece que ninguna operación de cálculo del sistema debe superar los 2.000 ms. Su cumplimiento se verificó mediante la suite de pruebas unitarias automatizadas del proyecto, ejecutada sobre el proyecto SistemaAranceles.Application.Tests con el comando dotnet test. Las pruebas automatizadas constituyen un mecanismo objetivo de control de calidad que descarta inconsistencias y errores humanos con mayor rapidez y fiabilidad que la verificación manual [30]. La Tabla 42 presenta los resultados de la ejecución.

Tabla 42 Resultados de la suite de pruebas automatizadas (verificación del RNF-02)

Métrica	Resultado
Pruebas totales ejecutadas	152
Pruebas correctas	152
Pruebas con error	0
Pruebas omitidas	0
Tasa de éxito	100 %
Tiempo total de ejecución	0,6244 s (624 ms)
Prueba más costosa (ConsolidadorDashboardFinancieroTests)	21 ms

Prueba de bisección (EncuentraArancelCuandoElVanCambiaDeSigno)	7 ms
Prueba de TIR (CalcularCercanaA_UnaRaiz_CoincideConCalcular)	8 ms
Umbral máximo definido en el RNF-02	2.000 ms
Resultado	APROBADO — ninguna prueba supera el umbral

Nota. Elaboración propia a partir de la ejecución de dotnet test sobre SistemaAranceles.Application.Tests.

El resultado evidencia que el cálculo crítico del sistema, la convergencia por bisección al arancel que anula el VAN, se resuelve en 7 ms, unas doscientas ochenta veces por debajo del umbral fijado. La prueba más costosa de toda la suite, la consolidación del dashboard financiero, alcanza 21 ms, de modo que ninguna operación se aproxima al límite de 2.000 ms. La verificación abarca además los cinco módulos financieros núcleo del sistema, como detalla la Tabla 43.

Tabla 43 Cobertura de pruebas de los módulos financieros núcleo

Clase de prueba	N.º	Comportamiento verificado
CalculadoraVANTests	5	Cálculo del VAN a partir del flujo de fondos descontado.
CalculadoraTIRTests	6	Cálculo de la TIR como raíz del VAN y casos límite.
CalculadoraTMRTests	3	Tasa mínima de rendimiento empleada como tasa de descuento.
CalculadoraArancelOptimoBiseccionTests	6	Bisección: arancel que anula el VAN; convergencia y cambio de signo.
CalculadoraPuntoEquilibrioTests	5	Punto de equilibrio: igualdad entre ingresos y costos.
CalculadoraPeriodoRecuperacionTests	4	Período de recuperación con interpolación del cruce por cero.
DerivacionMetaTasaTests	3	Derivación de la tasa por ciclo que reproduce el Excel de referencia.
Total del núcleo financiero	32	Cinco módulos: VAN, TIR, TMR, bisección y punto de equilibrio.

Nota. Elaboración propia a partir de la ejecución de dotnet test sobre SistemaAranceles.Application.Tests.

Figura 67 Salida de la suite de pruebas automatizadas

```

PROBLEMS  OUTPUT  DEBUG CONSOLE  TERMINAL  PORTS  GITLENS  POSTMAN CONSOLE  SONARQUBE
+ ~ 1: powershell

PS D:\Tesis\SistemaAranceles> dotnet test tests\Application.Tests\SistemaAranceles.Application.Tests.csproj --verbosity normal
Serie de pruebas para D:\Tesis\SistemaAranceles\tests\Application.Tests\bin\Debug\net8.0\SistemaAranceles.Application.Tests.dll (.NETCoreApp,Version=v8.0)
Herramienta de línea de comandos de ejecución de pruebas de Microsoft(R), versión 17.10.0 (x64)
Copyright (c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

Iniciando la ejecución de pruebas, espere...
1 archivos de prueba en total coincidieron con el patrón especificado.
[xUnit.net 00:00:00.00] xUnit.net VSTest Adapter v2.8.2+699d445a1a (64-bit .NET 8.0.22)
[xUnit.net 00:00:00.06] Discovering: SistemaAranceles.Application.Tests
[xUnit.net 00:00:00.12] Discovered: SistemaAranceles.Application.Tests
[xUnit.net 00:00:00.12] Starting: SistemaAranceles.Application.Tests
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.SueldosPlantaCentral.Kan2DatosInstitucionalesTests.Constructor_LanzaSiDocentesUniversidadCero [5 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.TasaRetencion.ObtenerRetencionSimulacionReporteQueryTests.SinConfiguracion_DevelvesinDatos [6 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.Comun.CategoriaMaterialDisplayTests.Formatear_develve_nombre_legible(categoria: null, esperado: "") [5 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.AnalisisFinanciero.CalculadoraWMTTests.FactorDescuento_EnPeriodo_Estimo [7 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.CargosFacultad.Kan2PesoInflacionTests.CalcularFactorInflacionEncadenado_EncadenaAniosPreviosActual [7 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.DemandaIngresos.MaterialesVarancelTests.RatioMaterial_UnidadesExistentes_MantieneFormula(unidad: PorEstudianteMes, estudiantes: 30, consumo: 2, meses: 6, esp
erado: 60) [7 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.Estudiantes.CalculoDocentesTests.Desglose_RedondeaHorasAntesDeAsignarDocentes(horas: 31,2, horasRedondeadasEsperadas: 31, phdEsperado: 0, mgsEsperado: 1, m
tEsperado: 1, tpeEsperado: 1, htpEsperado: 12, htpEsperado: 1) [7 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.TasaRetencion.DerivacionMetaTasaTests.TasaPorCicloDesdeMeta_ReproduceExcel [7 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.TasaRetencion.ObtenerRetencionSimulacionReporteQueryTests.CalcularRecuperacionInterpoladaCuandoElFlujoAcumuladoCruzaCero [7 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.AnalisisFinanciero.CalculadoraArancelOptimoBiseccionTests.EncuentraArancelCuandoElVanCambiaDesigno [7 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.Comun.CategoriaMaterialDisplayTests.Formatear_develve_nombre_legible(categoria: "", esperado: "") [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.DemandaIngresos.MaterialesVarancelTests.RatioMaterial_UnidadesExistentes_MantieneFormula(unidad: PorEstudianteMes, estudiantes: 30, consumo: 0,13, meses:
6, esperado: 22,4) [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.CargosFacultad.Kan2PesoInflacionTests.CalcularFactorInflacionEncadenado_NoAplicaInflacionActualEnP1 [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.Comun.CategoriaMaterialDisplayTests.Formatear_develve_nombre_legible(categoria: "otro", esperado: "otros") [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.BalanceProyectadoOttoTests.Cuadra_CuandoActivoIgualaPasivoMasPatrimonio [8 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.Estudiantes.CalculoDocentesTests.Desglose_RedondeaHorasAntesDeAsignarDocentes(horas: 28,5, horasRedondeadasEsperadas: 29, phdEsperado: 0, mgsEsperado: 1, m
tEsperado: 0, tpeEsperado: 1, htpEsperado: 0, htpEsperado: 11) [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.Comun.CategoriaMaterialDisplayTests.Formatear_develve_nombre_legible(categoria: "MATERIALES SUMINISTROS", esperado: "Materiales y Suministros") [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.Comun.CategoriaMaterialDisplayTests.Formatear_develve_nombre_legible(categoria: "ASEO LIMPIEZA", esperado: "Suministros de Aseo y Limpieza") [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.DemandaIngresos.MaterialesVarancelTests.ArancelEfectivo_UsaConfiguracionGlobal_CuandoNoExisteEspecific [1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.Estudiantes.CalculoDocentesTests.Desglose_RedondeaHorasAntesDeAsignarDocentes(horas: 21,38, horasRedondeadasEsperadas: 21, phdEsperado: 0, mgsEsperado: 1,
mtEsperado: 0, tpeEsperado: 1, htpEsperado: 0, htpEsperado: 3) [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.Comun.CategoriaMaterialDisplayTests.Formatear_develve_nombre_legible(categoria: "OTRO", esperado: "otros") [< 1 ms]

```

Nota. Captura de terminal en el repositorio del aplicativo

Figura 68 Resumen de la suite: 152 pruebas ejecutadas sin errores

```

PS D:\Tesis\SistemaAranceles> dotnet test tests\Application.Tests\SistemaAranceles.Application.Tests.csproj --verbosity normal
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.RecursosFisicosDepreciacion.Kan24TipoCalculoCantidadTests.PorHito_UsaCantidadAlmacenada [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.Reportes.SeccionesReporteTests.Financiera_ContieneInversionCapitalFinanciamientoIndicadoresCostosFlujoVBalance [9 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.SueldosPlantaCentral.Kan22AportePlantaCentralTests.Calcular_AcumuladoYPromedioAnualCorrectos [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.SueldosPlantaCentral.Kan22AportePlantaCentralTests.Calcular_PorcentajeSobreTotalAnualEsAporteSobreTotalAnual [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.RecursosFisicosDepreciacion.SembrarActivosFijosDesdeCatalogoCommandTests.EjecutarAsync_CompletaSoloLosActivosFaltantes_DeUna
CarreraExistente [13 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.AnalisisFinanciero.CalculadoraTIRTests.CalcularCercanaA_MultiplesRaices_DevelveLaCercanaAlObjetivo [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.AnalisisFinanciero.CalculadoraTIRTests.Calcular_MultiplesCambiosDeSigno_AdvierteTirNoUnica [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.DemandaIngresos.MaterialesVarancelTests.ArancelEfectivo_UsaConfiguracionGlobal_CuandoNoExisteEspecific [1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.SueldosPlantaCentral.Kan22AportePlantaCentralTests.Calcular_AporteSemestralCoincideConFormula [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.AnalisisFinanciero.CalculadoraTIRTests.ContarCambiosSigno_IgnoaCeros [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.AnalisisFinanciero.CalculadoraTIRTests.Calcular_ConCambioDeSigno_EsCalculable [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.TasaRetencion.ObtenerRetencionSimulacionReporteQueryTests.ConConfiguracion_ReplicaElDecaimientoDeLaPantalla [13 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.SueldosPlantaCentral.Kan22DatosInstitucionalesTests.RegistrarActualizacion_TocaFechaUsuario [17 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.RecursosFisicosDepreciacion.SembrarActivosFijosDesdeCatalogoCommandTests.EjecutarAsync_NoReinserta_DescripcionesQueYaExistie
ronEnLaCarrera [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.SueldosPlantaCentral.Kan22DatosInstitucionalesTests.Constructor_LanzaSiRubroNegativo [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.SueldosPlantaCentral.Kan22DatosInstitucionalesTests.Constructor_LanzaSiEstudiantesUniversidadCero [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.SueldosPlantaCentral.Kan22DatosInstitucionalesTests.CostoPlantaCentralPorEstudianteAnual_EstTotalAnualSobreEstudiantes [< 1 m
s]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.SueldosPlantaCentral.Kan22DatosInstitucionalesTests.RatioAdminPorDocente_EsPlantaSobreDocentes [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.SueldosPlantaCentral.Kan22DatosInstitucionalesTests.TotalAnualPlantaCentral_EsMasaMensualPorDoce [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.SueldosPlantaCentral.Kan22DatosInstitucionalesTests.MasaSalarialMensual_EsSumaDeRubros [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.SueldosPlantaCentral.Kan22DatosInstitucionalesTests.Constructor_LanzaSiUsuarioActualizaInvalido [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.AnalisisFinanciero.ConsolidadorDashboardFinancieroTests.ConstruyeDashboardViableCuandoTodosLosIndicadoresSonFavorables [7 ms]
]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.AnalisisFinanciero.ConsolidadorDashboardFinancieroTests.MarcaDashboardEnAtencionCuandoVanYtirNoSonViables [< 1 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.CargosFacultad.GenerarResumenSueldosPlantaCentralIntegrationTests.Ejecutar_IncluyeAportePlantaCentralYTotaCombinado [21 ms]
[xUnit.net 00:00:00.20] Finished: SistemaAranceles.Application.Tests
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.CargosFacultad.GenerarResumenSueldosPlantaCentralIntegrationTests.Ejecutar_UsaElMismoTotalPeriodoQueTablaNormalParaOcasional
Tipo2 [3 ms]
Correctas SistemaAranceles.Application.Tests.CargosFacultad.GenerarResumenSueldosPlantaCentralIntegrationTests.PrepararContexto_SinCargosPropios_UsaPlantillaCompartidaAu
nqueLaCarreraDuenEsteInactiva [< 1 ms]

La serie de pruebas se ejecutó correctamente.
Pruebas totales: 152
Correcto: 152
Tiempo total: 0,6244 Segundos
1>Compilación del proyecto terminada "D:\Tesis\SistemaAranceles\tests\Application.Tests\SistemaAranceles.Application.Tests.csproj" (VSTest destinos).

Compilación correcta.
0 Advertencia(s)
0 Errores

Tiempo transcurrido 00:00:02.62
PS D:\Tesis\SistemaAranceles>

```

Confiabilidad (RNF-12). La confiabilidad del sistema se verificó formalmente mediante el Plan de Validación, ejecutado por una operadora externa al desarrollo, la Srta. Eva Fernanda Samaniego Choco, sobre la carrera de Administración de Empresas de ocho ciclos y en tres escenarios: base, optimista y crítico. El criterio de aceptación establece que el error relativo del aplicativo frente a la matriz Excel institucional no supere el diez por ciento. Los resultados

consolidados, que se presentan en la Tabla 51 del Capítulo 4, confirman su cumplimiento: el error relativo promedio se situó entre el 4,86 % y el 5,20 % según el escenario, con un promedio global del 5,04 %, la mitad del umbral aceptado. El aplicativo registró cero inconsistencias propias en los tres escenarios, frente a los dos incidentes de origen humano ocurridos en la matriz, y la reproducibilidad se verificó en las nueve ejecuciones realizadas. El detalle metodológico y el análisis por métrica se desarrollan en las secciones 4.2 y 4.7.

Figura 69 Captura del Plan de Validación

The screenshot shows a Microsoft Word document titled "Plan de Validación" with a blue header bar. The document is in Spanish and contains several tables and sections. The main content area is divided into three columns. The left column contains text and a table for "9.1 Planilla del Caso Base (Histórico)". The middle column contains a table for "C. Tiempos de cálculo (3 ejecuciones)". The right column contains a table for "D. Valores comparados" and a table for "E. Valores comparados".

9. Planillas de registro por caso

A continuación se presentan los tres prototipos, uno por caso. Cada planilla es autónoma: incluye los datos de entrada que deben cargarse antes de ejecutar, las salidas a compararse, las inconsistencias, la alerta y su estado de forma. Las tres siguen el mismo formato para permitir la comparación posterior.

9.1 Planilla del Caso Base (Histórico)

A. Identificación del caso

Campo	Dato
Categoría	Administración de Empresas
Case	Base (prevista)
Modelo de referencia	Modelo Base
Número de casos de la carrera	8 (2004)
Período de ejecución	3 períodos (2003-2004 y 2005-2006)
Operador de entrada (operador designado)	Eric Samaniego
Operador de salida (operador designado)	Dora Samaniego
Fecha de ejecución	30/06/2008

B. Datos de entrada a cargar antes de ejecutar

Antes de ejecutar este caso, el operador debe cargar cada una de las tres columnas de la tabla siguiente, tal cual aparecen (incluido la media de selección y la media de graduación). El resto de parámetros no se tocan, queda como está en la tabla 2. La columna "Cargado" sirve para marcar con un visto que se ha cargado cada valor:

Adicionalmente antes de cargar se debe: En los datos, el operador puede directamente la media de selección y la media de graduación, y también cargar el resto. En la matriz base se arroja un campo para la media, al operador debe y produce valores al tomar (sabiendo o sabiendo al porcentaje) hasta que el porcentaje acumulado de selección y la graduación que muestra la hoja coincide con la media indicada en la tabla anterior. Cargado antes el mismo también se queda el tanto en el caso, sabiendo a la graduación hasta que el caso queda completamente en cero y la 100 entonces el valor mínimo acumulado, en el aplicativo debe quedar el valor de la columna de selección de operador no hace cálculo a mano; solo observa cómo cambian los valores en pantalla. El tiempo que se arroja en la matriz. Cabe en la tabla primera, cuando se arroja el resultado de la tabla media se arroja el valor de la columna de selección de operador, cuando se arroja también lo que la persona tenía en la matriz de datos.

C. Tiempos de cálculo (3 ejecuciones)

Ejecución	Tiempo Base (s)	Tiempo Aplicativo (s)	Observación
1	18 min con 41 seg	7 min con 42 seg	
2	8 min con 37 seg	8 min con 32 seg	

D. Valores comparados

Valores de referencia: ejecución programada desde el Excel. El operador completa la columna del aplicativo y obtiene el error.

Variable	valor base	valor aplicativo	Error (%)
Tiempo de ejecución acumulado	1.084	1.083	0,31 %
Costo por estudiante	\$ 2.030,85	\$ 2.044,19	0,67 %
Costo de la carrera	\$ 14.311,12	\$ 15.000,27	4,81 %
Análisis por semestre	\$ 1.799,59	\$ 1.934,01	6,96 %
Matrícula	\$ 1.179,14	\$ 1.015,00	6,36 %
Total por semestre	\$ 1.370,53	\$ 1.307,60	4,56 %
Tm	9,46%	9,46%	0,00 %

3.13 Análisis de riesgos del aplicativo

Como parte del cierre metodológico, se identificaron los principales riesgos asociados a la operación y evolución del aplicativo. Cada riesgo se valoró cualitativamente por su probabilidad de ocurrencia y su impacto potencial, y se asoció a la estrategia de mitigación adoptada o recomendada, siguiendo el enfoque de valoración cualitativa de la norma ISO 31000 como referencia conceptual. La Tabla 44 sintetiza este análisis.

Tabla 44 Matriz de riesgos del aplicativo

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Mitigación
Errores en la parametrización inicial (inflación, TMR, sueldos, capacidad de paralelos)	Media	Alto	Validación de entradas en todos los módulos, checklist de verificación previa (sección 4.2) y registro de auditoría que reconstruye qué parámetro se modificó, cuándo y por quién.
Cambios regulatorios del CES o de la LOES que alteren la estructura del cálculo o del informe	Media	Alto	Separación de las reglas de negocio en la capa de Dominio (Clean Architecture), que permite modificar la lógica sin afectar interfaz ni

			persistencia; revisión periódica de parámetros normativos (Recomendación 3).
Crecimiento del número de carreras y usuarios concurrentes	Media	Medio	Persistencia centralizada en PostgreSQL/Supabase con garantías de integridad y concurrencia; diseño modular que admite nuevos módulos implementando las interfaces existentes (RNF-09).
Pérdida de conocimiento institucional para el mantenimiento futuro del sistema	Media	Alto	Suite de 152 pruebas automatizadas que documenta el comportamiento esperado de la lógica de negocio; documentación de requerimientos, casos de uso y matriz de trazabilidad (sección 3.12); programa de capacitación recomendado (Recomendación 4).
Compromiso de la seguridad de la información (credenciales, datos financieros institucionales)	Baja	Alto	Contraseñas almacenadas exclusivamente como hash BCrypt, mensaje genérico ante credenciales inválidas, control de acceso por roles y registros de auditoría no editables ni eliminables (RNF-01, RNF-05, RNF-07, RNF-08).
Desactualización de parámetros macroeconómicos (inflación, tasas del BCE)	Alta	Medio	Módulo de Inflación con serie editable y marcado de valores proyectados; revisión periódica institucional (Recomendación 3).

Nota. Elaboración propia. La valoración es cualitativa y corresponde al contexto institucional descrito en el Capítulo 1; se apoya en el enfoque de la norma ISO 31000 para la identificación y priorización de riesgos.

Capítulo 4

Análisis de Resultados

4.1 Introducción

Este capítulo presenta los resultados de la fase de validación del aplicativo, con la cual se responde al sexto objetivo específico: validar los resultados del aplicativo mediante comparación con la matriz Excel de referencia, utilizando como métricas el error relativo, el tiempo de cálculo, el número de inconsistencias, la trazabilidad de cambios y la reproducibilidad. La validación se ejecutó conforme al diseño metodológico descrito en la sección 3.11 y al plan de validación aprobado por el tutor académico, que delimitó los datos de entrada de cada caso, los valores de referencia, las métricas con sus fórmulas y las planillas de captura completadas durante la sesión.

La lógica de la validación consistió en tomar la matriz Excel institucional como referencia de oro y ejecutar sobre ella y sobre el aplicativo el mismo conjunto de datos de entrada, en tres casos de prueba: base, optimista y crítico. En la matriz Excel, el arancel se ajusta por prueba y error manual hasta aproximar el Valor Actual Neto a cero; en el aplicativo, el ajuste lo realiza el algoritmo de bisección del módulo de Análisis Financiero, que busca el arancel que aproxima el VAN a cero de modo que la Tasa Interna de Retorno se iguale a la Tasa Mínima de Rendimiento. El comportamiento esperado del aplicativo corresponde, por tanto, al estado ajustado de la matriz.

La diferencia entre ambos estados de la matriz quedó documentada durante el proyecto: en la versión original sin ajustar, la hoja TIR presentaba el error #NUM! y el VAN registraba un valor de -12.182,99 dólares, mientras que en el estado ajustado el VAN se aproxima a cero y la TIR se iguala a la TMR. Esta diferencia no constituye un error del modelo: refleja el estado del cálculo antes y después del ajuste del arancel, y es precisamente el ajuste que el aplicativo automatiza.

4.2 Preparación y protocolo de ejecución de la validación

La carrera objeto de la prueba fue Administración de Empresas, configurada con ocho ciclos y ocho períodos académicos proyectados entre 2023-ABR y 2026-SEP. La ejecución de las pruebas en ambos entornos estuvo a cargo de una operadora externa, la Srta. Eva Fernanda Samaniego, con el fin de minimizar sesgos en la comparación entre la matriz y el aplicativo. Los tres casos se ejecutaron en la misma sesión, en el orden base, optimista y crítico, comenzando por el caso base por ser la condición conocida, lo que permitió verificar que ambos entornos estaban correctamente configurados antes de introducir variaciones.

Antes de iniciar la sesión se completó un checklist de verificación previa que comprobó, entre otros puntos, que los parámetros constantes del aplicativo coincidían con los del plan; que la serie

de inflación era idéntica en ambos entornos, con los años 2023, 2024 y 2025 en valores oficiales y el 2026 identificado como proyección autorizada; que el aplicativo tenía cargados los 14.169 estudiantes y 891 docentes de la universidad; que el rango de búsqueda del algoritmo de bisección cubría de 500 a 5.000 dólares; que los descuentos por ciclo estaban configurados en cero por ciento; que el Permiso Municipal y de Bomberos estaba cargado con un valor total conjunto de 600,00 dólares, con 300,00 dólares de activos diferidos amortizados al 20 % anual y sin duplicación del monto; que el plan de cargos de facultad coincidía con la hoja de Sueldos del Excel; y que el módulo de Usuarios registraba la auditoría completa de operaciones.

Para cada caso se siguió la misma secuencia: verificación del checklist de preparación; ejecución del cálculo en Excel con registro de las salidas críticas y del tiempo total; ejecución del cálculo en el aplicativo con registro de las mismas salidas y del tiempo; repetición del ciclo tres veces para promediar el tiempo; cálculo del error relativo de cada celda y documentación de inconsistencias; y firma del acta del caso al pie de su planilla. El cronómetro inició al comenzar el ingreso de los datos del caso y se detuvo cuando el resultado final estuvo disponible, es decir, el arancel con VAN aproximado a cero.

4.3 Configuración común y variables de entrada por caso

Los parámetros de entrada se mantuvieron idénticos en los tres casos, con excepción de las tres variables académicas que definen cada escenario. La Tasa Mínima de Rendimiento se compuso de la tasa de interés bancaria del segmento educativo del 9,50 %, la inflación anual del modelo del 1,35 % y el premio al riesgo del 9,33 %, resultando una TMR del 9,46 %, valor que el sistema toma como requisito para el ajuste del arancel. El umbral de aceptación del error relativo se fijó en el diez por ciento por celda comparada, tomando como referencia la tolerancia que el Ing. Blazco declaró como aceptable durante su entrevista; para el Valor Actual Neto, cuyo valor de referencia es próximo a cero y hace que el error relativo no sea interpretable, se aplicó adicionalmente un criterio de error absoluto de máximo cinco dólares.

Tabla 45 *Parámetros constantes de la validación*

Parámetro	Valor	Módulo del aplicativo
Tasa de interés bancaria (segmento educativo)	9,50 %	Análisis Financiero
Inflación anual del modelo	1,35 %	Análisis Financiero
Premio al riesgo	9,33 %	Análisis Financiero

Tasa Mínima de Rendimiento	9,46 %	Análisis Financiero
Factor de imprevistos	1,05	Costos y Gastos
Estudiantes de la unidad académica	285	Sueldos y Planta Central
Estudiantes de la universidad	14.169	Sueldos y Planta Central
Docentes de la universidad	891	Sueldos y Planta Central
Presupuesto institucional base	870.000	Demanda e Ingresos
Tasa de interés del préstamo / plazo	15 % / 2 años	Financiamiento
Permiso Municipal y Bomberos (valor total conjunto)	\$600,00	Mantenimiento, Capital e Inversión Inicial
Activos diferidos / amortización anual	\$300,00 / 20 %	Mantenimiento, Capital e Inversión Inicial
Paralelos por período (Abril / Septiembre)	1 / 2	Tasa de Retención y Graduación
Semanas por semestre	16	Estudiantes
Descuentos por ciclo (ciclos 1 al 8)	0 %	Demanda e Ingresos

Nota. Elaboración propia.

Los tres casos se diferenciaron únicamente por el número de estudiantes que ingresan a la primera cohorte y por las metas acumuladas de retención y graduación, a partir de las cuales el sistema deriva automáticamente las tasas por ciclo, sin que la operadora deba escribirlas. El caso base corresponde al escenario histórico; el caso optimista representa el paralelo lleno a su capacidad declarada de 35 estudiantes con metas altas; y el caso crítico representa un ingreso reducido de 24 estudiantes con una meta de retención del 65 %, el umbral mínimo de acreditación.

Tabla 46 *Variables de entrada por caso*

Variable	Crítico	Base (Histórico)	Optimista
Estudiantes que ingresan al ciclo 1	24	30	35

Meta de retención (acumulada)	65 %	75 %	85 %
Meta de graduación (acumulada)	80 %	88 %	95 %
Tasa por ciclo derivada (retención / graduación)	86,62 % / 92,83 %	90,86 % / 95,83 %	94,73 % / 98,30 %

Nota. Elaboración propia.

4.3.1 Divergencia metodológica aceptada: distribución de tipos de docente

La matriz Excel y el aplicativo emplean modelos distintos para distribuir la carga horaria entre tipos de docente, divergencia conocida y aceptada de esta validación. La matriz Excel reparte el equivalente-docente en fracciones, por ejemplo 0,24 de Tiempo Completo PhD, 0,60 de Tiempo Completo Magíster y 0,16 de Tiempo Parcial, es decir, admite valores fraccionarios de profesor. El aplicativo, en cambio, aplica un modelo de contratación entera: calcula los docentes de tiempo completo como la parte entera de las horas asistidas divididas para las horas estándar por docente, y cubre las horas residuales con un docente de Medio Tiempo o de Tiempo Parcial.

Esta diferencia es metodológica y no un error de cálculo: el modelo del aplicativo es más realista, pues una institución no contrata fracciones de profesor. Su efecto es un costo docente algo mayor en el aplicativo, que se traslada al arancel con una diferencia aproximada de entre el cuatro y el siete por ciento respecto del Excel, dentro del umbral del diez por ciento. Por tanto, las diferencias observadas en el costo por estudiante, el costo de la carrera, el arancel por semestre, la matrícula y el total por semestre se clasifican como diferencias de categoría C, por implementación o modelo aceptado, y no invalidan el resultado.

4.4 Resultados del caso base (histórico)

El caso base se ejecutó con 30 estudiantes de ingreso, una meta de retención acumulada del 75 % y una meta de graduación acumulada del 88 %, de las cuales el sistema derivó tasas por ciclo del 90,86 % y 95,83 % respectivamente. La tabla siguiente presenta la comparación de las salidas críticas entre la matriz Excel, en su estado ajustado tras el proceso manual de prueba y error, y el aplicativo, tras la ejecución del ajuste automático por bisección.

Tabla 47 *Comparación de salidas críticas — caso base (histórico)*

Variable	Valor Excel	Valor Aplicativo	Error rel. (%)
Total estudiantes acumulado	1.284	1.288	0,31 %

Costo por estudiante	\$2.030,85	\$2.044,49	0,67 %
Costo de la carrera	\$14.331,12	\$15.020,27	4,81 %
Arancel por semestre	\$1.791,39	\$1.916,00	6,96 %
Matrícula	\$179,14	\$191,60	6,96 %
Total por semestre	\$1.970,53	\$2.107,60	6,96 %
Tasa Interna de Retorno	9,46 %	9,46 %	0,00 %
Valor Actual Neto	\$1,59	\$1,75	10,06 %
Punto de Equilibrio anual	\$482.939,19	\$532.167,36	10,19 %
Arancel ajustado por bisección	\$1.848,61	\$1.916,00	3,65 %

Nota. Elaboración propia.

Tabla 48 *Tiempos de cálculo — caso base (histórico)*

Ejecución	Tiempo Excel	Tiempo Aplicativo	Observación
1	19 min 41 s	7 min 43 s	N/A
2	6 min 07 s	6 min 32 s	N/A
3	6 min 43 s	5 min 15 s	Error de digitación en Excel: un espacio dentro del arancel (1848, 452) rompió las fórmulas
Promedio	10 min 50 s	6 min 30 s	N/A
Desviación estándar	7 min 36 s	1 min 14 s	N/A

Nota. Elaboración propia.

En el caso base, la matriz ajustó manualmente el arancel a 1.848,61 dólares y el aplicativo convergió por bisección a 1.916,00 dólares, con un error relativo del 3,65 %, holgadamente dentro del umbral del diez por ciento. La TIR coincidió en el 9,46 % en ambos entornos, igualada a la

TMR, y el VAN quedó en 1,59 dólares en Excel y 1,75 dólares en el aplicativo: aunque su error relativo aparenta un 10,06 %, la diferencia absoluta fue de apenas 0,16 dólares, muy por debajo del criterio de cinco dólares aplicable cuando el denominador tiende a cero. El error relativo promedio del caso fue del 5,06 %. En tiempos, el aplicativo promedió 6 minutos 30 segundos frente a 10 minutos 50 segundos del Excel, una reducción del 40,00 %. Durante la tercera ejecución en Excel se registró la única inconsistencia del caso, de categoría A: la operadora escribió por error un espacio dentro del valor del arancel (1848, 452), lo que rompió todas las fórmulas y resultados de la matriz y requirió asistencia para diagnosticar la causa, incidente imposible en el aplicativo, cuyas entradas numéricas están validadas.

4.5 Resultados del caso optimista

El caso optimista se configuró con 35 estudiantes de ingreso, correspondientes al paralelo lleno a su capacidad declarada, una meta de retención acumulada del 85 % y una meta de graduación acumulada del 95 %, de las cuales el sistema derivó tasas por ciclo del 94,73 % y 98,30 %. En la matriz Excel, la operadora escribió las tres variables y volvió a ajustar el arancel por prueba y error hasta aproximar el VAN a cero; en el aplicativo, el ajuste lo ejecutó el algoritmo de bisección.

Tabla 49 *Comparación de salidas críticas — caso optimista*

Variable	Valor Excel	Valor Aplicativo	Error rel. (%)
Total estudiantes acumulado	1.629	1.631	0,12 %
Costo por estudiante	\$1.853,46	\$1.867,47	0,76 %
Costo de la carrera	\$12.571,23	\$13.136,01	4,49 %
Arancel por semestre	\$1.571,40	\$1.659,65	5,62 %
Matrícula	\$157,14	\$165,96	5,61 %
Total por semestre	\$1.728,54	\$1.825,61	5,62 %
Tasa Interna de Retorno	9,46 %	9,46 %	0,00 %
Valor Actual Neto	\$3,08	\$3,58	16,23 %
Punto de Equilibrio anual	\$529.361,07	\$582.645,65	10,07 %

Arancel ajustado por bisección	\$1.603,03	\$1.659,65	3,53 %
--------------------------------	------------	------------	--------

Nota. Elaboración propia.

Tabla 50 *Tiempos de cálculo — caso optimista*

Ejecución	Tiempo Excel	Tiempo Aplicativo
1	9 min 27 s	5 min 50 s
2	8 min 26 s	4 min 59 s
3	4 min 29 s	4 min 23 s
Promedio	7 min 27 s	5 min 04 s
Desviación estándar	2 min 37 s	0 min 43 s

Nota. Elaboración propia.

En el caso optimista, el arancel ajustado en la matriz fue de 1.603,03 dólares y el aplicativo convergió a 1.659,65 dólares, con un error relativo del 3,53 %. Como era esperable, el arancel requerido resultó el menor de los tres casos: una cohorte mayor y una mayor permanencia estudiantil incrementan los ingresos proyectados y reducen el arancel necesario para que el VAN llegue a cero. La TIR volvió a coincidir exactamente en el 9,46 % en ambos entornos, y aunque el VAN registró el mayor error relativo de toda la validación, del 16,23 %, la diferencia absoluta fue de solo 0,50 dólares (3,08 frente a 3,58 dólares), dentro del criterio de cinco dólares. El error relativo promedio del caso fue del 5,20 %, no se registraron inconsistencias en ninguno de los dos entornos, y el aplicativo redujo el tiempo de cálculo en un 31,99 %, promediando 5 minutos 4 segundos frente a 7 minutos 27 segundos del Excel.

4.6 Resultados del caso crítico

El caso crítico se configuró con 24 estudiantes de ingreso, por debajo del llenado del paralelo de 35, una meta de retención acumulada del 65 %, exactamente el umbral mínimo de acreditación, y una meta de graduación acumulada del 80 %, de las cuales el sistema derivó tasas por ciclo del 86,62 % y 92,83 %. Este escenario evaluó si el aplicativo detecta condiciones de presión sobre la sostenibilidad del programa y si los indicadores financieros reflejan adecuadamente ese riesgo.

Tabla 51 *Comparación de salidas críticas — caso crítico*

Variable	Valor Excel	Valor Aplicative	Error rel. (%)
Total estudiantes acumulado	940	944	0,43 %
Costo por estudiante	\$2.338,70	\$2.352,30	0,58 %
Costo de la carrera	\$17.330,22	\$18.222,37	5,15 %
Arancel por semestre	\$2.166,28	\$2.349,02	8,44 %
Matrícula	\$216,63	\$234,90	8,43 %
Total por semestre	\$2.382,90	\$2.583,92	8,44 %
Tasa Interna de Retorno	9,46 %	9,46 %	0,00 %
Valor Actual Neto	\$2,55	\$2,62	2,75 %
Punto de Equilibrio anual	\$435.545,91	\$481.242,78	10,49 %
Arancel ajustado por bisección	\$2.261,01	\$2.349,02	3,89 %

Nota. Elaboración propia.

Tabla 52 *Tiempos de cálculo — caso crítico*

Ejecución	Tiempo Excel	Tiempo Aplicative	Observación
1	10 min 50 s	5 min 43 s	N/A
2	6 min 55 s	5 min 15 s	En Excel la TIR salió negativa durante el ajuste y la operadora se desorientó sobre ese resultado
3	11 min 37 s	5 min 59 s	N/A
Promedio	9 min 47 s	5 min 39 s	N/A
Desviación estándar	2 min 32 s	0 min 22 s	N/A

Nota. Elaboración propia.

En el caso crítico, el arancel ajustado en la matriz fue de 2.261,01 dólares y el aplicativo convergió a 2.349,02 dólares, con un error relativo del 3,89 %. El arancel requerido resultó el mayor de los tres casos, lo que confirma que ante menor ingreso y mayor deserción el modelo exige un arancel más alto para sostener la carrera, comportamiento coherente con la advertencia institucional de que una retención en el umbral mínimo de acreditación es donde la universidad pierde dinero. El error relativo promedio del caso fue del 4,86 %, el menor de los tres, con la TIR nuevamente coincidente en el 9,46 % y un VAN con diferencia absoluta de 0,07 dólares. Se registró una inconsistencia de categoría A en la matriz: durante la segunda ejecución la TIR resultó negativa en una fase intermedia del ajuste manual y la operadora se desorientó sobre cómo interpretar ese resultado, situación que el aplicativo evita al gestionar internamente los estados intermedios de la bisección. La reducción del tiempo de cálculo fue del 42,28 %, la mayor de la validación, con 5 minutos 39 segundos frente a 9 minutos 47 segundos.

4.7 Resultados por métrica de validación

La tabla siguiente consolida los resultados de los tres casos para su lectura conjunta. Sobre ella se analizan a continuación las cinco métricas comprometidas.

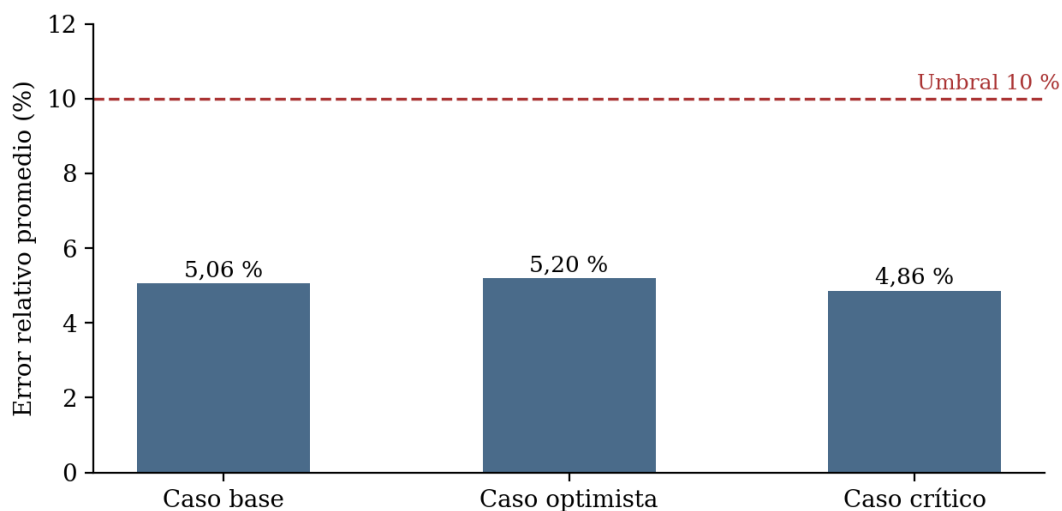
Tabla 53 *Consolidado de los tres casos*

Indicador	Base	Optimista	Crítico
Error relativo promedio (%)	5,06 %	5,20 %	4,86 %
Error relativo máximo (%)	10,19 %	16,23 %	10,49 %
Tiempo promedio Excel	10 min 50 s	7 min 27 s	9 min 47 s
Tiempo promedio aplicativo	6 min 30 s	5 min 04 s	5 min 39 s
Reducción de tiempo (%)	40,00 %	31,99 %	42,28 %
Inconsistencias de la matriz	1	0	1
Inconsistencias del aplicativo	0	0	0
Reproducibilidad verificada	Sí	Sí	Sí
Arancel ajustado por bisección	\$1.916,00	\$1.659,65	\$2.349,02

Nota. Elaboración propia.

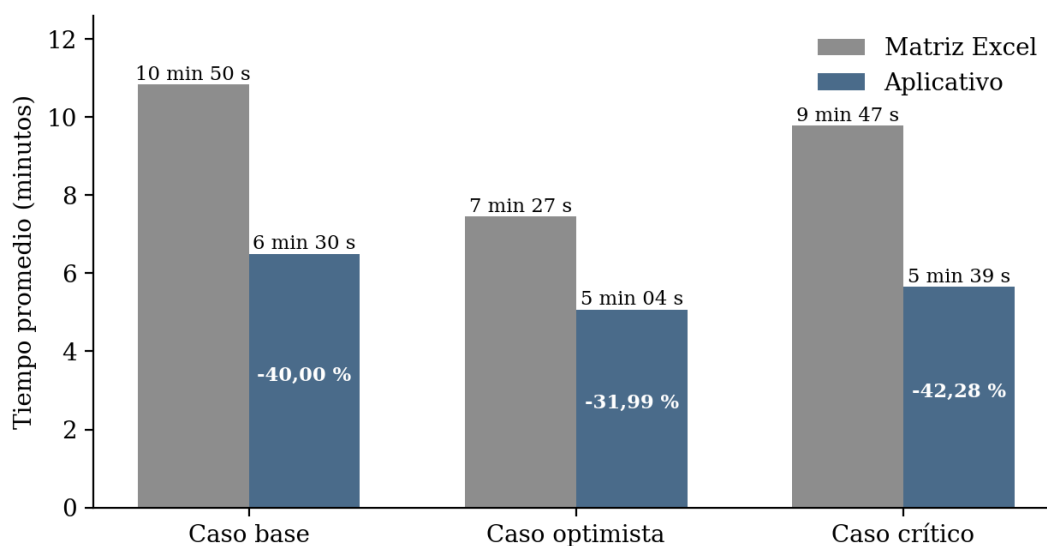
Las figuras siguientes representan gráficamente el consolidado del error relativo promedio y del tiempo de cálculo por caso para facilitar la lectura comparativa de ambos entornos.

Figura 70 Error relativo promedio por caso frente al umbral de aceptación



Nota. Elaboración propia.

Figura 71 Tiempo de cálculo promedio por caso: matriz Excel frente al aplicativo



Nota. Elaboración propia.

4.7.1 Error relativo

El error relativo cuantificó la diferencia porcentual entre el valor del aplicativo y el valor de la matriz Excel, tomado este como referencia, con un umbral de aceptación del diez por ciento por

celda comparada. El error relativo promedio se mantuvo estable y cercano al cinco por ciento en los tres casos: 5,06 % en el base, 5,20 % en el optimista y 4,86 % en el crítico, con un promedio global del 5,04 %, la mitad del umbral aceptado. El arancel ajustado por bisección, salida principal del sistema, registró errores de apenas 3,65 %, 3,53 % y 3,89 %, y la TIR coincidió exactamente en el 9,46 % en los tres casos y en ambos entornos, con error del 0,00 %.

Los errores relativos máximos del consolidado requieren una aclaración explícita para su correcta lectura. El valor del 16,23 % registrado en el escenario optimista, así como el 10,06 % del caso base, no corresponden a variables de costo o de arancel sino exclusivamente al Valor Actual Neto, cuyo valor esperado tras el ajuste es, por definición, cercano a cero. Cuando el denominador de la fórmula del error relativo tiende a cero, el porcentaje resultante se infla artificialmente y deja de ser representativo de la calidad del cálculo: una diferencia de apenas 0,50 dólares sobre una referencia de 3,08 dólares produce un 16,23 %, mientras que la misma diferencia sobre un arancel de 1.600 dólares produciría un 0,03 %. Por esta razón, el propio plan de validación establece para el VAN un criterio de error absoluto de hasta 5,00 dólares, aplicable precisamente en estas condiciones. Bajo ese criterio, las diferencias observadas fueron de 0,16 dólares en el caso base, 0,50 dólares en el optimista y 0,07 dólares en el crítico, todas holgadamente dentro de la tolerancia, por lo que el VAN cumple la validación en los tres escenarios y el 16,23 % no constituye un incumplimiento del umbral del diez por ciento.

En el punto de equilibrio anual, los errores del 10,19 %, 10,07 % y 10,49 % superan marginalmente el umbral como consecuencia directa del mayor costo fijo docente del modelo de contratación entera del aplicativo, descrito en la sección 4.3.1, por lo que se clasifican como diferencias de categoría C, justificadas metodológicamente. Las diferencias del 4,49 % al 8,44 % en el costo de la carrera, el arancel, la matrícula y el total por semestre responden a esa misma causa y permanecen dentro del umbral.

4.7.2 Tiempo de cálculo

El tiempo de cálculo midió la duración desde el ingreso de los datos hasta la obtención del arancel final con VAN aproximado a cero, incluyendo el ajuste del arancel: en Excel por prueba y error manual y en el aplicativo por bisección. El aplicativo redujo el tiempo de cálculo en un 40,00 % en el caso base, un 31,99 % en el optimista y un 42,28 % en el crítico, con una reducción promedio cercana al 38 %. Además de más rápido, el aplicativo fue notablemente más estable: sus desviaciones estándar oscilaron entre 22 segundos y 1 minuto 14 segundos, mientras que las del Excel llegaron a 7 minutos 36 segundos en el caso base, dispersión provocada por el incidente del espacio en el arancel y por la naturaleza del ajuste manual, cuya duración depende de la habilidad de la operadora en cada iteración de prueba y error.

4.7.3 Número de inconsistencias

Esta métrica contabilizó por caso las discrepancias que superaron el umbral, más las celdas del Excel con errores de referencia, división por cero o valor no disponible, clasificadas en tres categorías: A, inconsistencia de la matriz; B, inconsistencia del aplicativo; y C, diferencia por implementación o modelo aceptado. El aplicativo no presentó inconsistencias en ninguno de los tres escenarios: cero de categoría B en toda la validación. La matriz Excel registró dos inconsistencias de categoría A, ambas producto de la manipulación humana y no del modelo matemático: en el caso base, un espacio digitado por error dentro del valor del arancel (1848, 452) rompió todas las fórmulas y resultados de la matriz, y la operadora no supo identificar la causa hasta recibir asistencia; en el caso crítico, una TIR negativa en una fase intermedia del ajuste desorientó a la operadora sobre la interpretación del resultado. Las diferencias atribuidas a la distribución de docentes de medio tiempo corresponden a la decisión metodológica explicada en la sección 4.3.1 y se clasifican como categoría C, por lo que no se suman como inconsistencias materiales.

A estas inconsistencias de sesión se agregan las documentadas durante el proyecto sobre la matriz original: los errores #REF! en la hoja Balance por referencias rotas entre hojas, el error #NUM! en la hoja TIR antes del ajuste del arancel, y parámetros macroeconómicos que requerían actualización manual desde las publicaciones del Banco Central del Ecuador. En conjunto, la evidencia confirma que la fragilidad del proceso actual no reside en la lógica financiera del modelo, que es sólida, sino en su soporte: una hoja de cálculo con veinticinco hojas interdependientes expuesta a errores de digitación sin validación de entradas.

4.7.4 Trazabilidad de cambios

La trazabilidad evaluó si el sistema registra el usuario, la fecha y hora, el módulo, el valor anterior, el valor nuevo y la consultabilidad posterior de cada operación. La matriz Excel no cumple ninguno de estos criterios: no registra quién modificó qué valor ni cuándo, y su control de versiones depende de copias manuales del archivo, por lo que su trazabilidad es nula. El aplicativo, cuya auditoría completa fue verificada en la preparación de la sesión, registró las operaciones generadas durante la validación con el usuario, la fecha y hora, el módulo afectado y los valores anterior y nuevo, consultables posteriormente desde la propia interfaz, cumpliendo la totalidad de los criterios evaluados y superando el noventa por ciento esperado. El incidente del espacio en el arancel ilustra el valor práctico de esta métrica: en el Excel no quedó ningún registro de qué se modificó ni cuándo, y el diagnóstico dependió de la inspección manual; en el aplicativo, cualquier cambio equivalente habría quedado registrado con su autor y su valor.

4.7.5 Reproducibilidad

La reproducibilidad se evaluó únicamente sobre el aplicativo, ejecutando tres veces cada caso con los mismos datos de entrada y verificando que la diferencia entre salidas fuera cero hasta dos decimales. La reproducibilidad fue verificada en los tres casos: en las nueve ejecuciones realizadas, el aplicativo produjo los mismos valores de salida en cada repetición, lo que confirma que el cálculo no depende de acciones manuales no controladas ni de cambios ocultos en fórmulas, como puede ocurrir en hojas de cálculo cuyas celdas pueden ser alteradas sin registro, tal como quedó demostrado en el propio incidente del caso base.

4.7.6 Evidencia de los reportes generados por dirección

En cumplimiento del quinto objetivo específico, durante la sesión de validación se generaron y exportaron los reportes técnicos del sistema para cada dirección institucional, sobre el escenario optimista de la carrera Administración de Empresas. Cada reporte se exportó en formato PDF y, en el caso del reporte completo, también en XLSX. Las figuras siguientes muestran el módulo de reportes y una selección de los reportes emitidos.

Figura 72 Vista general del módulo de reportes

Reportes

Carrera: ADM-EMPRESAS-PRUEBAS - ADMINISTRACION EMPR Escenario: Optimista REFRESCAR

Dirección / Destinatario: Dirección Financiera EXPORTAR PDF POR DIRECCIÓN EXPORTAR XLSX

Reporte CES / INF CES Reporte Financiero Reporte de Demanda

Costo por estudiante (1ª cohorte) \$ 1.867,47 Costo de la carrera (por estudiante) \$ 13.136,01 Costo por Semestre \$ 1.642,00 Arancel por semestre (óptimo VAN=0) \$ 1.659,65 Matrícula \$ 165,96 Total por semestre \$ 1.825,61

INF CES — Presupuesto primera cohorte por función sustantiva

Concepto	Provisión	Fomento	Vinculación	Otros	Total	%
Gastos corrientes				\$ 0,00	\$ 0,00	
Gastos en personal administrativo	\$ 744.338,06				\$ 744.338,06	25,37%
Gastos en personal académico	\$ 1.288.710,76		\$ 6.494,73	\$ 11.642,45	\$ 1.306.847,94	44,55%
Bienes y servicios de consumo	\$ 270.230,88				\$ 270.230,88	9,21%
Becas y ayudas financieras	\$ 297.724,91				\$ 297.724,91	10,15%
Otros	\$ 54.585,24	\$ 216.662,82	\$ 43.332,56		\$ 314.580,62	10,72%
Subtotal corrientes					\$ 2.933.722,41	
Inversión					\$ 0,00	
Infraestructura	\$ 600,00				\$ 600,00	
Equipamiento	\$ 43.018,57				\$ 43.018,57	
Bibliotecas					\$ 0,00	
Subtotal inversión					\$ 43.618,57	
TOTAL	\$ 2.699.208,42	\$ 216.662,82	\$ 49.827,29	\$ 11.642,45	\$ 2.977.340,98	
% por función	90,66%	7,28%	1,67%	0,39%	100,00%	

Parámetros de justificación del arancel

Parámetro	Criterio	Valor
Pago al personal académico	Remuneración mensual promedio de profesores a tiempo completo (referencial)	\$ 1.604,20
Gasto académico / gasto total	Personal académico respecto del gasto total de la carrera	43,92%
Gasto académico / gasto total en personal	Personal académico respecto del gasto total en personal	63,39%
Profesores PhD y Mgs. / total	Relación de profesores con PhD y maestría	100,00%
Gasto investigación / gasto total	Investigación y desarrollo respecto del gasto total	7,38%
Gasto vinculación / gasto total	Vinculación respecto del gasto total	1,48%
Costo de servicio educativo	Comprendido dentro de la matrícula en función del arancel	100,00%
Infraestructura e inversión / gasto total	Gasto en infraestructura y otras inversiones académicas	1,49%
Arancel vigente (semestre)	Arancel cobrado en el último periodo (configurado)	\$ 1.659,65
Matrícula vigente (semestre)	10% del arancel vigente	\$ 165,96

Nota. Captura del Aplicativo

Figura 73 Selección de dirección y escenario en el módulo de reportes

Reportes

Carrera: ADM-EMPRESAS-PRUEBAS - ADMINISTRACION EMPR Escenario: Optimista REFRESCAR

Dirección / Destinatario: Dirección Financiera

Reporte CES / INF CES Reporte Financiero Reporte de Demanda

Costo por estudiante: \$1,867,47 Costo por Semestre: \$1,642,00 Arancel por semestre (óptimo VAN=0): \$1,659,65 Matrícula: \$165,96 Total por semestre: \$1,825,61

Concepto	Provisión	Fomento	Vinculación	Otros	Total	%
Gastos corrientes	\$ 744.338,06			\$ 0,00	\$ 744.338,06	25,37%
Gastos en personal administrativo	\$ 1.288.710,76		\$ 6.494,73	\$ 11.642,45	\$ 1.306.847,94	44,55%
Bienes y servicios de consumo	\$ 270.230,88				\$ 270.230,88	9,21%
Becas y ayudas financieras	\$ 297.724,91				\$ 297.724,91	10,15%
Otros	\$ 54.585,24	\$ 216.662,82	\$ 43.332,56		\$ 314.580,62	10,72%
Subtotal corrientes					\$ 2.933.722,41	
Inversión				\$ 0,00	\$ 0,00	
Infraestructura	\$ 600,00				\$ 600,00	
Equipamiento	\$ 43.018,57				\$ 43.018,57	
Bibliotecas					\$ 0,00	
Subtotal inversión					\$ 43.618,57	
TOTAL	\$ 2.699.208,42	\$ 216.662,82	\$ 49.827,29	\$ 11.642,45	\$ 2.977.340,98	
% por función	90,66%	7,28%	1,67%	0,39%	100,00%	

Parámetros de justificación del arancel

Parámetro	Criterio	Valor
Pago al personal académico	Remuneración mensual promedio de profesores a tiempo completo (referencial)	\$ 1.604,20
Gasto académico / gasto total	Personal académico respecto del gasto total de la carrera	43,92%
Gasto académico / gasto total en personal	Personal académico respecto del gasto total en personal	63,39%
Profesores PhD y Mgs. / total	Relación de profesores con PhD y maestría	100,00%
Gasto investigación / gasto total	Investigación y desarrollo respecto del gasto total	7,38%
Gasto vinculación / gasto total	Vinculación respecto del gasto total	1,48%
Costo de servicio educativo	Comprendido dentro de la matrícula en función del arancel	100,00%
Infraestructura e inversión / gasto total	Gasto en infraestructura y otras inversiones académicas	1,49%
Arancel vigente (semestre)	Arancel cobrado en el último periodo (configurado)	\$ 1.659,65
Matrícula vigente (semestre)	10% del arancel vigente	\$ 165,96

Nota. Captura del Aplicativo

Figura 74 Exportación de reportes en formato PDF y XLSX

Reportes

Carrera: ADM-EMPRESAS-PRUEBAS - ADMINISTRACION EMPR Escenario: Optimista REFRESCAR

Dirección / Destinatario: Dirección Administrativa

Reporte CES / INF CES Reporte Financiero Reporte de Demanda

Costo por estudiante (1ª cohorte): \$1,867,47 Costo de la carrera (por estudiante): \$13,136,01 Costo por Semestre: \$1,642,00 Arancel por semestre (óptimo VAN=0): \$1,659,65 Matrícula: \$165,96 Total por semestre: \$1,825,61

Concepto	Provisión	Fomento	Vinculación	Otros	Total	%
Gastos corrientes	\$ 744.338,06			\$ 0,00	\$ 744.338,06	25,37%
Gastos en personal administrativo	\$ 1.288.710,76		\$ 6.494,73	\$ 11.642,45	\$ 1.306.847,94	44,55%
Bienes y servicios de consumo	\$ 270.230,88				\$ 270.230,88	9,21%
Becas y ayudas financieras	\$ 297.724,91				\$ 297.724,91	10,15%
Otros	\$ 54.585,24	\$ 216.662,82	\$ 43.332,56		\$ 314.580,62	10,72%
Subtotal corrientes					\$ 2.933.722,41	
Inversión				\$ 0,00	\$ 0,00	
Infraestructura	\$ 600,00				\$ 600,00	
Equipamiento	\$ 43.018,57				\$ 43.018,57	
Bibliotecas					\$ 0,00	
Subtotal inversión					\$ 43.618,57	
TOTAL	\$ 2.699.208,42	\$ 216.662,82	\$ 49.827,29	\$ 11.642,45	\$ 2.977.340,98	
% por función	90,66%	7,28%	1,67%	0,39%	100,00%	

Parámetros de justificación del arancel

Parámetro	Criterio	Valor
Pago al personal académico	Remuneración mensual promedio de profesores a tiempo completo (referencial)	\$ 1.604,20
Gasto académico / gasto total	Personal académico respecto del gasto total de la carrera	43,92%
Gasto académico / gasto total en personal	Personal académico respecto del gasto total en personal	63,39%
Profesores PhD y Mgs. / total	Relación de profesores con PhD y maestría	100,00%
Gasto investigación / gasto total	Investigación y desarrollo respecto del gasto total	7,38%
Gasto vinculación / gasto total	Vinculación respecto del gasto total	1,48%
Costo de servicio educativo	Comprendido dentro de la matrícula en función del arancel	100,00%
Infraestructura e inversión / gasto total	Gasto en infraestructura y otras inversiones académicas	1,49%
Arancel vigente (semestre)	Arancel cobrado en el último periodo (configurado)	\$ 1.659,65

Nota. Captura del Aplicativo

Figura 75 Reporte de la Dirección Financiera: inversión, capital de trabajo e indicadores

Reporte — Dirección Financiera
Carrera: ADM-EMPRESAS-PRUEBAS - ADMINISTRACIÓN EMPRESAS PRUEBAS | Escenario: Optimista
Generado: 13/01/2026 11:48 — Sistema de Avances Universitarios

Inversión Inicial		Valor
Activos Diferidos		\$ 600
Muebles y enseres		\$ 267
Laboratorios y equipos		\$ 411
Subtotal Activos Fijos		\$ 678
Capital de Trabajo (2 meses)		\$ 16,626.66
Imprevistos (3%)		\$ 885.23
TOTAL INVERSIÓN		\$ 18,769.89

Capital de Trabajo		Valor
Capital de Trabajo (detalle)		
Sueldos y cargos		\$ 7,692.39
Materiales de oficina		\$ 201.60
Aseo e impresión		\$ 288.09
Alquileres		\$ 191.25
Total mensual		\$ 8,313.33
Total (2 meses)		\$ 16,626.66

Financiamiento y amortización			
Fuente	%	Monto	Entidad
Recursos Propios	100%	\$ 18,769.89	
Préstamos Bancarios	0%	\$ -	Banco Pichincha
Convenio Institucional	0%	\$ -	Caja del Depósito
TOTAL	100%	\$ 18,769.89	

Préstamo: tasa 15.02% anual, plazo 36 meses, cuota mensual \$ -, intereses totales \$ -.

Indicadores Financieros

Figura 1 de 7

Nota. Captura de PDF generado por el Aplicativo.

Figura 76 Reporte Completo en formato XLSX

Reporte Completo_ADM-EMPRESAS-PRUEBAS_Optimista_20260713.xlsx - Excel

Inicio Insertar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador Ayuda

Calibri 11 A' A' Ajustar texto General

Portapapeles Fuente Alineación Número

Formato condicional Dar formato Estilos de Insertar Eliminar Formato Autosuma Rellenar Borrar Ordenar y filtrar Buscar y filtrar Claude

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Concepto	Valor																	
2	— Estudiantes y retención —																		
3	Estudiantes que ingresan (ciclo 1)	35																	
4	Meta de retención	85,00 %																	
5	Meta de graduación	95,00 %																	
6	Estudiantes al 8.º ciclo (retención acumulada)	27																	
7	Total estudiantes (acumulado del periodo)	1.631																	
8	Estudiantes en el último periodo	561																	
9	— Costo y arancel por semestre —																		
10	Costo por estudiante	\$ 1.867,47																	
11	Costo de la carrera (por estudiante)	\$ 13.136,01																	
12	Costo por semestre (referencial)	\$ 1.642,00																	
13	Arancel por semestre (óptimo VAN=0)	\$ 1.659,65																	
14	Matrícula	\$ 165,96																	
15	Total por semestre (arancel + matrícula)	\$ 1.825,61																	
16	— Indicadores financieros —																		
17	TMR (tasa mínima de rendimiento)	\$ 46%																	
18	VAN	\$ 3,58																	
19	TIR	\$ 46%																	
20	Punto de equilibrio (anual)	\$ 582.645,65																	
21																			
22																			
23																			
24																			
25																			
26																			
27																			

Reporte Resumen Arancel Demanda Retención Docentes Ingresos Materiales (unidades) Materiales (v2 ...)

Configuración de visualización

Nota. Captura de xlsx generado por el Aplicativo.

Estas salidas sustituyen el intercambio informal de fragmentos de la hoja de cálculo por documentos estandarizados, fechados y trazables, disponibles para cada dirección según su ámbito de decisión

Discusión de los resultados

Los resultados de la validación permiten responder a la pregunta general del trabajo: el aplicativo desarrollado reproduce la lógica de cálculo de la matriz institucional dentro del umbral de error definido y la supera en tiempo de cálculo, control de inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad. El error relativo promedio global del 5,04 % se mantuvo en la mitad del umbral del diez por ciento declarado como tolerancia institucional aceptable, con un comportamiento estable entre escenarios (5,06 %, 5,20 % y 4,86 %). Esto confirma la consistencia numérica del sistema frente a la referencia institucional, con independencia de las condiciones del caso.

Estos resultados permiten aceptar la hipótesis de trabajo planteada en la sección 1.6: el aplicativo redujo el tiempo de cálculo entre el 31,99 % y el 42,28 % según el escenario, registró cero inconsistencias propias frente a los dos incidentes de origen humano ocurridos en la matriz, y mantuvo el error relativo promedio en el 5,04 %, la mitad de la tolerancia institucional del diez por ciento. La reducción del tiempo y del número de inconsistencias, junto con el cumplimiento del umbral de error, verifican de forma directa la relación descriptivo-comparativa enunciada en la hipótesis.

La salida principal del sistema, el arancel ajustado por bisección, es donde la equivalencia resulta más contundente: los errores fueron del 3,65 %, 3,53 % y 3,89 % frente al ajuste manual realizado por la operadora en la matriz. A ello se suma la coincidencia exacta de la TIR en el 9,46 % en los tres casos y en ambos entornos: el algoritmo de bisección converge al mismo punto de sostenibilidad financiera que el proceso manual, pero de forma automática. El comportamiento del arancel entre escenarios confirmó además la coherencia del modelo: menor en el optimista (1.659,65 dólares), intermedio en el base (1.916,00 dólares) y mayor en el crítico (2.349,02 dólares), que es exactamente la sensibilidad que la institución necesita observar al evaluar la apertura de una carrera.

Una precisión metodológica resulta indispensable para la lectura del consolidado: el error relativo máximo del 16,23 % que aparece en el escenario optimista corresponde únicamente al Valor Actual Neto y no debe interpretarse como un incumplimiento del umbral del diez por ciento. El VAN es la única salida cuyo valor esperado tras el ajuste es cercano a cero, condición bajo la cual el error relativo pierde representatividad porque su denominador tiende a cero e infla artificialmente el porcentaje. Consciente de ello, el plan de validación definió de antemano para este indicador un criterio de error absoluto de hasta 5,00 dólares. Bajo ese criterio, las diferencias observadas fueron de 0,16, 0,50 y 0,07 dólares en los casos base, optimista y crítico, respectivamente, con lo que la validación se cumplió con amplitud en los tres escenarios. Excluido

el VAN por esta razón metodológica, el error relativo máximo de las variables de costo y arancel fue del 8,44 %, dentro del umbral.

Las diferencias sistemáticas del 4,49 % al 8,44 % en el costo de la carrera, el arancel y sus variables derivadas tampoco son ruido numérico, sino la consecuencia medible de una decisión de diseño deliberada: mientras la matriz Excel reparte el equivalente-docente en fracciones de profesor, el aplicativo aplica un modelo de contratación entera que cubre las horas residuales con docentes de Medio Tiempo o Tiempo Parcial, tal como lo hace la institución en la realidad. El modelo del aplicativo es, por tanto, más realista, y su efecto, un costo docente y un arancel ligeramente mayores, se mantiene dentro del umbral y se clasifica como diferencia metodológica de categoría C. Lo mismo aplica al punto de equilibrio, cuyos errores del 10,07 % al 10,49 % superan marginalmente el umbral por el mayor costo fijo docente, sin invalidar el resultado.

En materia de eficiencia, la reducción del tiempo de cálculo de entre el 31,99 % y el 42,28 %, con un promedio cercano al 38 %, se explica por la sustitución del ciclo de prueba y error manual por el algoritmo de bisección dentro del rango de 500 a 5.000 dólares. Este resultado responde directamente al requerimiento crítico expresado por el tutor durante las entrevistas: que el sistema busque automáticamente el valor del arancel hasta que el VAN sea cero y la TIR se iguale a la TMR. Igual de relevante que la reducción del promedio es la reducción de la variabilidad: la desviación estándar del aplicativo no superó 1 minuto 14 segundos, mientras que la del Excel alcanzó 7 minutos 36 segundos, porque la duración del ajuste manual depende de la destreza de la operadora en cada iteración.

Los dos únicos incidentes de la sesión ocurrieron en el Excel y fueron de origen humano, no del modelo matemático: un espacio digitado dentro del arancel que rompió todas las fórmulas de la matriz sin que la operadora pudiera identificar la causa, y una TIR negativa intermedia que desorientó la interpretación durante el ajuste manual. El aplicativo registró cero inconsistencias en los tres escenarios. Esta asimetría es el hallazgo cualitativo central de la validación: la fragilidad del proceso actual no reside en la lógica financiera de la matriz, que la validación confirmó como sólida, sino en su soporte tecnológico, una hoja de cálculo de veinticinco hojas interdependientes sin validación de entradas, sin registro de cambios y sin protección frente a errores de digitación. La automatización ataca precisamente esa capa: entradas validadas, estados intermedios gestionados internamente, auditoría de cada operación y reproducibilidad verificada en las nueve ejecuciones.

La validación también confirmó la utilidad de las distinciones conceptuales incorporadas al sistema. La separación entre el arancel referencial por costo de carrera y el arancel óptimo financiero por VAN igual a cero se observó en los propios resultados: en el caso base, el arancel

por semestre derivado del costo (1.791,39 dólares en Excel) difiere del arancel ajustado por bisección (1.848,61 dólares), porque el costo de la carrera no incorpora el costo financiero del dinero ni la TMR. Asimismo, el escenario crítico, configurado con la meta de retención en el umbral mínimo de acreditación del 65 %, operó como herramienta de análisis de riesgo al cuantificar cuánto debe subir el arancel (de 1.916,00 a 2.349,02 dólares) para sostener la carrera cuando la deserción aumenta, información que la matriz no ofrecía de forma directa y comparable.

Más allá de las métricas, la validación permitió confirmar el papel del aplicativo como plataforma de coordinación interdepartamental, en respuesta al quinto objetivo específico. El sistema emite reportes técnicos diferenciados para cada dirección institucional involucrada en la apertura de carreras: la Dirección Financiera recibe las proyecciones de flujo de fondos y los indicadores VAN y TIR para evaluar la sostenibilidad; la Dirección de Gestión Docente, la planificación de carga horaria con el desglose de perfiles de doctorado y maestría; la Dirección Administrativa, los requerimientos de infraestructura y el cronograma de inversión inicial; la Dirección de Estrategia Comercial y Comunicacional, los datos de demanda proyectada y las metas de retención como insumo del plan de captación; y la Dirección de Talento Humano, la estructura de cargos, sueldos y beneficios sociales necesarios. Estos reportes, exportables en formatos XLSX y PDF junto con el informe dirigido al CES, sustituyen el intercambio informal de fragmentos de la hoja de cálculo por salidas estandarizadas y trazables.

Los resultados son consistentes con la evidencia empírica sobre la sustitución de hojas de cálculo por sistemas de información. Staziaki, Kim, Vadvala y Ghoshhajra, en un estudio cruzado que comparó la captura de datos en Microsoft Excel frente a una aplicación, midieron una reducción del 22 % en el tiempo de procesamiento y detectaron errores de digitación exclusivamente en la hoja de cálculo [28]; el aplicativo desarrollado en este trabajo alcanzó reducciones de entre el 31,99 % y el 42,28 % y no registró ninguna inconsistencia propia, frente a los dos incidentes ocurridos en la matriz.

Esos incidentes, un espacio digitado dentro del valor del arancel que rompió las fórmulas y una TIR intermedia negativa que desorientó a la operadora, corresponden a lo que Panko denomina errores mecánicos, es decir, teclear mal un número o referenciar mal una celda [29]. Su prevalencia no es marginal: Panko reporta errores en el 94 % de las hojas auditadas y una tasa media de error por celda del 3,9 % [29], mientras que Powell, Baker y Lawson concluyen que los errores son prevalentes en las hojas de uso operativo y pueden derivar en decisiones equivocadas [25]. En la línea de la transformación digital universitaria, Kayanja, Kyambade y Kiggundu [10] y Carmo, Lacerda, Klingenberg y Piran [8] reportan que la automatización de procesos administrativos en instituciones de educación superior mejora la precisión de la información y

libera tiempo para el análisis, efecto que Vásquez Simbaña documenta también sobre la eficiencia organizacional [9].

Estos hallazgos son consistentes con los obtenidos en la presente investigación, en la que, además de reducir el tiempo de procesamiento y eliminar inconsistencias atribuibles al aplicativo, se incorporó el ajuste automático del arancel con base en criterios financieros, la trazabilidad completa de las operaciones y la validación cuantitativa de los resultados frente a la matriz institucional de referencia.

La sensibilidad del arancel frente a la retención estudiantil observada entre escenarios coincide con lo señalado por Gonçalves, Burch y Batchelor, para quienes la permanencia estudiantil condiciona la sostenibilidad financiera de los programas [5], y adquiere relevancia local si se considera que la deserción universitaria en el Ecuador supera el 20 % [27]. Frente a los antecedentes nacionales revisados, como la metodología de costeo de programas de posgrado de la Escuela Politécnica Nacional [4] y el manual de clasificación de niveles de pago de la Universidad Estatal de Milagro [20], la propuesta se diferencia en que integra en una sola solución modular la lógica académica, la financiera y la validación de viabilidad económica conforme a la LOES [2] y la normativa del CES [3], mientras que dichos instrumentos se concentran en el costeo o en la administración de cobros.

Como limitaciones de la validación deben señalarse que se ejecutó sobre una sola carrera de ocho ciclos, Administración de Empresas, con un horizonte de proyección de cuatro años entre 2023 y 2026, con los descuentos por ciclo configurados en cero por ciento para garantizar la comparabilidad con la matriz, y que los valores de referencia de ambos entornos fueron generados por una única operadora externa en la misma sesión. Estas condiciones fueron necesarias para controlar la comparación, pero implican que la generalización a carreras de mayor duración, como Medicina con diez ciclos, o a configuraciones con descuentos comerciales activos, requiere sesiones de validación adicionales.

Limitaciones del estudio y del desarrollo

Además de las limitaciones de la validación ya señaladas en la discusión de los resultados, el desarrollo presenta restricciones que deben considerarse al interpretar los resultados y al proyectar la evolución del sistema. El reconocimiento de estas limitaciones no debilita las conclusiones alcanzadas, que se circunscriben al alcance declarado, sino que delimita con precisión el dominio de validez de la solución.

En primer lugar, el aplicativo fue diseñado a partir de la matriz financiera de una sola institución, la Universidad Católica de Cuenca, por lo que sus reglas de negocio reflejan la lógica de costeo

de esa universidad; su adopción por otra institución de educación superior exigiría revisar y reparametrizar dichas reglas. El modelo, además, depende de la normativa ecuatoriana vigente, en particular de la LOES y de los reglamentos del CES, de modo que cambios regulatorios sustantivos requerirían actualizar la lógica de cálculo y el formato del informe institucional. La solución es, por otra parte, una aplicación de escritorio para Windows y no contempla una versión web ni acceso móvil, decisión coherente con el carácter interno del proceso, pero que restringe el acceso remoto simultáneo de las direcciones. A esto se suma que el sistema requiere una parametrización inicial rigurosa —series de inflación, tasas, plan de cargos y capacidad de paralelos— cuya calidad condiciona la de los resultados, aspecto que se controló mediante el checklist descrito en la sección 4.2.

Finalmente, la validación se circunscribió a métricas técnicas y funcionales —error relativo, tiempo, inconsistencias, trazabilidad y reproducibilidad— por corresponder al sexto objetivo específico. No se aplicaron instrumentos de evaluación de usabilidad, satisfacción o aceptación tecnológica, como el System Usability Scale o el Modelo de Aceptación de Tecnología, por dos razones concretas: la limitada disponibilidad de los responsables de las distintas direcciones académicas, cuyas cargas y horarios impidieron programar sesiones de evaluación durante el periodo del estudio, y el hecho de que el aplicativo aún no está desplegado en un servidor de acceso institucional, de modo que su prueba habría requerido instalarlo en el equipo de cada usuario, lo que abriría una brecha de seguridad importante en el manejo de datos financieros institucionales. Por estos motivos, la evaluación de la experiencia de usuario se plantea como trabajo futuro, a ejecutarse durante el pilotaje institucional recomendado y una vez resuelto el despliegue centralizado, e incluiría la medición de la utilidad percibida y la facilidad de uso percibida por perfil de usuario.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Conclusión 1. Del análisis de la estructura funcional y lógica de la matriz institucional se evidenció que el proceso actual depende críticamente del conocimiento técnico de usuarios específicos y que su fragilidad no reside en la lógica financiera, que la validación confirmó como sólida, sino en su soporte tecnológico: una hoja de cálculo de veinticinco hojas interdependientes con referencias y parámetros desactualizados, errores #REF! en la hoja Balance y #NUM! en la hoja TIR, sin validación de entradas ni registro de cambios. Los dos únicos incidentes de la sesión de validación ocurrieron en el Excel y fueron de origen humano: un espacio digitado dentro del arancel que rompió todas las fórmulas y una TIR negativa intermedia que desorientó a la operadora, mientras el aplicativo registró cero inconsistencias. Este análisis justificó la necesidad de una solución automatizada con reglas de negocio explícitas.

Conclusión 2. Se identificaron y consolidaron los requerimientos funcionales del sistema en 44 casos de uso distribuidos en once módulos funcionales, obtenidos del análisis documental de la matriz y de las entrevistas con los expertos institucionales. Esta consolidación permitió transformar un proceso disperso en veinticinco hojas de cálculo en una estructura organizada que abarca la gestión de usuarios, el procesamiento de las variables académicas, el cálculo de los componentes financieros y la generación de indicadores de viabilidad y reportes.

Conclusión 3. La arquitectura del sistema se diseñó con Clean Architecture y el patrón MVVM, con acceso controlado por roles y almacenamiento centralizado en PostgreSQL alojado mediante Supabase, lo que separó las reglas de cálculo de la interfaz y eliminó la dependencia de versiones múltiples de archivos locales. Este diseño sustenta el mecanismo trazable, reproducible y auditable del sistema: cada cambio queda registrado con su usuario, fecha, módulo y valores anterior y nuevo, frente a una matriz Excel que no cumple ninguno de los criterios de trazabilidad evaluados, como quedó ilustrado en el incidente del caso base, cuyo origen no pudo diagnosticarse por ausencia de registro de cambios.

Conclusión 4. Se implementaron los once módulos que automatizan progresivamente el cálculo académico y financiero, incluido el algoritmo de ajuste automático del arancel por bisección, que busca un VAN igual a cero de modo que la TIR se iguale a la Tasa Mínima de Rendimiento del 9,46 %, compuesta por la tasa de interés del segmento educativo, la inflación anual y el premio al riesgo. Este algoritmo eliminó el método manual de prueba y error y demostró coherencia entre escenarios: el arancel requerido fue menor en el optimista (1.659,65 dólares), intermedio en el

base (1.916,00 dólares) y mayor en el crítico (2.349,02 dólares), cuantificando el efecto del ingreso y la deserción sobre la sostenibilidad de la carrera.

Conclusión 5. El sistema genera reportes técnicos específicos para las cinco direcciones institucionales involucradas en la apertura de carreras: proyecciones de flujo de fondos, VAN y TIR para la Dirección Financiera; planificación de carga horaria y desglose de perfiles docentes para la Dirección de Gestión Docente; requerimientos de infraestructura e inversión inicial para la Dirección Administrativa; datos de demanda y metas de retención para la Dirección de Estrategia Comercial y Comunicacional; y estructura de cargos, sueldos y beneficios sociales para la Dirección de Talento Humano, además del informe dirigido al CES y las exportaciones en formatos XLSX y PDF. Con ello se favorece la planificación interdepartamental coordinada y se reduce la carga administrativa de cada área.

Conclusión 6. La validación contra la matriz Excel de referencia confirmó la consistencia del aplicativo: error relativo promedio global del 5,04 % (5,06 % en el caso base, 5,20 % en el optimista y 4,86 % en el crítico), la mitad del umbral del diez por ciento declarado como tolerancia institucional; error de apenas el 3,53 % al 3,89 % en el arancel ajustado, salida principal del sistema; coincidencia exacta de la TIR en el 9,46 % en los tres casos; y diferencias absolutas del VAN de 0,16, 0,50 y 0,07 dólares, dentro del criterio de cinco dólares aplicable cuando el valor esperado es cercano a cero, por lo que el error relativo máximo del 16,23 % no constituye un incumplimiento del umbral. El aplicativo redujo además el tiempo de cálculo entre el 31,99 % y el 42,28 %, registró cero inconsistencias propias frente a dos incidentes humanos de la matriz y verificó la reproducibilidad en las nueve ejecuciones realizadas. Asimismo, la suite de 152 pruebas automatizadas verificó el cumplimiento del requerimiento de rendimiento, alcanzando un tiempo máximo de respuesta de 21 ms por operación, muy por debajo del umbral de 2.000 ms establecido.

Recomendaciones

Recomendación 1. Se recomienda a la Universidad Católica de Cuenca generar el registro de la propiedad intelectual del aplicativo mediante la figura legal que corresponda y, sobre esa base, considerar su implementación como servicio dirigido a otras instituciones de educación superior del país que enfrentan el mismo problema de cálculo manual de aranceles, lo que podría constituir una fuente de ingresos adicional para la universidad.

Recomendación 2. Se recomienda, en una fase posterior al presente trabajo, integrar el aplicativo con el sistema ERP de la universidad, de modo que los datos de estudiantes, docentes, sueldos y recursos se sincronicen automáticamente sin requerir carga manual, eliminando la última fuente de digitación humana del proceso.

Recomendación 3. Se recomienda establecer un procedimiento institucional de revisión periódica de los parámetros normativos y macroeconómicos contenidos en los módulos, especialmente los relacionados con la LOES, los reglamentos del CES, la normativa contable de depreciación y las tasas publicadas por el Banco Central del Ecuador, para que el aplicativo se mantenga alineado con la regulación vigente y no repita la desactualización detectada en la matriz.

Recomendación 4. Se recomienda diseñar un programa de capacitación formal dirigido a los directores de carrera y al personal administrativo involucrado en la apertura de carreras, acompañado de un repositorio institucional actualizado con la nómina de personal, el presupuesto y el valor total de sueldos de la planta central, para garantizar la continuidad del conocimiento institucional y alimentar el sistema con información certera.

Recomendación 5. Se recomienda incorporar, en fases futuras del modelo de costos, la cuantificación del costo de uso de la infraestructura física y tecnológica de la universidad, como aulas, laboratorios, el entorno virtual de aprendizaje y el sistema ERP, rubros que actualmente no se consideran en el cálculo del arancel.

Recomendación 6. Se recomienda ejecutar sesiones de validación adicionales sobre carreras de mayor duración, como las de diez ciclos, y sobre configuraciones con descuentos comerciales por ciclo activos, para extender la evidencia de consistencia del sistema, manteniendo el informe dirigido al Consejo de Educación Superior como un reporte referencial y adaptable ante los cambios de formato que disponga el organismo.

Bibliografía

- [1] Microsoft, "Common web application architectures", Microsoft Learn, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/modern-web-apps-azure/common-web-application-architectures>
- [2] Asamblea Nacional del Ecuador, "Ley Orgánica de Educación Superior (LOES)", Registro Oficial Suplemento No. 298, 2010. [En línea]. Disponible en: https://www.educacionsuperior.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/03/LEY_ORGANICA_DE_EDUCACION_SUPERIOR_LOES.pdf
- [3] Consejo de Educación Superior, "Reglamento de aranceles, matrículas y derechos en las instituciones de educación superior", 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.ces.gob.ec/lotaip/2023/Enero/A3/Reglamento%20de%20Aranceles%2C%20Matr%C3%ADculas%20y%20Derechos%20en%20las%20Instituciones%20de%20Educaci%C3%B3n%20Superior.pdf>
- [4] Escuela Politécnica Nacional, "Metodología para determinar el costo de aranceles y matrícula en programas de posgrado", 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2020/08/Metodologia_para_determinar_el_costo_de_aranceles_y_matricula_posgrados-CP.pdf
- [5] G. S. Gonçalves, G. F. Burch y J. H. Batchelor, "Undergraduate student retention activities: Challenges and opportunities for higher education institutions", SAGE Open, vol. 14, no. 2, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/21582440241249334>
- [6] M. G. Lomas Proaño, "Evaluación financiera en proyectos de inversión en empresas productoras de calzado de Tungurahua", Universidad Andina Simón Bolívar, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/10381/1/T4513-MGFARF-Lomas-Evaluacion.pdf>
- [7] P. L. Poon, Y. T. Yu y T. H. Tse, "Spreadsheet quality assurance: A literature review", Frontiers of Computer Science, vol. 18, art. 182205, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11704-023-2384-6>
- [8] J. E. S. Carmo, D. P. Lacerda, C. O. Klingenberg y F. A. S. Piran, "Digital transformation in the management of higher education institutions", Sustainable Futures, vol. 9, art. 100692, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266618882500259X>

- [9] K. A. Vásquez Simbaña, "Automatización de procesos administrativos y adopción de nuevas tecnologías: Su influencia en la eficiencia organizacional y la retención de clientes en empresas modernas", *RECIMUNDO*, vol. 9, no. Especial, pp. 47-56, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10281103.pdf>
- [10] W. Kayanja, M. Kyambade y T. Kiggundu, "Exploring digital transformation in higher education setting: The shift to fully automated and paperless systems", *Cogent Education*, vol. 12, no. 1, art. 2489800, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/2331186X.2025.2489800>
- [11] F. J. Kroff, D. F. Coria y C. A. Ferrada, "Inteligencia artificial en la educación universitaria: Innovaciones, desafíos y oportunidades", *Espacios*, vol. 45, no. 5, pp. 120-135, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48082/espacios-a24v45n05p09>
- [12] L. López et al., "Quality measurement in agile and rapid software development: A systematic mapping", *Journal of Systems and Software*, vol. 186, art. 111187, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.111187>
- [13] Microsoft, "What is Windows Presentation Foundation?", Microsoft Learn, 2026. [En línea]. Disponible en: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/wpf/overview/>
- [14] J. Smith, "Patterns: WPF apps with the Model-View-ViewModel design pattern", *MSDN Magazine*, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://learn.microsoft.com/en-us/archive/msdn-magazine/2009/february/patterns-wpf-apps-with-the-model-view-viewmodel-design-pattern>
- [15] Microsoft, "Introduction to the MVVM Toolkit", Microsoft Learn, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/communitytoolkit/mvvm/>
- [16] N. C. Ramachandrappa, "MVVM design pattern in software development", *International Journal of Computer Trends and Technology*, vol. 72, no. 9, pp. 114-119, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.14445/22312803/IJCTT-V72I9P117>
- [17] C. N. Henriquez-Miranda y G. Sanchez-Torres, "Tendencias contemporáneas en arquitectura de software: evaluación de Clean Architecture en el ecosistema Android", *Respuestas*, vol. 31, n.º 1, pp. 75-85, ene. 2026. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22463/0122820X.5627>
- [18] T. Taipalus, "Database management system performance comparisons: A systematic literature review", *Journal of Systems and Software*, vol. 208, art. 111872, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2023.111872>

- [19] Y. Li, Y. Zhang, X. Wang y J. Liu, "Role-based access control model for inter-system cross-domain in multi-domain environment", *Applied Sciences*, vol. 12, no. 24, art. 13036, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app122413036>
- [20] Universidad Estatal de Milagro, "Manual para la clasificación de niveles en el pago de matrícula y aranceles de estudiantes de grado que no cumplen con las condiciones para gratuidad en la Universidad Estatal de Milagro", 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.unemi.edu.ec/wp-content/uploads/2022/05/MANUAL-PARA-LA-CLASIFICACION-DE-NIVELES-EN-EL-PAGO-DE-MATRICULA-Y-ARANCELES-DE-ESTUDIANTES-DE-GRADO-QUE-NO-CUMPLEN-CON-LAS-CONDICIONES-PARA-GRAT.pdf>
- [21] N. N. Escoto Cruz, L. A. Castillo Barrera y E. J. Castillo Sovalbarro, "Sistema de información de registro académico y gestión arancelaria para el colegio Santa Teresita del Niño Jesús, Bonanza, RACCN, Nicaragua", Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ribuni.uni.edu.ni/6127/>
- [22] P. Buñay, E. D. Yépez Llerena y K. F. Armijos Guillen, "Aplicación de la metodología kanban en el desarrollo del software para generación, validación y actualización de reactivos, integrado al sistema informático de control académico UNACH", Universidad Nacional de Chimborazo, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6457>
- [23] D. F. Ferraiolo y D. R. Kuhn, "Role-based access controls", en *Proc. 15th National Computer Security Conference (NCSC)*, Baltimore, MD, EE. UU., oct. 13-16, 1992, pp. 554-563. [En línea]. Disponible en: <https://csrc.nist.gov/pubs/conference/1992/10/13/rolebased-access-controls/final>
- [24] R. R. Panko, "What we know about spreadsheet errors", *Journal of End User Computing*, vol. 10, no. 2, pp. 15-21, 1998. [En línea]. Disponible en: <http://panko.shidler.hawaii.edu/SSR/Mypapers/whatknow.htm>
- [25] S. G. Powell, K. R. Baker y B. Lawson, "A critical review of the literature on spreadsheet errors", *Decision Support Systems*, vol. 46, no. 1, pp. 128-138, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2008.06.001>
- [26] ISO 25000, "ISO/IEC 25010: Modelo de calidad del producto software", Portal ISO 25000, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010>
- [27] Z. Delgado Saeteros, "Análisis de la deserción estudiantil y estrategias para incrementar la retención en instituciones de educación superior", *Revista de Investigación, Formación y*

Desarrollo, vol. 12, no. 1, pp. 88-95, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.34070/rif.v12.i1.WVVF7996>

[28] P. V. Staziaki, P. Kim, H. V. Vadvala y B. B. Ghoshhajra, "Medical registry data collection efficiency: A crossover study comparing web-based electronic data capture and a standard spreadsheet," *Journal of Medical Internet Research*, vol. 18, no. 6, p. e141, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.2196/jmir.5576>

[29] R. R. Panko, "What we don't know about spreadsheet errors today: The facts, why we don't believe them, and what we need to do," en *Proceedings of the European Spreadsheet Risks Interest Group (EuSpRIG) Conference*, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/1602.02601>

[30] S. Viteri Arias, T. Mayorga Soria, P. Navas Moya y P. Molina Palma, "Control de calidad del software mediante pruebas automatizadas de integración y pruebas unitarias," *Ciencia Digital*, vol. 2, no. 3, pp. 101–115, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v2i3.140>

[31] K. Kent y M. Souppaya, *Guide to Computer Security Log Management*, NIST Special Publication 800-92. Gaithersburg, MD, EE. UU.: National Institute of Standards and Technology, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-92>

[32] S. Loh Mun Keong y Z. Che Embi, "A systematic review on non-functional requirements documentation in agile methodology," *Journal of Informatics and Web Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 19–29, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.33093/jiwe.2022.1.2.2>

[33] B. Schneier y J. Kelsey, "Secure audit logs to support computer forensics," *ACM Transactions on Information and System Security*, vol. 2, no. 2, pp. 159–176, 1999. [En línea]. Disponible en: <https://www.schneier.com/wp-content/uploads/2016/02/paper-auditlogs.pdf>

[34] R. J. Ramos Barreda, "Diseño de un sistema de registro académico y arancelario automatizado en Compulab Estelí", Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://ribuni.uni.edu.ni/959/>

[35] D. J. Gutiérrez Avilés, F. J. Morales Alemán y T. E. Balladares Alvarado, "Sistema de información de gestión académica y control arancelario del colegio Angloamericano", Tesis de grado, Facultad de Ciencias y Sistemas, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://ribuni.uni.edu.ni/2609/>

[36] N. Sapag Chain, R. Sapag Chain y J. M. Sapag Puelma, *Preparación y evaluación de proyectos*, 6.^a ed. México: McGraw-Hill, 2014. ISBN 978-607-15-1144-7. [En línea]. Disponible

en: <https://ebooks-ucacue-edu-ec.vpn.ucacue.edu.ec/reader/preparacion-y-evaluacion-de-proyectos-1718222687>

[37] L. J. Gitman y C. J. Zutter, Principios de administración financiera, 14.^a ed. México D. F., México: Pearson Educación, 2016.

[38] N. J. Merchán-Narváez, E. E. Palma-Peralta y D. X. Poma-Japón, "Comparación de metodologías ágiles para el desarrollo de software," Journal Scientific MQRInvestigar, vol. 8, no. 1, pp. 5052-5074, 2024. doi: 10.56048/MQR20225.8.1.2024.5052-5074.

[39] J. A. Britto, "Comparación de metodologías ágiles y procesos de desarrollo de software mediante un instrumento basado en CMMI," Scientia et Technica, vol. 21, no. 2, pp. 150-155, 2016. doi: 10.22517/23447214.9249.

Anexos

Anexo A. Diagramas complementarios de clases de dominio

Figura A1.

DC-01 Dominio Transversal: Seguridad y Auditoría

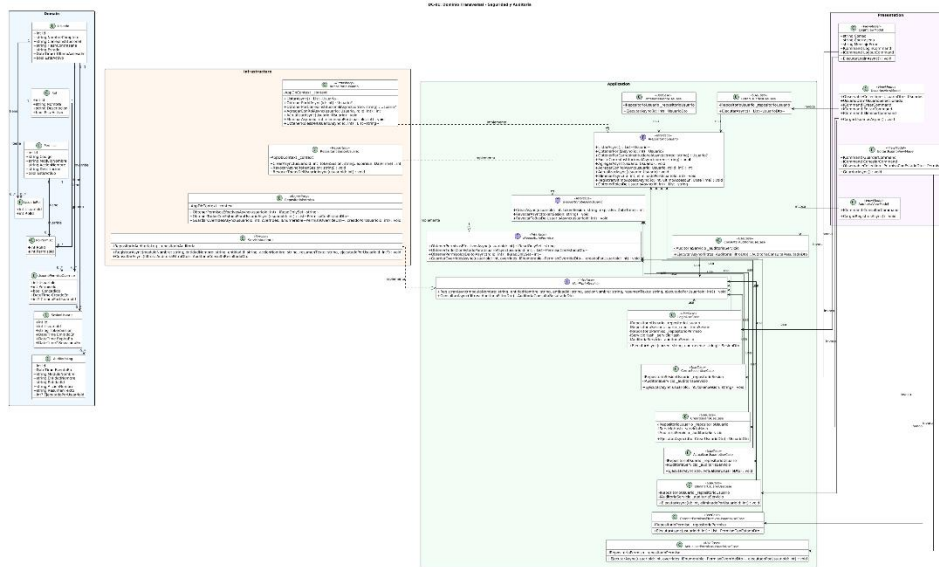


Figura A2.

DC-01 Vista General del Dominio Transversal

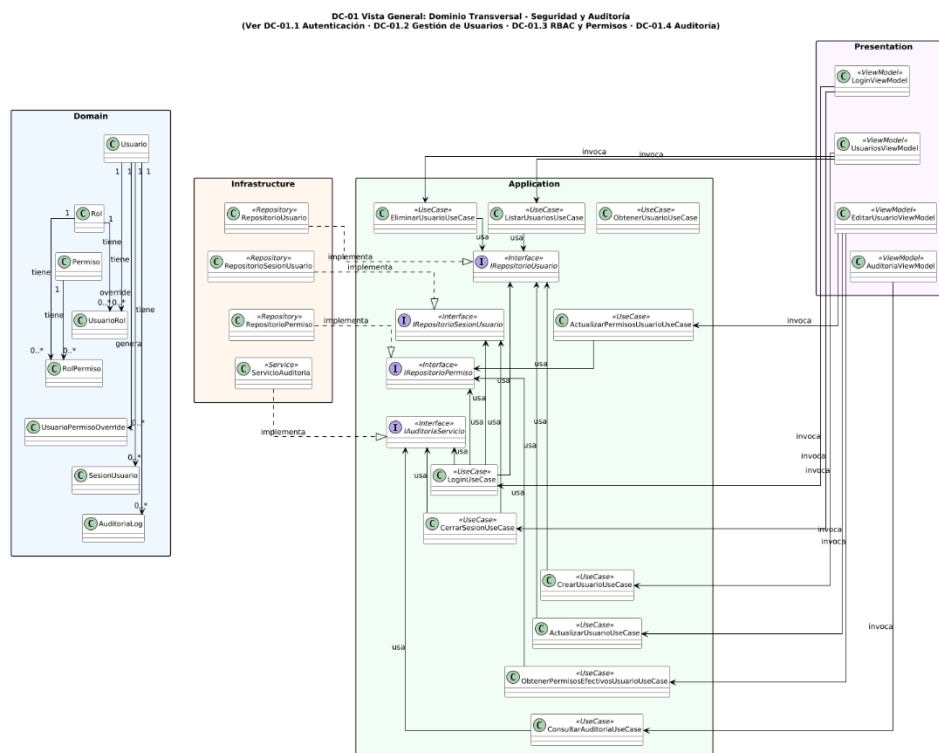
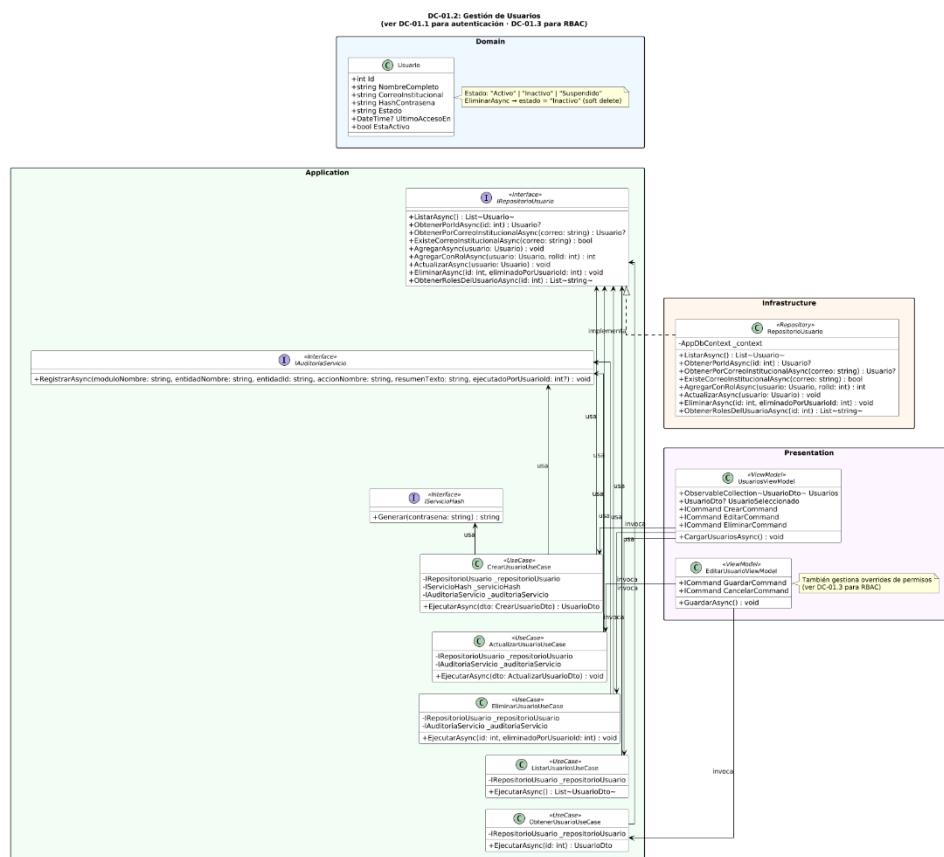


Figura A3.



DC-01.2 Diagrama de clases de gestión de usuarios



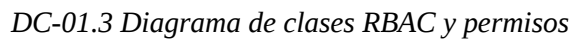


Figura A7.

DC-02.1 Diagrama de clases de inflación

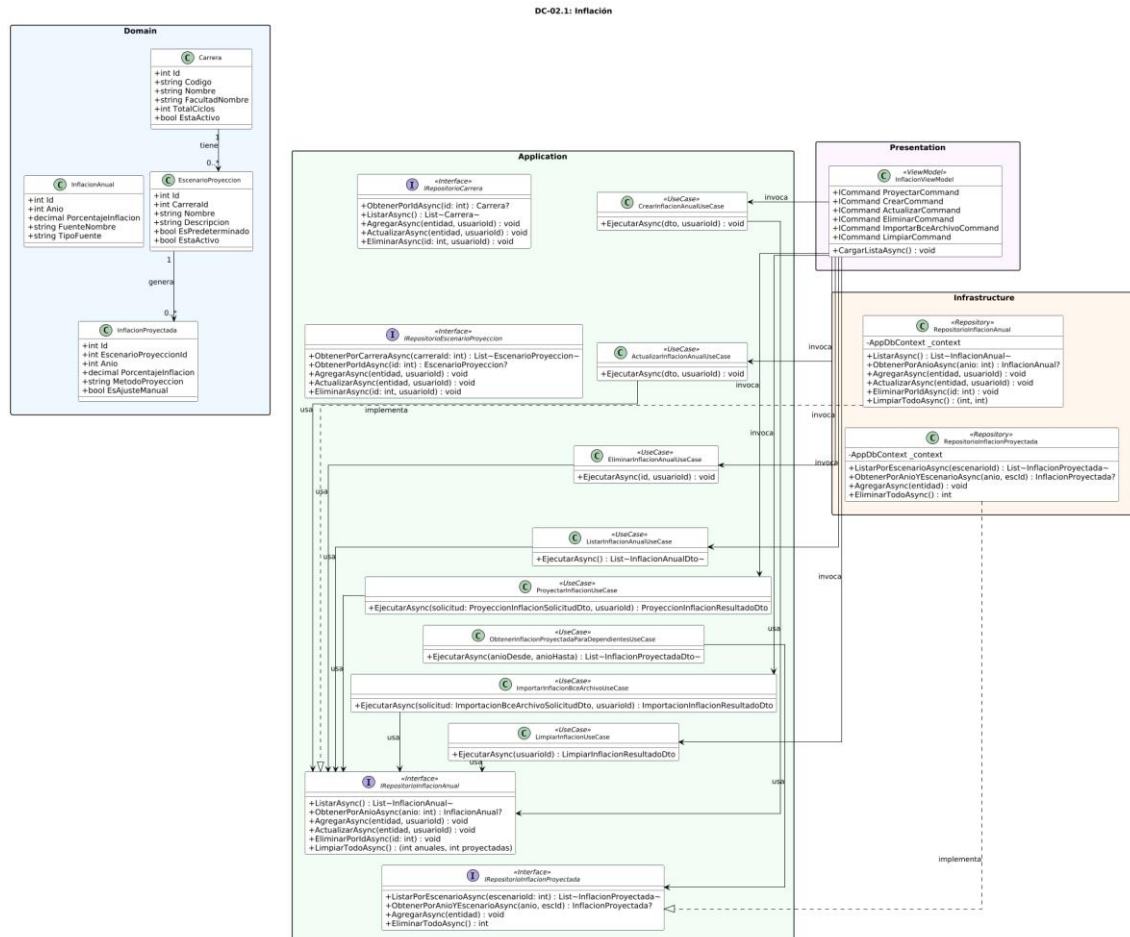


Figura A8.

DC-02.2 Diagrama de clases de retención

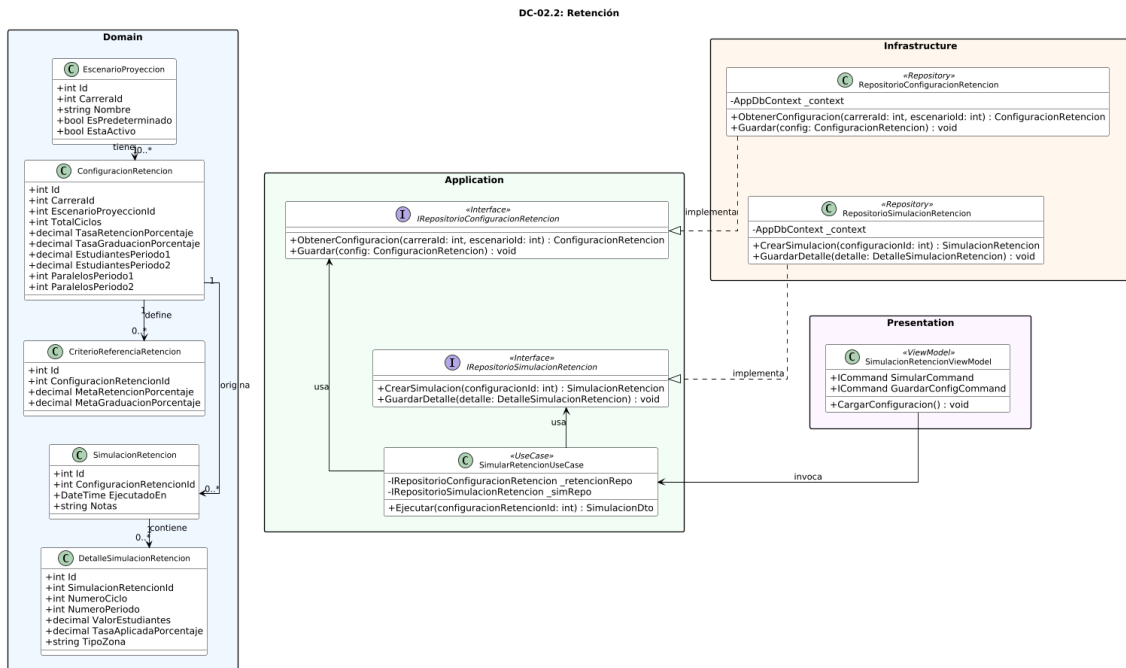


Figura A9.

DC-02.3 Diagrama de clases de estudiantes y docentes

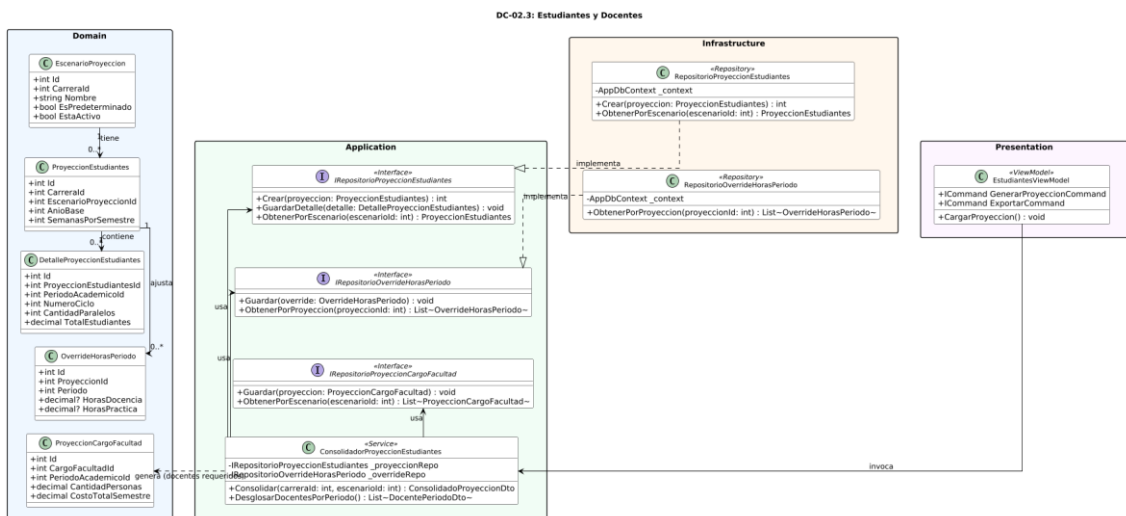
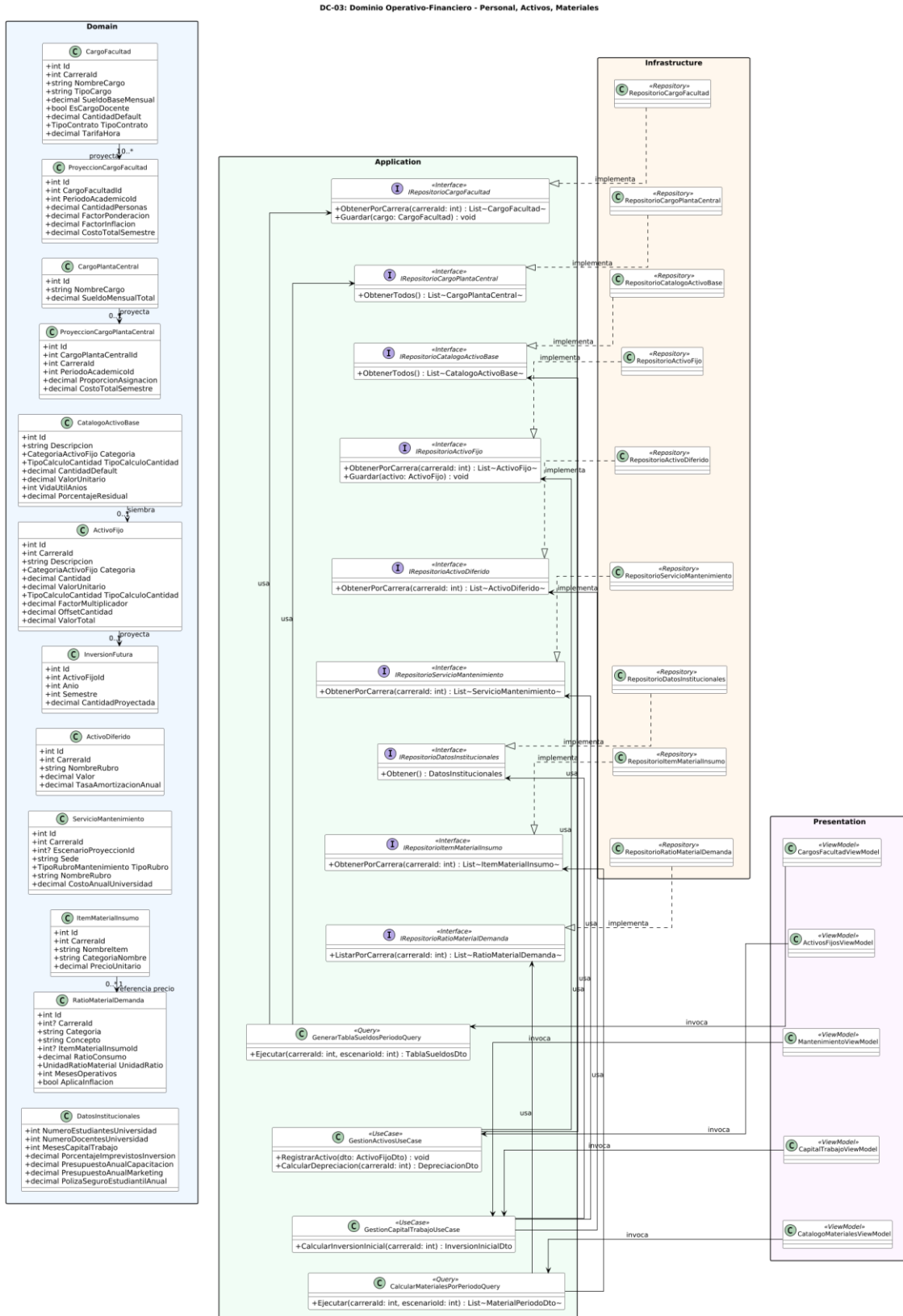


Figura A10.

DC-03 Dominio Operativo-Financiero: Personal, Activos y Materiales



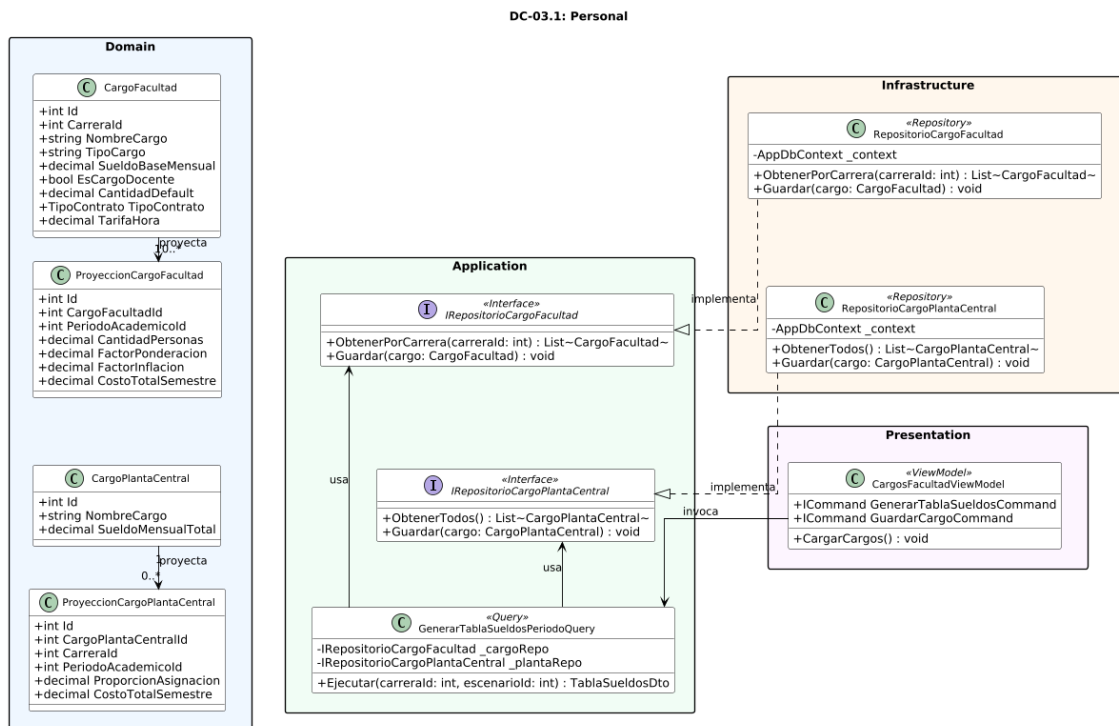


Figura A13.

DC-03.2 Diagrama de clases de activos y mantenimiento

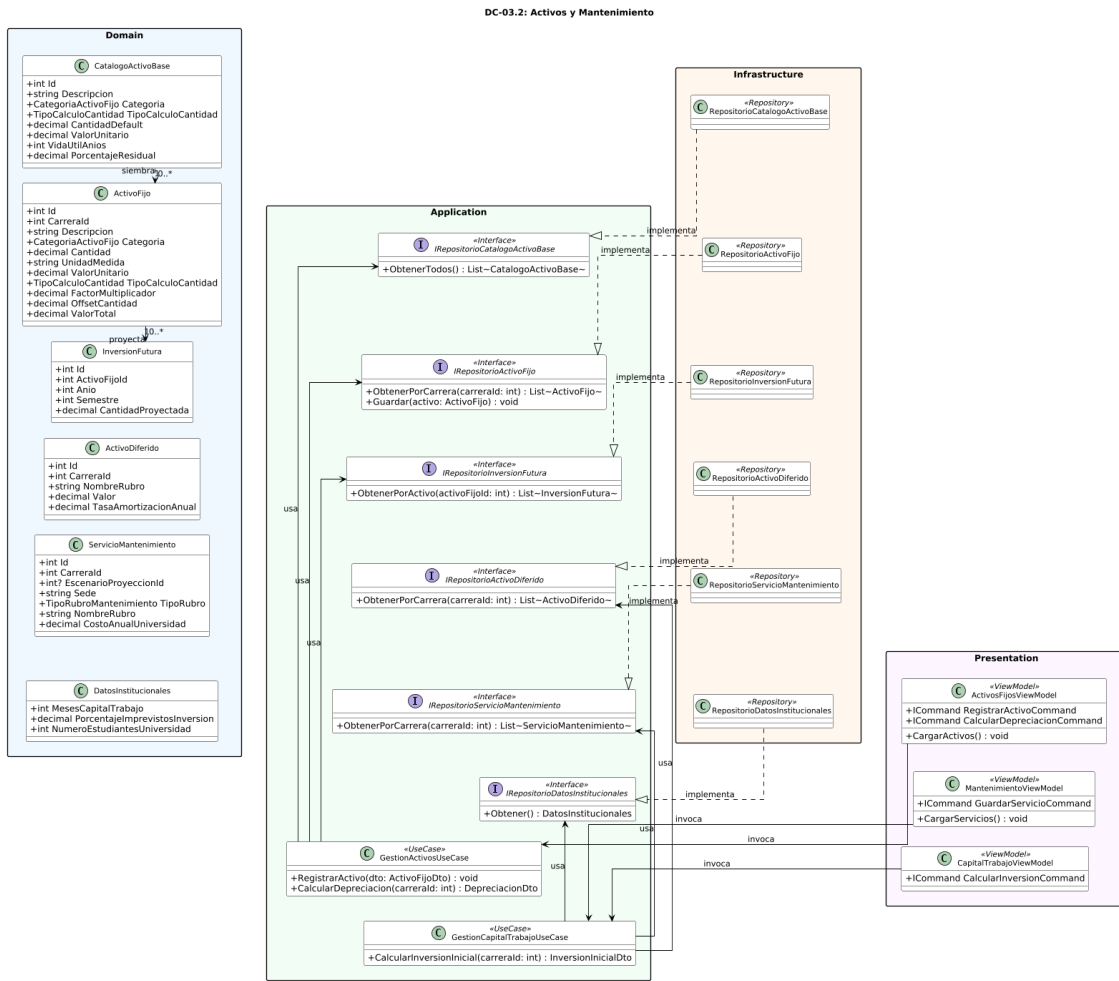


Figura A14.

DC-03.3 Diagrama de clases de materiales y presupuesto

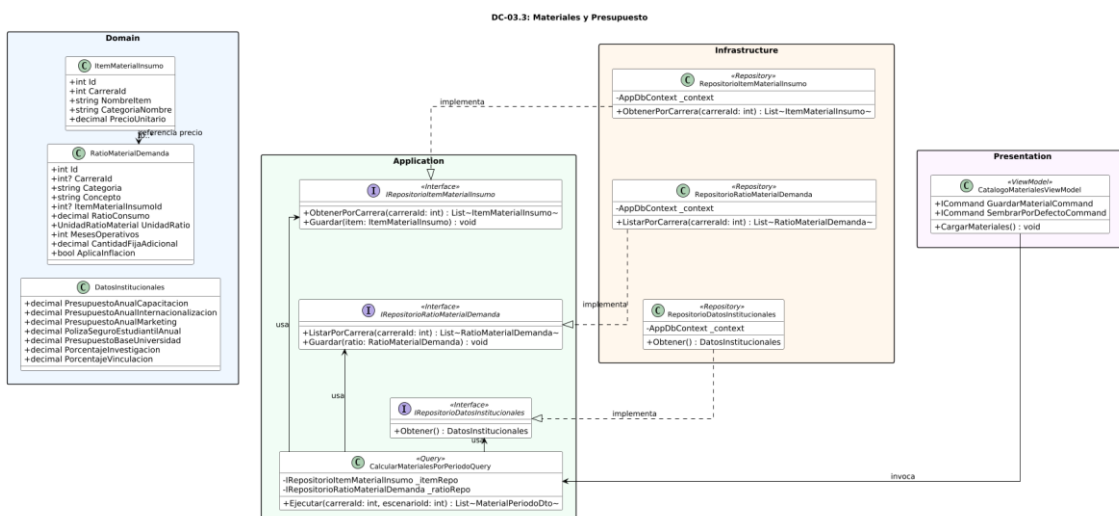


Figura A15.

DC-04.1 Diagrama de clases de costos y arancel

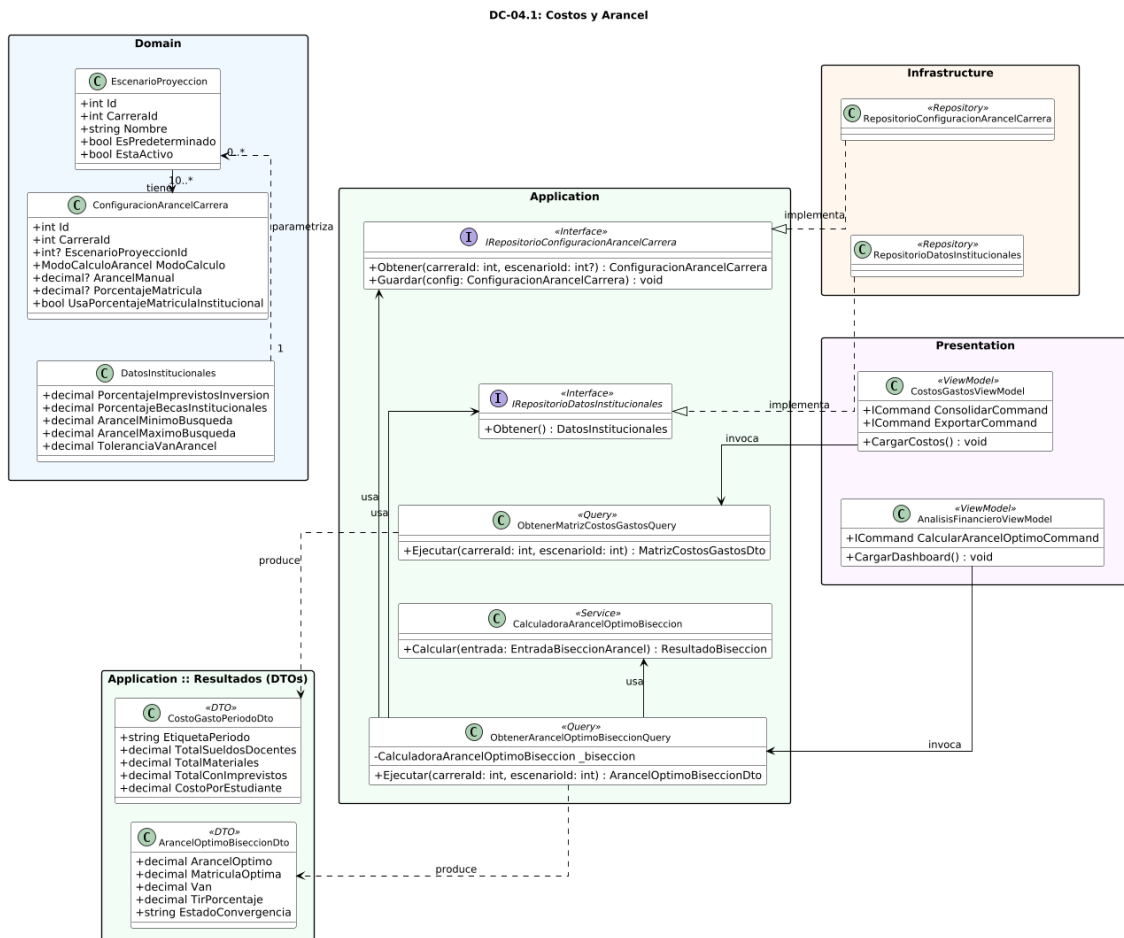
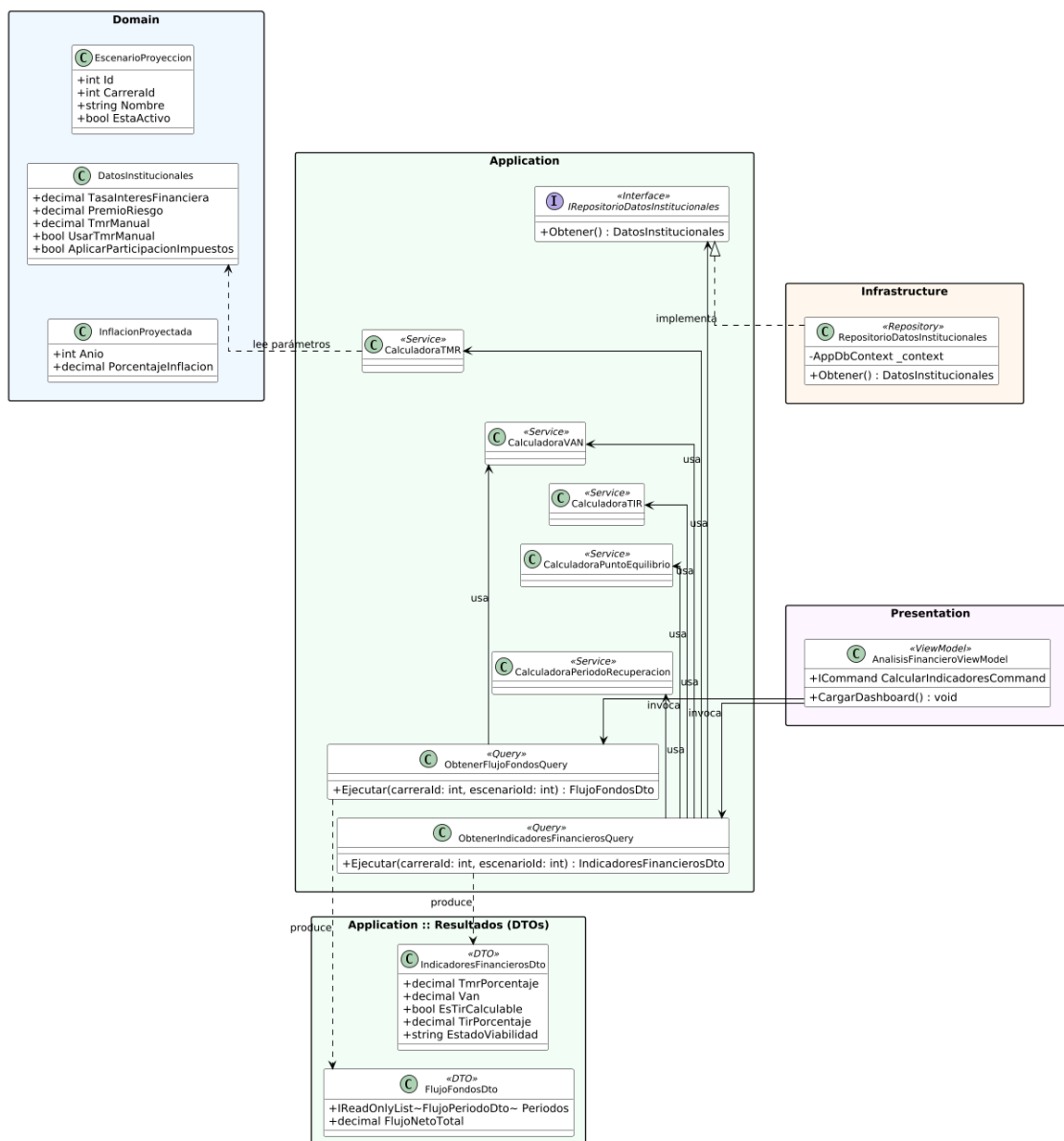


Figura A16.

DC-04.2 Diagrama de clases de análisis financiero



Anexo B. Diagramas complementarios de secuencia

Figura B1.

Diagrama de secuencia de autenticación y gestión de sesión

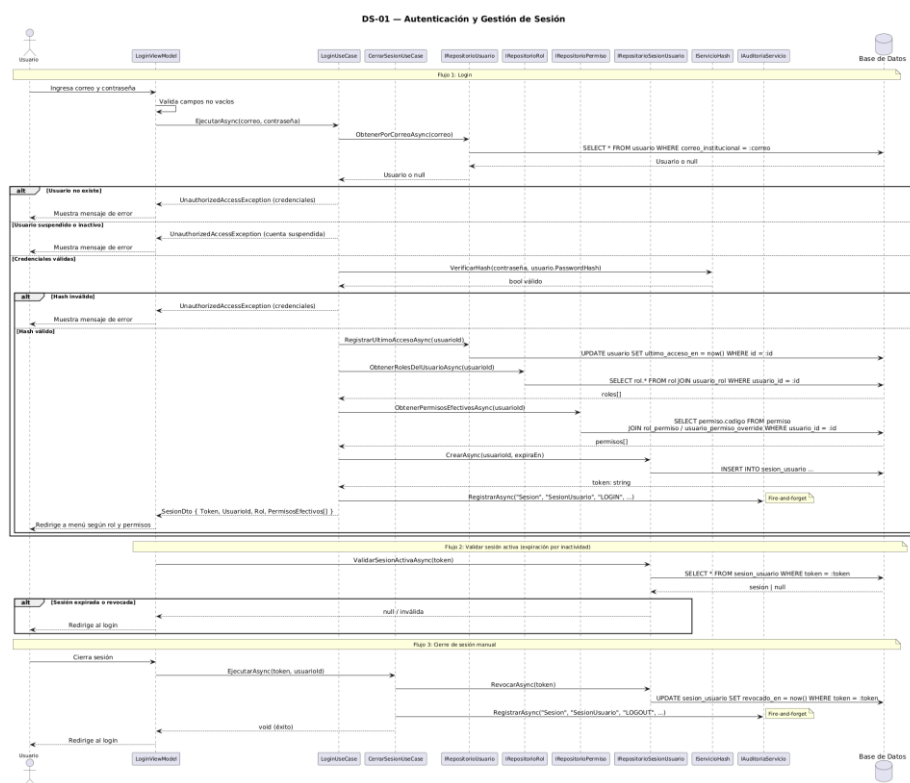


Figura B2.

Diagrama de secuencia de gestión de usuarios y control de acceso por rol

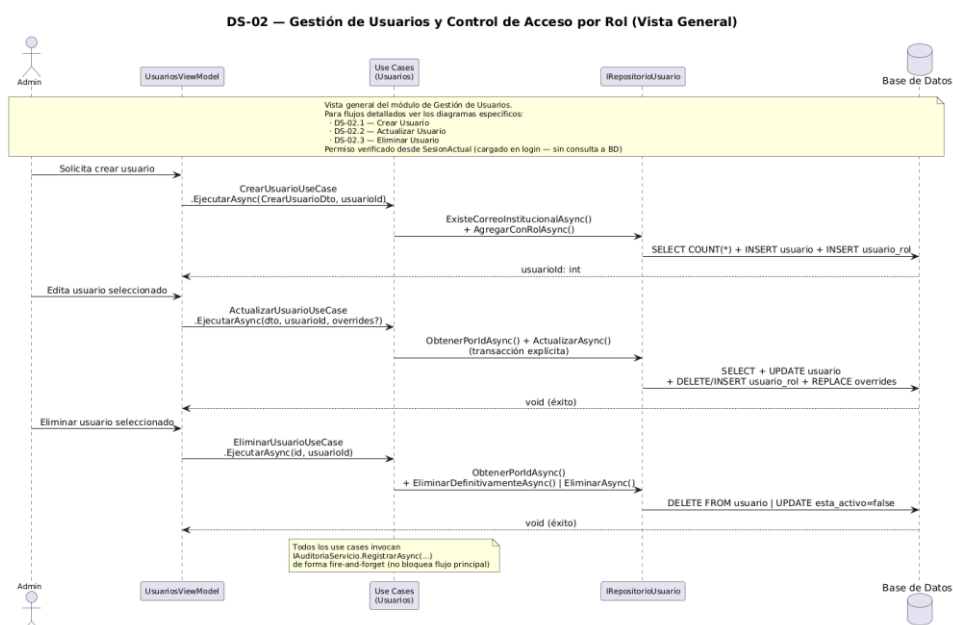


Figura B3.

Diagrama de secuencia para crear usuario

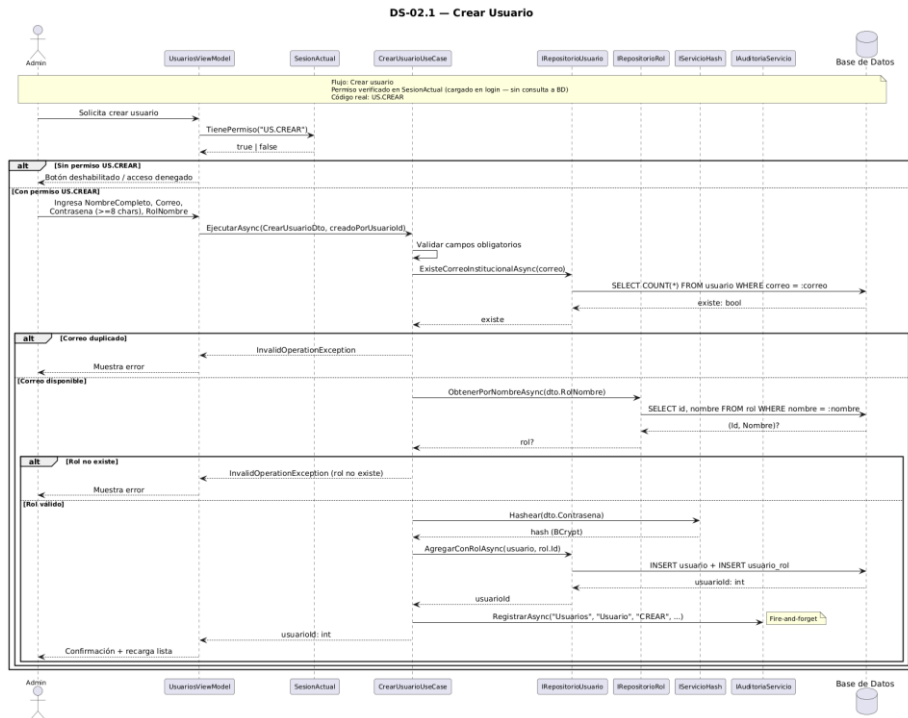


Figura B4.

Diagrama de secuencia para actualizar usuario

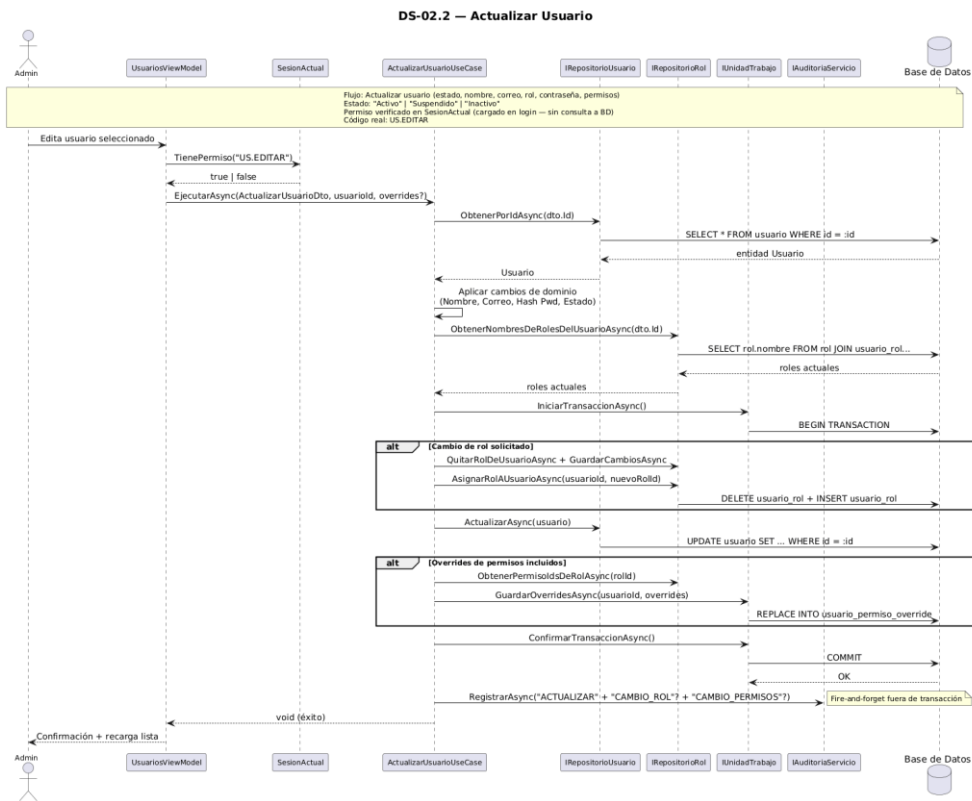


Figura B5.

Diagrama de secuencia para eliminar usuario

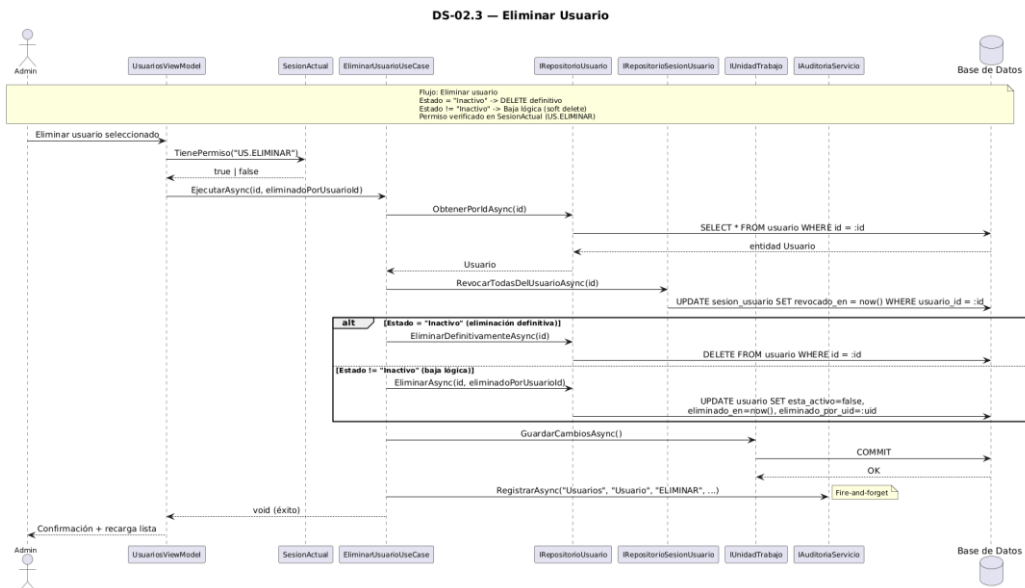


Figura B6.

Diagrama de secuencia de proyección de inflación, vista general

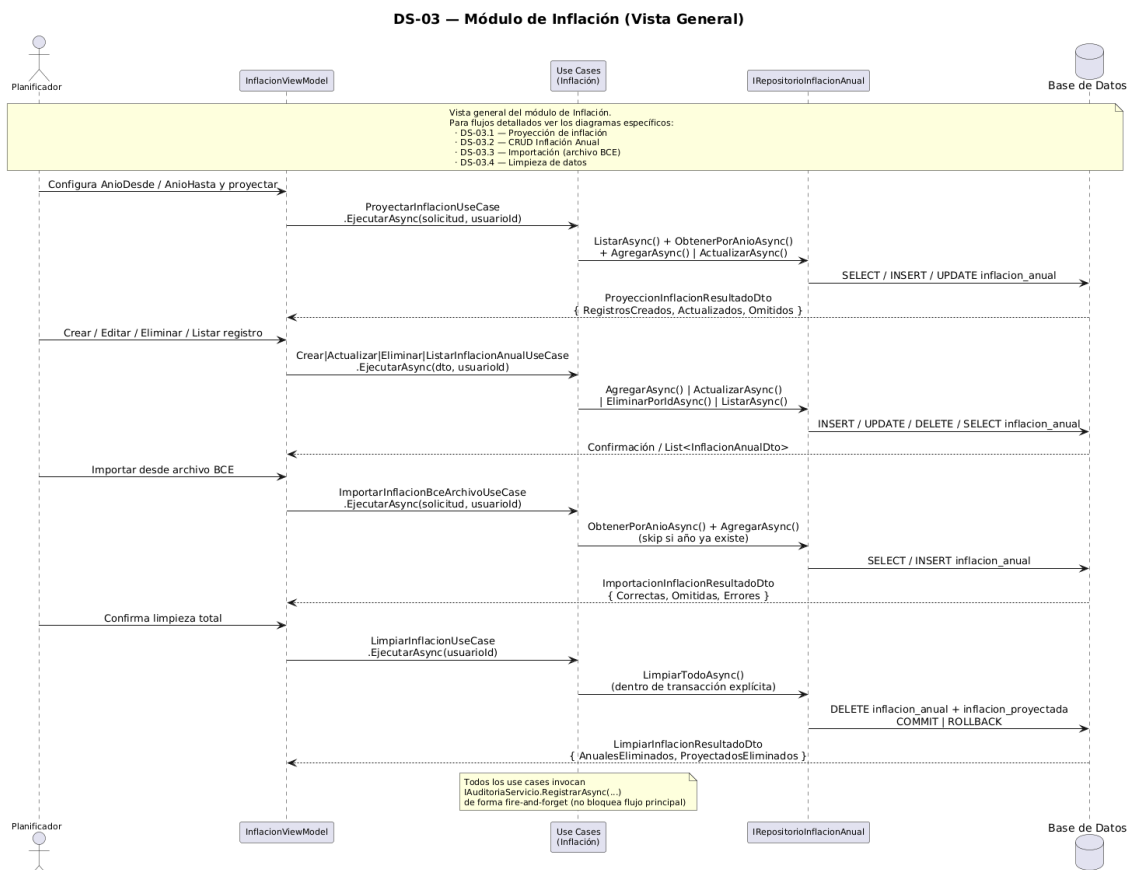


Figura B7.

Diagrama de secuencia de proyección de inflación

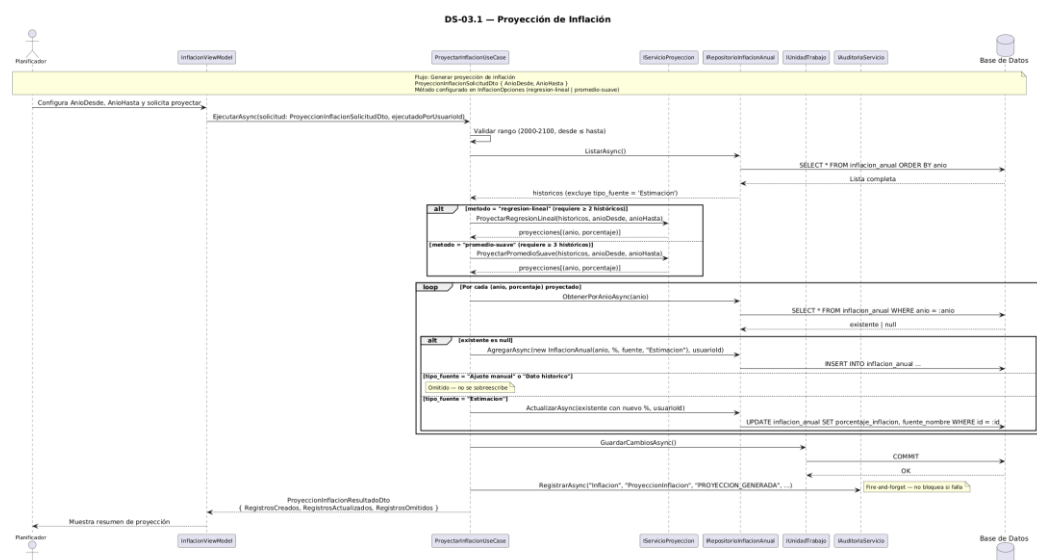


Figura B8.

Diagrama de secuencia de proyección de inflación anual

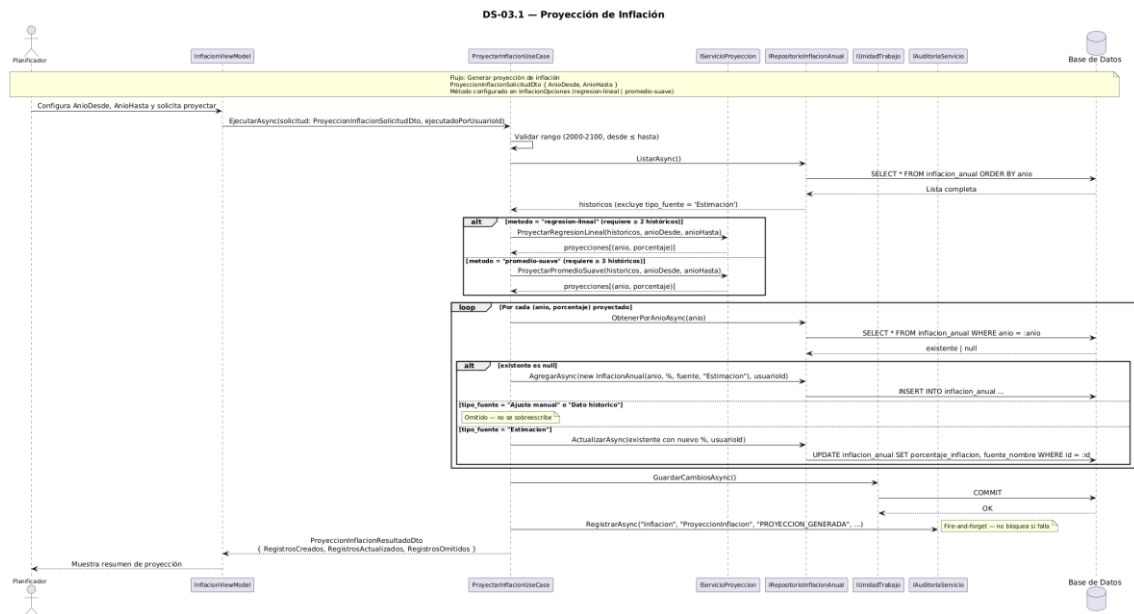


Figura B9.

Diagrama de secuencia CRUD de inflación anual

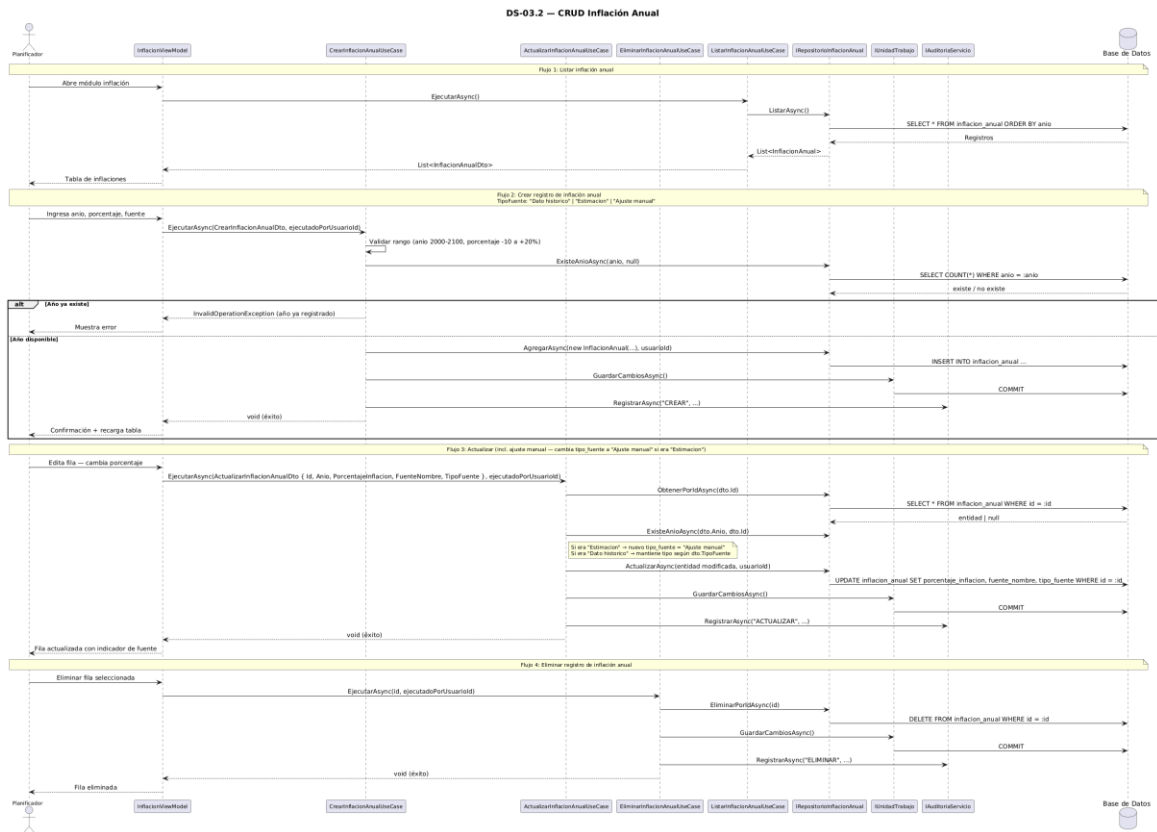


Figura B10.

Diagrama de secuencia de importación de inflación

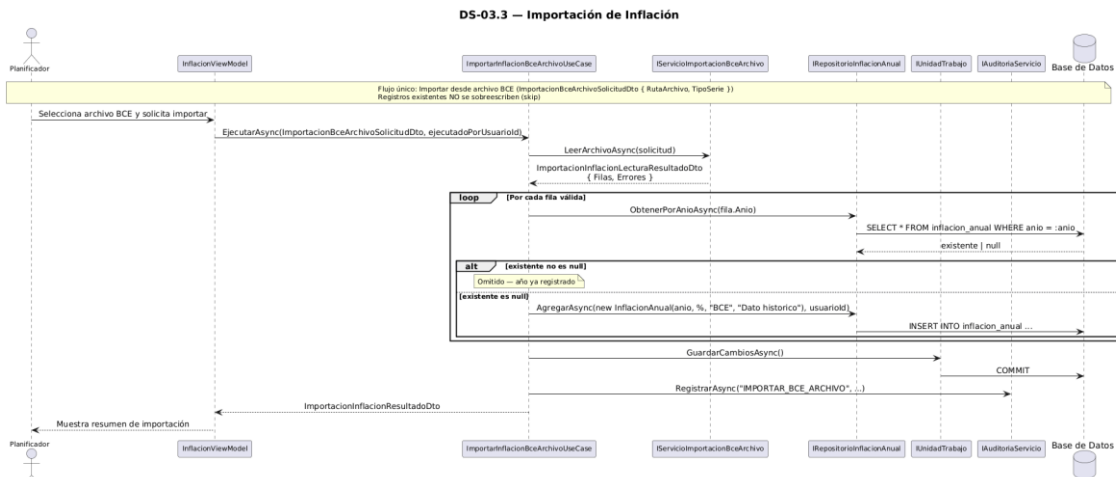


Figura B11.

Diagrama de secuencia de limpieza de inflación

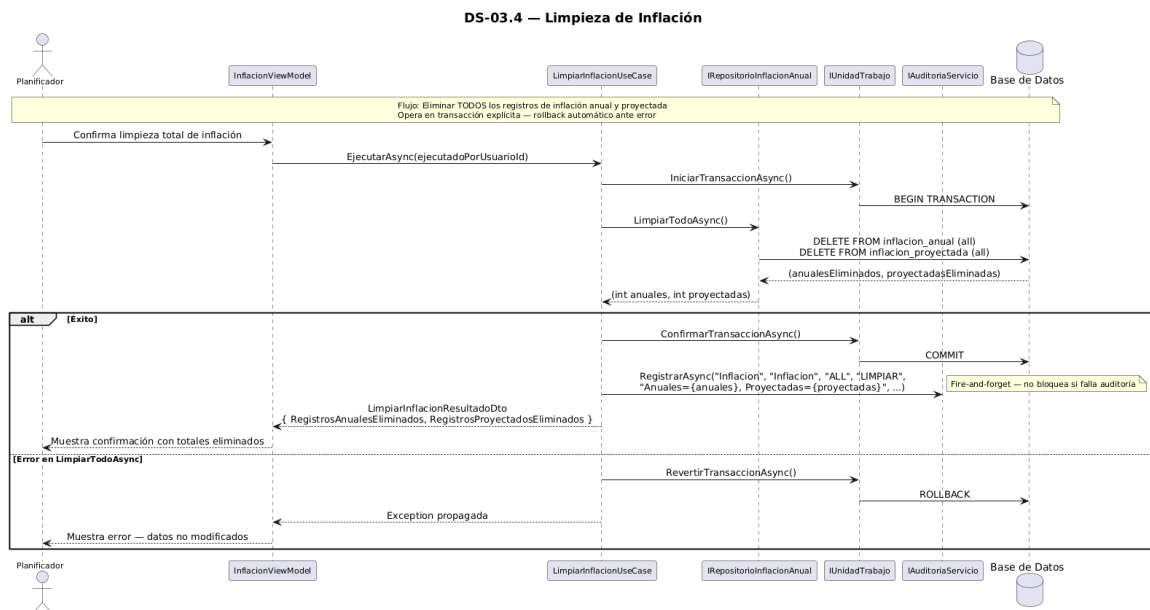


Figura B12.

Diagrama de secuencia de simulación de retención por grupo de usuarios

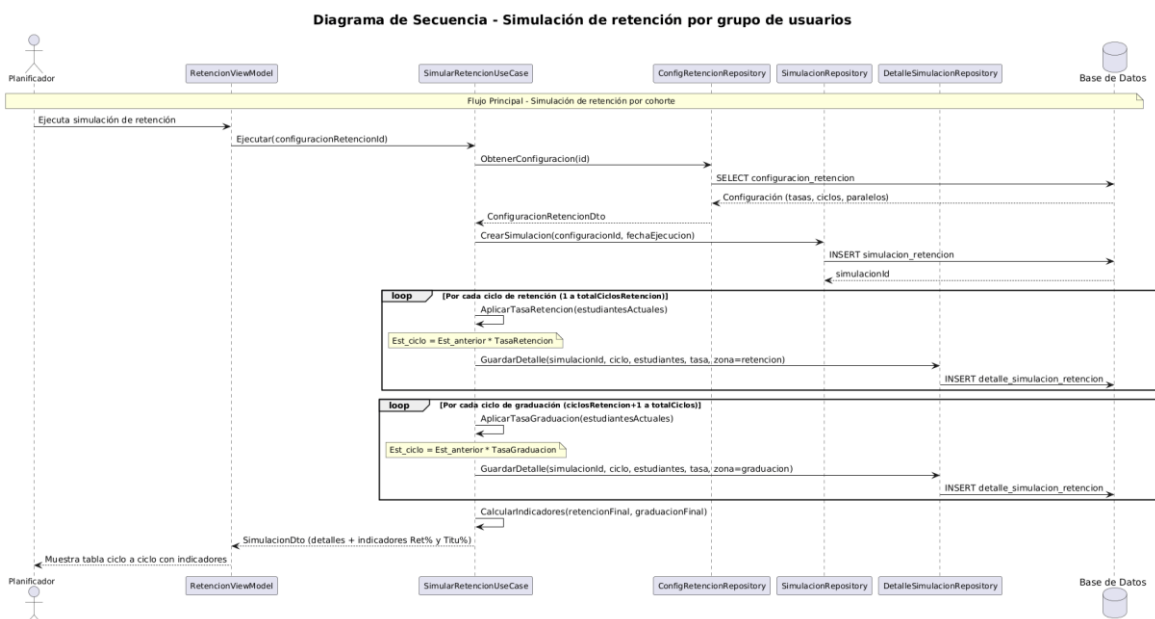


Figura B13.

Diagrama de secuencia de proyección de estudiantes y docentes requeridos

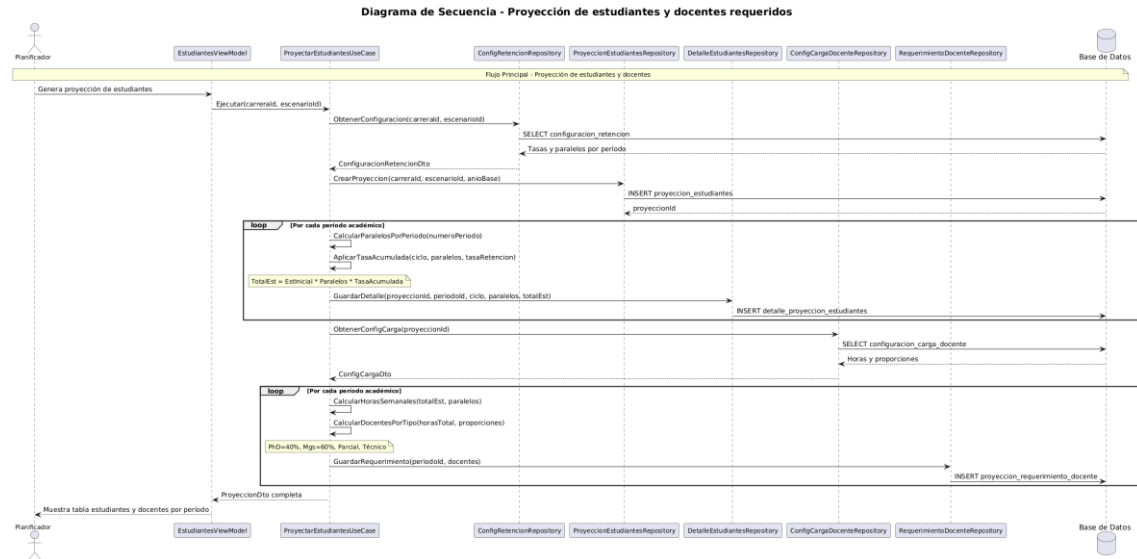
**Figura B14.**

Diagrama de secuencia de cálculo de sueldos con inflación y peso proporcional

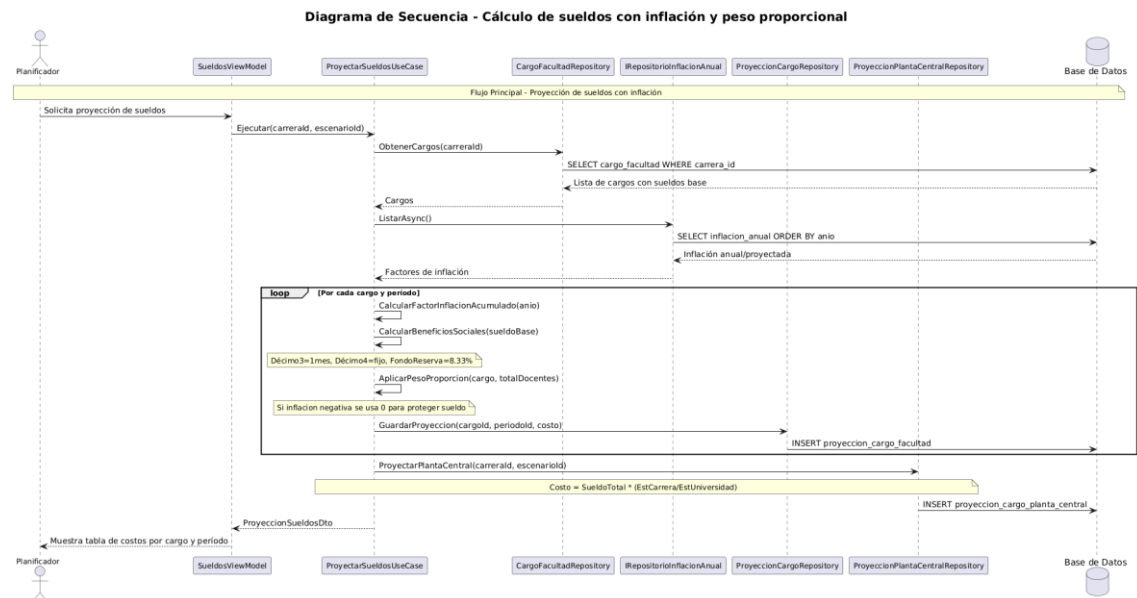
**Figura B15.**

Diagrama de secuencia de registro de activos y cálculo de depreciación semestral

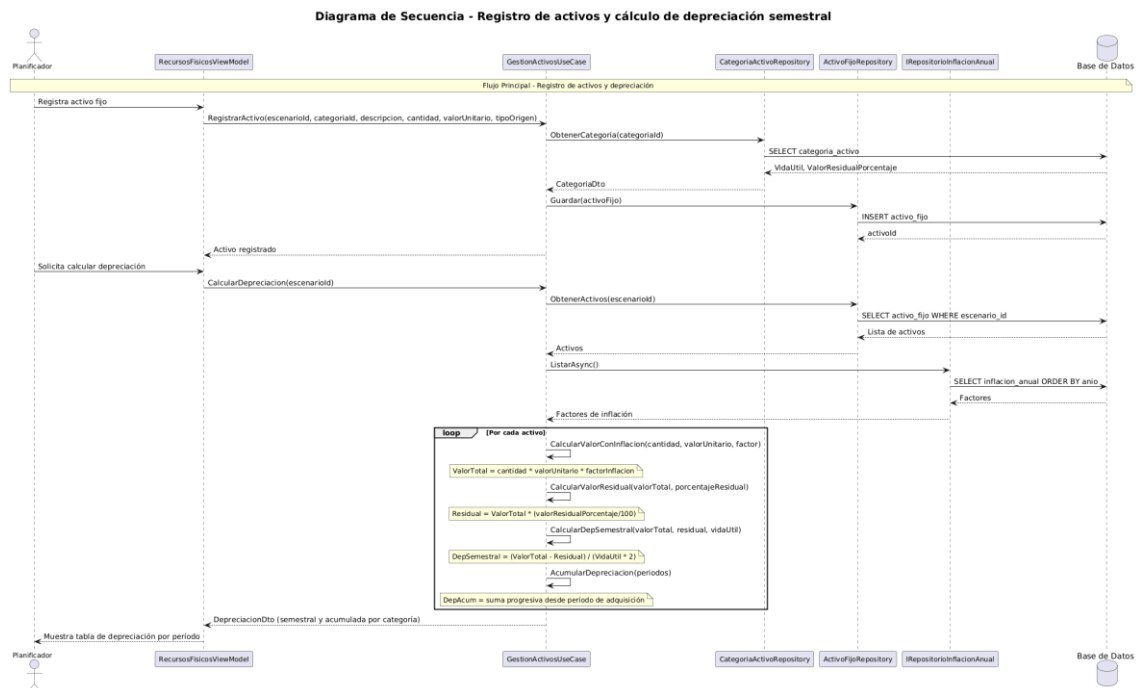


Figura B16.

Diagrama de secuencia de consolidación de costos y gastos por período

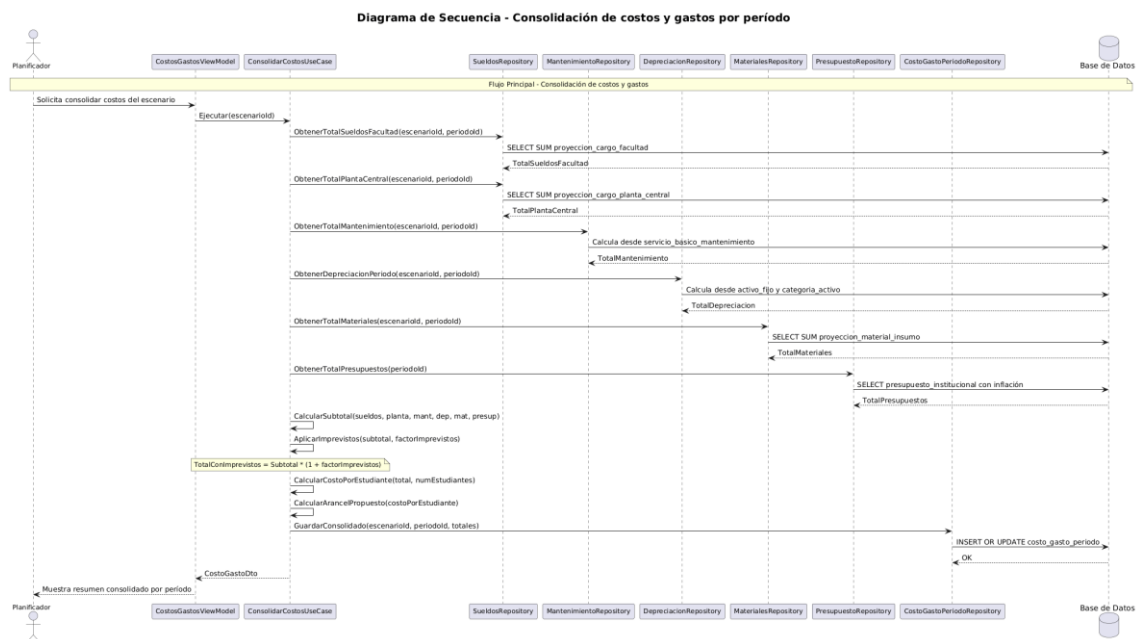
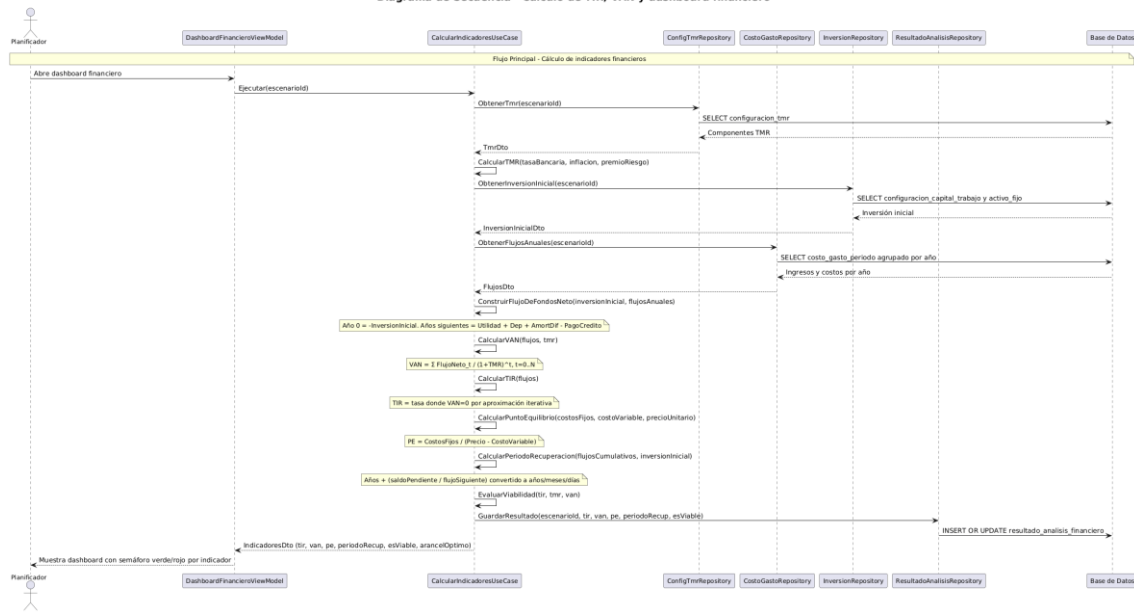


Figura B17.

Diagrama de secuencia de cálculo de TIR, VAN y dashboard financiero

Diagrama de Secuencia - Cálculo de TIR, VAN y dashboard financiero



Anexo C. Capturas complementarias de módulos implementados

Figura C1. Captura complementaria del módulo de Usuarios

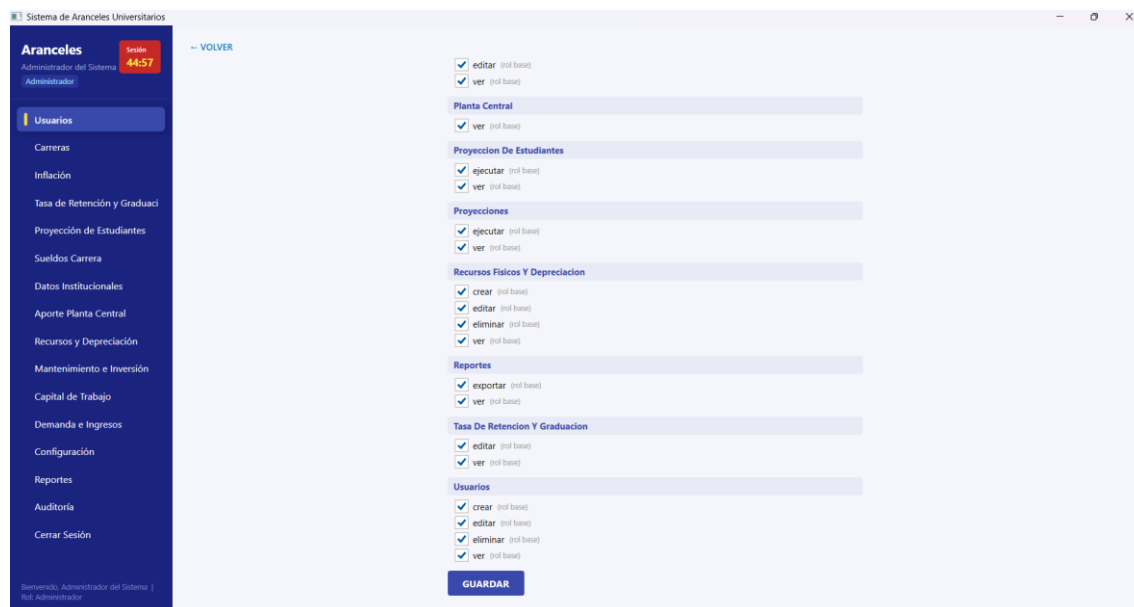


Figura C2. Captura complementaria del módulo de Tasa de Retención

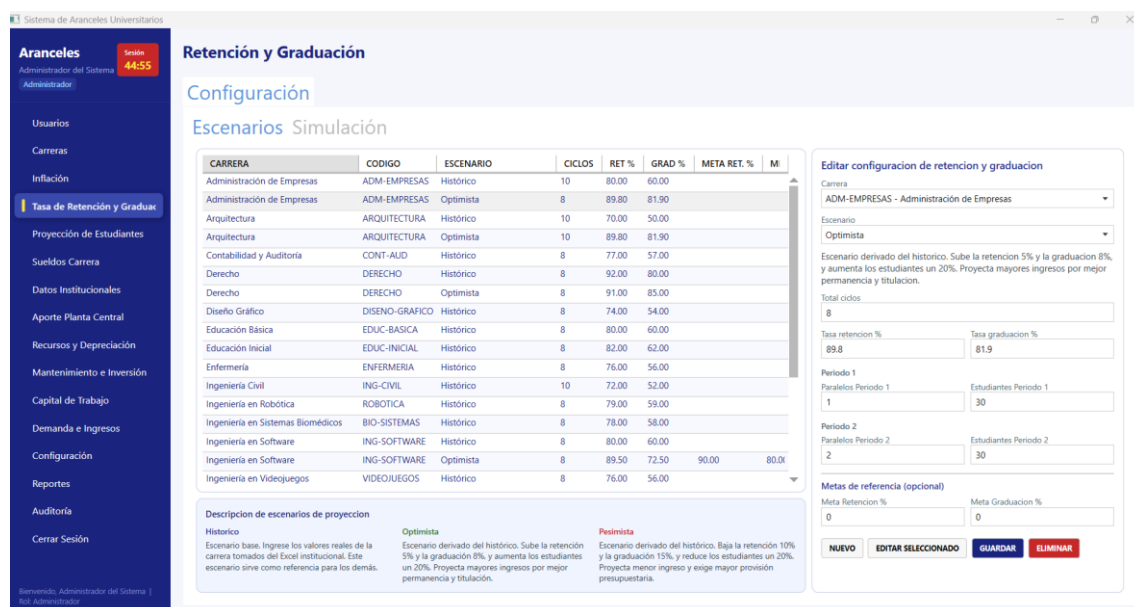


Figura C3. Captura complementaria del módulo de Estudiantes



Figura C4. Captura complementaria del módulo de Demanda e Ingresos

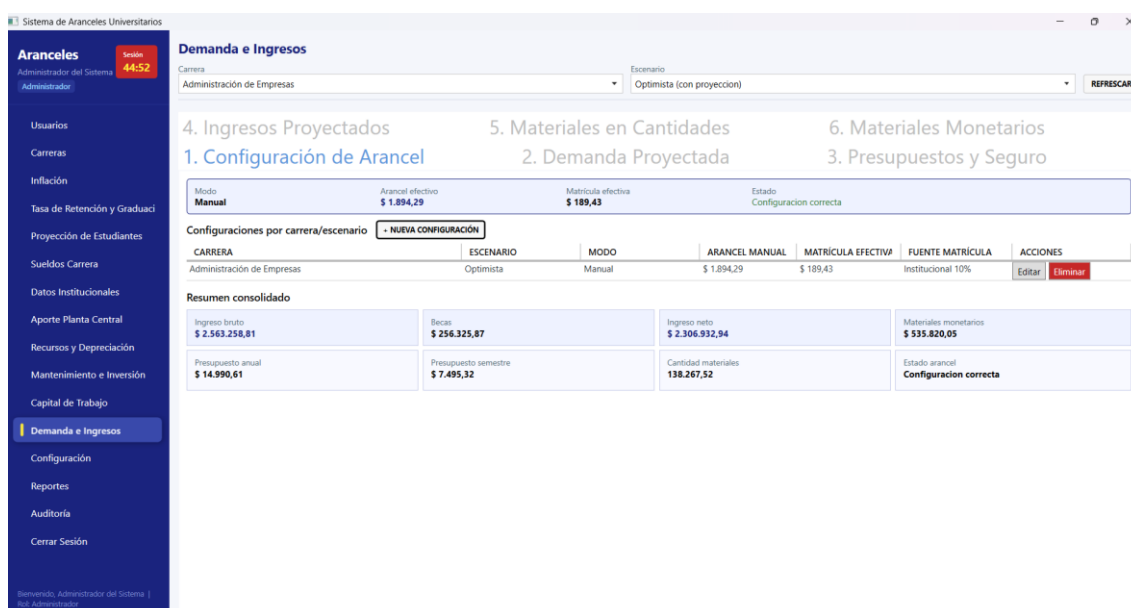


Figura C5. Captura complementaria del módulo de Inflación

Sistema de Aranceles Universitarios

Aranceles Sesión 44:56
Administrador del Sistema
Administrador

Módulo Inflación

Modificar inflación Importar inflación Gráfico inflación

Nuevo registro de inflación

Año: Inflación (%):

Fuente: Tipo:

Estimación:

NUEVO **GUARDAR** **EDITAR SELECCIONADO** **ELIMINAR SELECCIONADO**

Ejemplo: 5.70

AÑO	INFLACIÓN (%)	FUENTE	TIPO
2011	5.41	BCE	Dato historico
2012	4.16	BCE	Dato historico
2013	2.70	BCE	Dato historico
2014	3.67	BCE	Dato historico
2015	3.38	BCE	Dato historico
2016	1.12	BCE	Dato historico
2017	-0.20	BCE	Dato historico
2018	0.27	BCE	Dato historico
2019	-0.07	BCE	Dato historico
2020	-0.93	BCE	Dato historico
2021	1.94	BCE	Dato historico
2022	3.74	BCE	Dato historico
2023	1.35	BCE	Dato historico
2024	0.53	BCE	Dato historico
2025	1.91	BCE	Dato historico
2026	1.55	Proyeccion promedio suave	Estimacion
2027	1.33	Proyeccion promedio suave	Estimacion

Resumen: Administrador del Sistema | Rol: Administrador

Figura C6. Captura complementaria del módulo de Sueldos y Planta Central

Sistema de Aranceles Universitarios

Aranceles Sesión 44:22
Administrador del Sistema
Administrador

Sueldos

Vista autogenerada por carrera, escenario y periodo. Datos: Capital de Trabajo + Proyección de Estudiantes + Inflación.

Carrera: Administración de Empresas Escenario: Histórico Período: 2016-P1: Abr 2016 Estudiantes UA: 285

GENERAR / RECALCULAR **RECARGAR DATOS**

Resumen Sueldos Personal

Carrera: Administración de Empresas - 10 periodos - 15 cargos

PESO	Nº	PERSONAL	P1-2016	P2-2016	P3-2017	P4-2017	P5-2018	P6-2018	P7-2019	P8-2019
0.3662	1.00	Decano	2,030.31	6,312.50	4,566.55	9,148.71	5,978.63	10,682.61	6,707.09	11,260.91
0.3662	1.00	Subdecano	1,510.84	4,697.40	3,396.16	6,807.94	4,448.95	7,949.38	4,991.03	8,379.72
1.0000	1.00	Director de Carrera	17,646.36	17,844.00	17,808.88	17,808.88	17,856.28	17,856.28	17,844.67	17,844.67
0.3662	1.00	Secretario	534.23	1,661.00	1,201.59	2,407.30	1,573.16	2,810.91	1,764.83	2,963.08
0.3662	1.00	Auxiliar de Secretaria	456.31	1,418.74	1,026.34	2,056.18	1,343.69	2,400.91	1,507.42	2,530.88
0.3662	1.00	Coordinador	482.29	1,499.49	1,084.75	2,173.20	1,420.18	2,537.57	1,593.22	2,674.94
0.3662	1.00	Bienestar Estudiantil	482.29	1,499.49	1,084.75	2,173.20	1,420.18	2,537.57	1,593.22	2,674.94
1.0000	6.00	Tiempo Completo PhD	0.00	22,648.44	45,207.96	45,207.96	67,992.15	90,656.20	90,597.20	113,246.50
1.0000	9.00	Tiempo Completo Mgs.	14,478.84	29,282.04	29,224.40	58,448.80	58,604.20	87,906.30	102,490.08	117,131.52
1.0000	0.00	Medio Tiempo	0.00	0.00	0.00	7,419.60	7,439.38	0.00	0.00	0.00
1.0000	7.00	Ocasional Tipo 2 (Técnico Docente)	10,915.38	11,037.60	22,031.76	22,031.76	33,135.75	33,135.75	44,152.24	55,190.30
0.3662	1.00	Bibliotecario	430.34	1,337.99	967.91	1,939.12	1,267.21	2,264.25	1,421.61	2,386.83
0.3662	2.00	Auxiliar de Servicio	497.05	1,545.38	1,117.94	2,239.71	1,463.63	2,615.21	1,642.00	2,756.85
0.3662	1.00	Guardia	352.42	1,095.72	792.65	1,588.01	1,037.76	1,854.26	1,164.19	1,954.63
1.0000	1.00	Docente Tiempo Parcial	0.00	2,621.03	2,615.88	2,615.88	2,622.84	2,622.84	2,621.12	0.00
TOTAL			49,816.66	104,500.82	132,129.52	184,066.25	207,603.99	267,830.04	280,089.92	340,995.77

Total acumulado 5 años (suma todos los periodos + 6 meses)

\$2.311.412,17

Resumen: Administrador del Sistema | Rol: Administrador

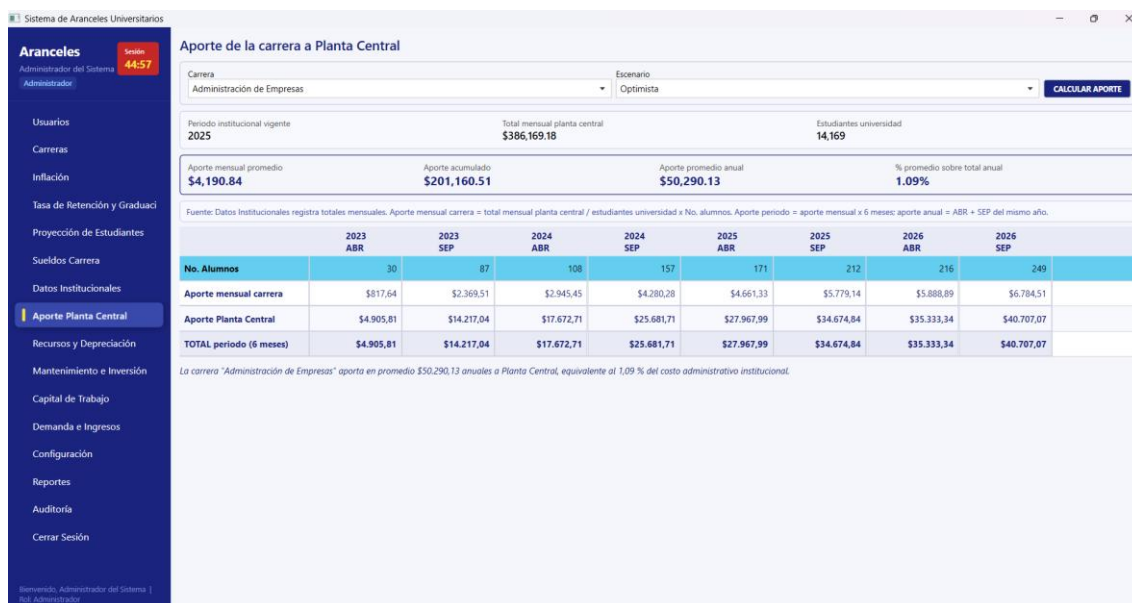
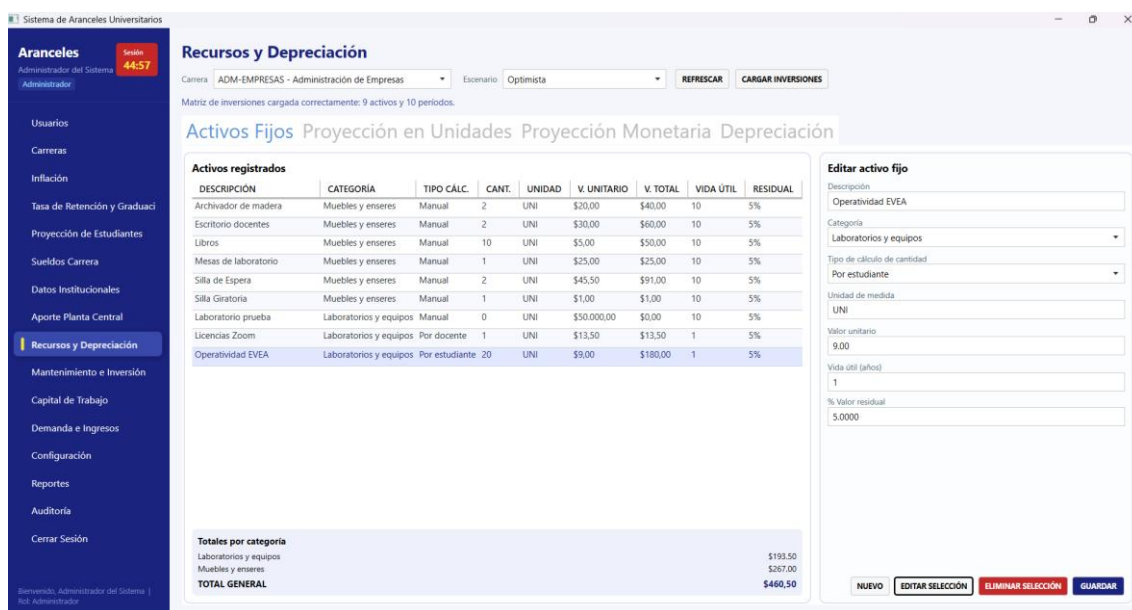


Figura C7. Captura complementaria del módulo de Recursos Físicos y Depreciación



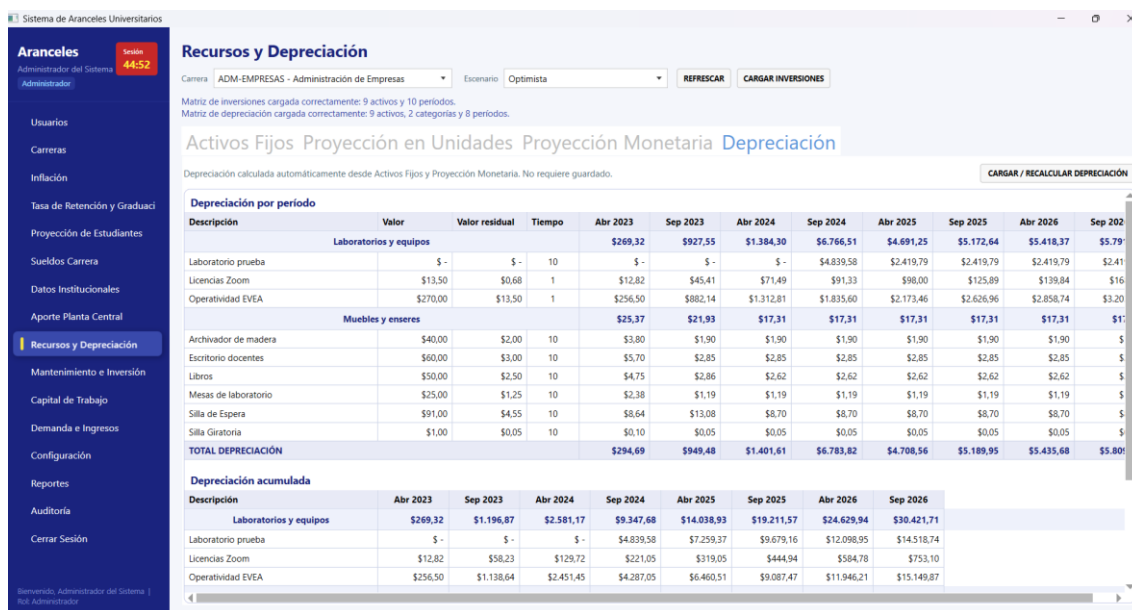
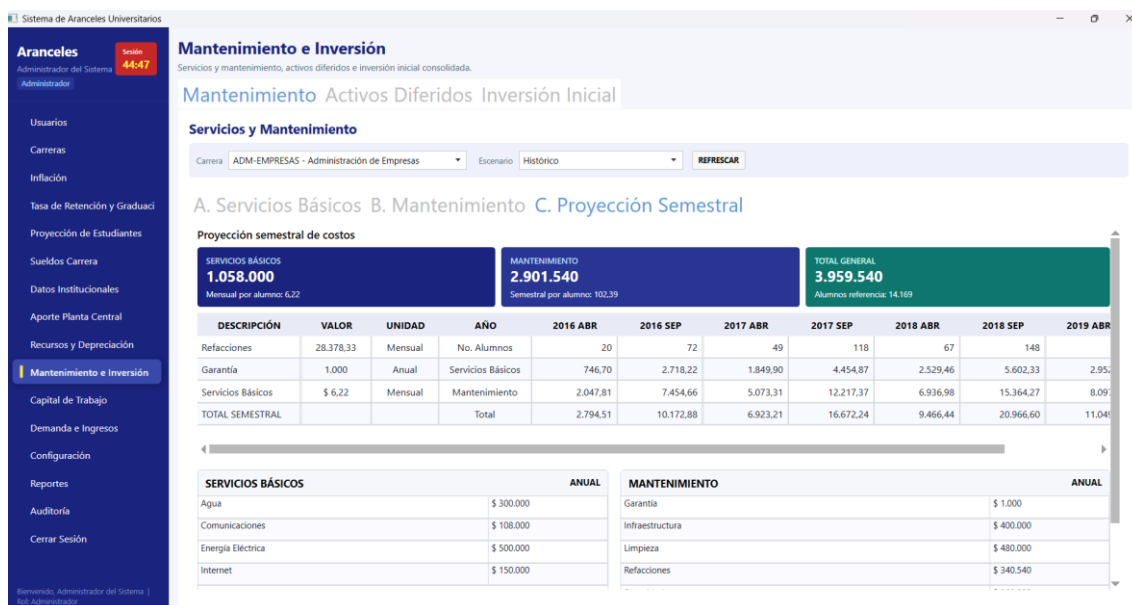


Figura C8. Captura complementaria del módulo de Mantenimiento, Capital de Trabajo e Inversión Inicial



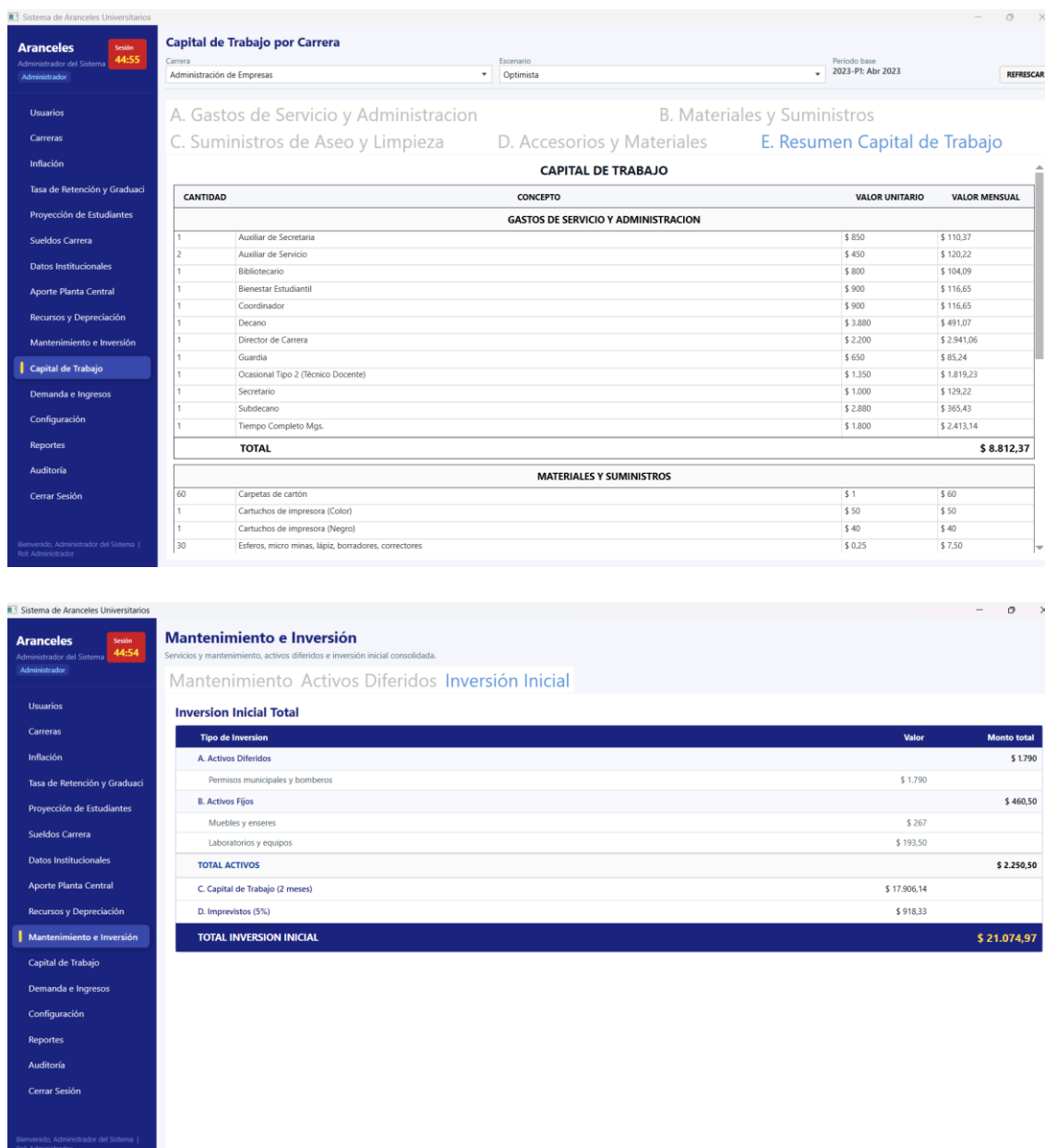


Figura C9. Captura complementaria del módulo de Costos y Gastos

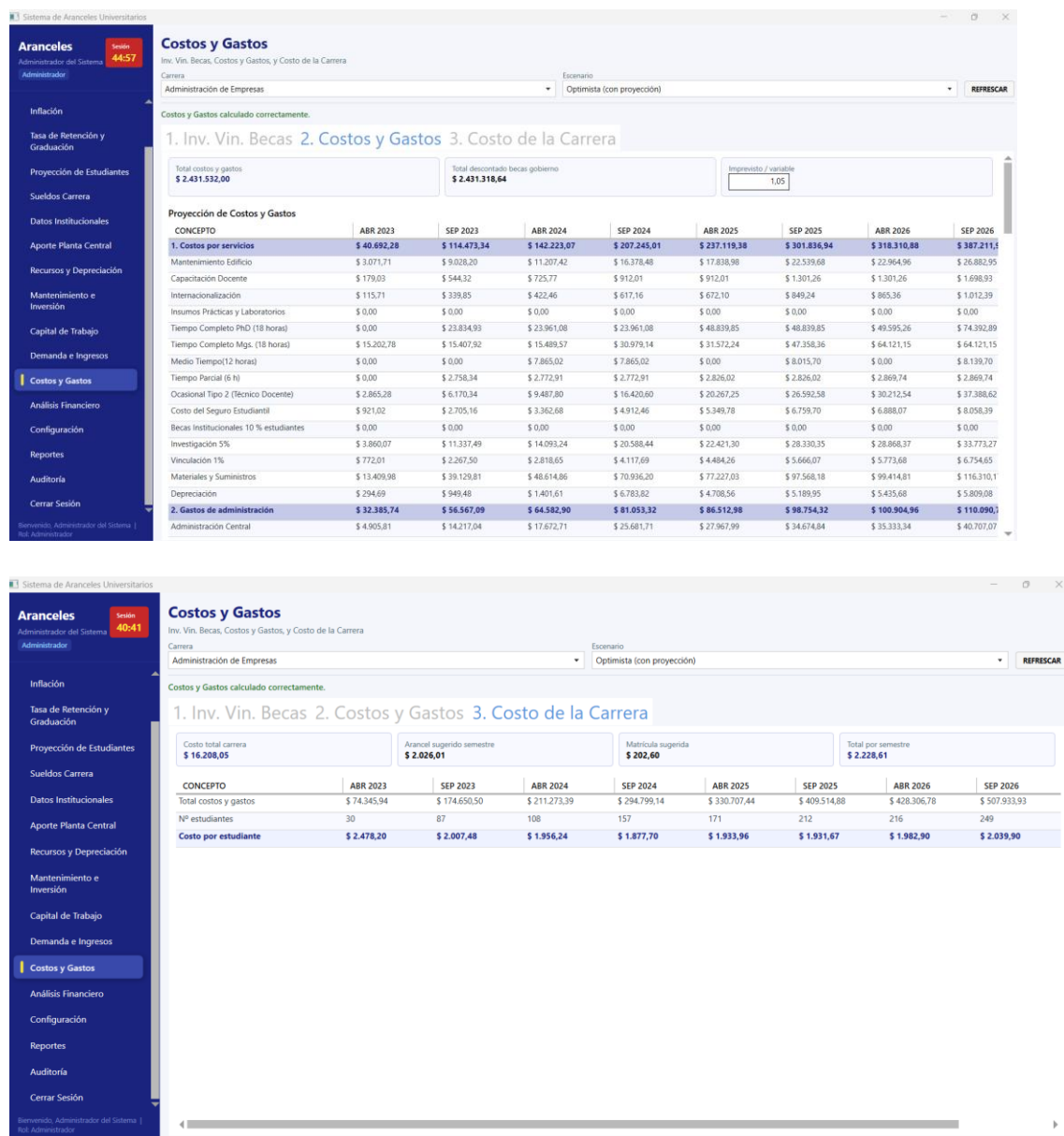


Figura C10. Captura complementaria del módulo de Análisis Financiero

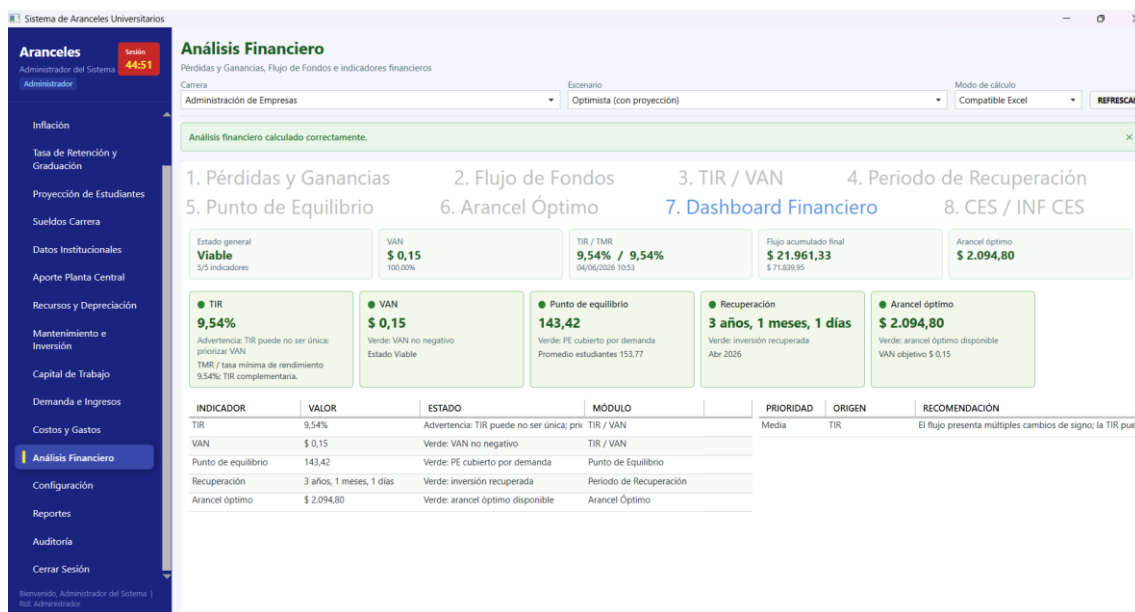
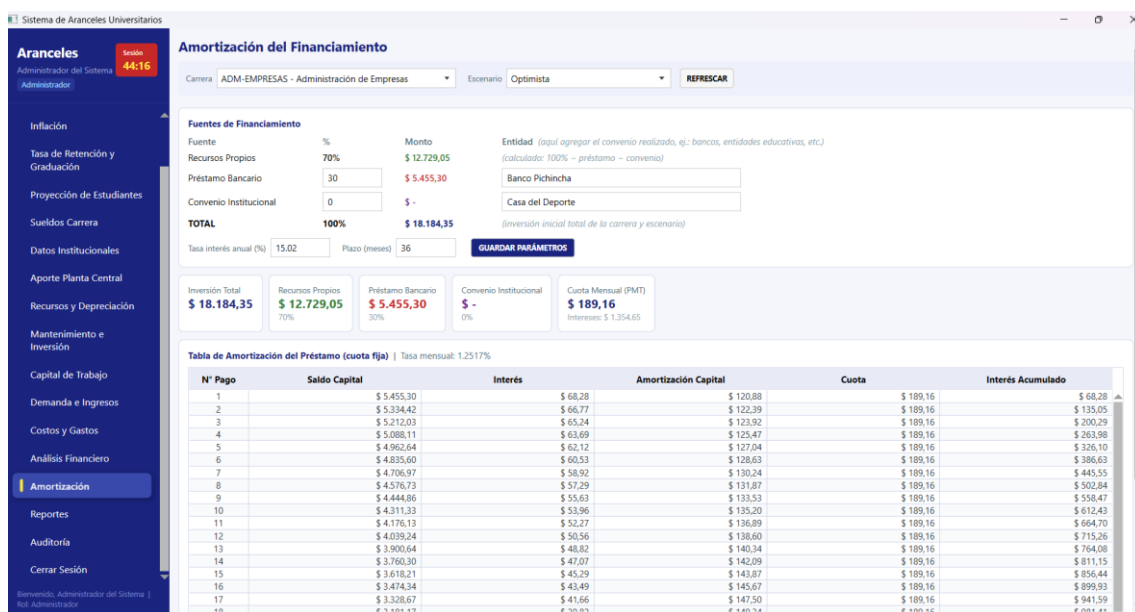


Figura C11. Captura complementaria del módulo de Financiamiento, Balance y Reportes



Sistema de Aranceles Universitarios

Aranceles

Administrador del Sistema

Administrador

Sesión

40:21

Inflación

Tasa de Retención y Graduación

Proyección de Estudiantes

Sueldos Carrera

Datos Institucionales

Aporte Planta Central

Recursos y Depreciación

Mantenimiento e Inversión

Capital de Trabajo

Demanda e Ingresos

Costos y Gastos

Análisis Financiero

Amortización

Reportes

Auditoría

Cerrar Sesión

Recomiendo: Administrador del Sistema | Rol: Administrador

Reportes

Carrera

ADM-EMPRESAS - Administración de Empresas

Escenario

Optimista

REFRESCAR

Dirección / Destinatario

Dirección Financiera

EXPORTAR PDF POR DIRECCIÓN

EXPORTAR XLSX

Reporte CES / INF CES

Reporte Financiero

Reporte de Demanda

Arancel por semestre

\$ 2.026,01

Matrícula

\$ 202,60

Total por semestre

\$ 2.228,61

INF CES — Presupuesto primera cohorte por función sustantiva

Concepto	Provisión	Fomento	Vinculación	Otros	Total	%
Gastos corrientes				\$ 0,00		
Gastos en personal administrativo	\$ 630.852,08				\$ 630.852,08	23,23%
Gastos en personal académico	\$ 778.663,38		\$ 4.894,27	\$ 7.574,59	\$ 791.132,24	29,13%
Bienes y servicios de consumo	\$ 743.610,51				\$ 743.610,51	27,38%
Becas y ayudas financieras	\$ 285.201,75				\$ 285.201,75	10,50%
Otros	\$ 69.530,13	\$ 163.272,53	\$ 32.654,51		\$ 265.457,17	9,77%
Subtotal corrientes					\$ 2.716.253,75	
Inversión	\$ 600,00				\$ 0,00	
Infraestructura	\$ 599.668,19				\$ 600,00	
Equipamiento					\$ 599.668,19	
Bibliotecas					\$ 0,00	
Subtotal inversión					\$ 600.268,19	
TOTAL	\$ 3.108.126,04	\$ 163.272,53	\$ 37.548,78	\$ 7.574,59	\$ 3.316.521,94	
% por función	93,72%	4,92%	1,13%	0,23%	100,00%	

Parámetros de justificación del arancel

Parámetro	Criterio	Valor
Pago al personal académico	Remuneración mensual promedio de profesores a tiempo completo (referencial)	\$ 0,00
Gasto académico / gasto total	Personal académico respecto del gasto total de la carrera	28,66%
Gasto académico / gasto total en personal	Personal académico respecto del gasto total en personal	55,24%
Profesores PhD y Mgs. / total	Relación de profesores con PhD y maestría	100,00%
Gasto investigación / gasto total	Investigación y desarrollo respecto del gasto total	6,01%
Gasto vinculación / gasto total	Vinculación respecto del gasto total	1,20%
Costo de servicio educativo	Comprendido dentro de la matrícula en función del arancel	100,00%
Infraestructura e inversión / gasto total	Gasto en infraestructura y otras inversiones académicas	22,10%
Arancel vigente (semestre)	Arancel cobrado en el último periodo (configurado)	\$ 2.668,31
Matrícula vigente (semestre)	10% del arancel vigente	\$ 266,83

Anexo D. Entrevistas

Entrevista aplicada a Ing. Blazco.

Entrevistado: Ing. Blazco
Cargo institucional: Responsable operativo de la matriz institucional
Entrevistador: Miguel Álvarez
Fecha de aplicación: viernes 7 de mayo de 2026
Modalidad: Entrevista semiestructurada presencial
Duración estimada: 45 a 60 minutos
Objetivo específico al que responde: Objetivo específico 1 — Analizar la estructura funcional y lógica de la matriz institucional de cálculo de aranceles.

Objetivo de la entrevista

Obtener del responsable institucional del uso operativo de la matriz de cálculo de aranceles información sobre las dificultades encontradas en el proceso actual, los elementos del modelo susceptibles de mejora en una solución automatizada, los errores recurrentes detectados durante su uso, y las expectativas funcionales respecto al prototipo desarrollado en el presente proyecto.

Eje 1. Contexto del uso actual de la matriz

¿Desde hace cuánto tiempo utiliza usted la matriz Excel de cálculo de aranceles en el contexto institucional?

Desde hace 6 a 7 años

¿Con qué frecuencia se emplea la matriz durante el año académico, y en qué momentos del ciclo institucional se hace un uso más intensivo?

No tenemos definido un tiempo pero si se utiliza para cada diseño de carrera se utiliza , aveces 10 veces al año.

¿Qué personas o direcciones intervienen actualmente en el proceso de cálculo y aprobación del arancel de una nueva carrera?

La dirección financiera , y nosotros que le damos el uso de la matriz , bueno la información siempre viene de las facultades y la dirección financiera establece el arancel

¿Podría describir paso a paso el flujo de trabajo que sigue actualmente para calcular el arancel de una carrera nueva, desde que recibe el pedido hasta que entrega el resultado final?

Siempre solicitan la facultad , la facultad propone la carrera , y ellos nos dan los insumos de matriz , horas de la malla , lo que son número de alumnos , el apartado instudiantil , inversiones requeridas , los datos que varían , los otros datos no varían.

Eje 2. Dificultades operativas identificadas

¿Cuáles son las principales dificultades que enfrenta al trabajar con la matriz en su estado actual?

Quizá que , que es muy rígida , no permite algunas variaciones entre carreras , quiero decir es que , hay particularidades de una carrera que no pueda considerar una matriz , referido a costos , en temas de docentes

¿Ha identificado errores frecuentes al manipular las fórmulas o las referencias entre hojas?

¿Podría darme ejemplos concretos?

No

¿Qué hojas de la matriz le resultan más difíciles de manejar o interpretar, y por qué?

La hoja de punto de equilibrio , por las formulas , no termina de comprender por que se da un punto de equilibrio , para mi que hay una incongruencia , el punto de equilibrio , es el resultado que yo mismo pongo , yo se que es un promedio , realmente no se debería llamar punto de equilibrio , no se hace difícil manejarla pero no comprendo bien

¿Ha enfrentado situaciones en las que la matriz haya producido resultados que posteriormente resultaron ser incorrectos? ¿Cómo se detectaron esos errores?

No incorrectos , pero si infecientes , por que es muy rigida , por que hay ciertas consideraciones de la carrera , nos da un arancel el cual no es exacto , no es óptimo o eficiente

¿Cuánto tiempo le toma aproximadamente completar el cálculo de aranceles para una carrera nueva utilizando la matriz actual?

Lleva unos 20 a 30 minutos

¿Qué tan difícil es obtener información actualizada de los distintos departamentos de la universidad para alimentar la matriz?

Ahoritas es dificl obtener la tasa de retención y graduación

Por ejemplo, ¿con qué facilidad accede al presupuesto institucional, a los montos destinados a publicidad y promoción, y a la planilla de sueldos del personal? ¿Con qué frecuencia esa información llega desactualizada o incompleta al momento de hacer el cálculo?

Con bastante facilidad, llega no muy desactualizada al momento de hacer el cálculo

Eje 3. Elementos del modelo susceptibles de mejora

¿Qué elementos del modelo considera que deberían modificarse o mejorarse en una solución automatizada?

Podria ser el punto de equilibrio , y también que permita el cálculo de los técnicos docentes y docentes que permitan una flexibilidad , de acuerdo a las características , yo pongo las horas y muestra las horas , pero hay casos en los que eso no aplica para todas las carreras

¿Hay parámetros que actualmente se ingresan de forma manual y que usted considera que deberían obtenerse de forma automática?

Hay bastantes , el número de alumnos de la facultad se puede obtener de otra parte, el mismo presupuesto o datos del presupuesto se pueden obtener , eso solo se obtien una vez al año , el número de alumnos varian dos veces al año , igual los temas de la inflación , y el tema de la tasa activa

¿Qué validaciones o controles considera que la herramienta actual no realiza y que deberían incorporarse al prototipo?

Si debería considerar el tema de la infraesrutura , solo se pone el que esta en el prespuesto pero no se considera por ejemplo , cual es el costo de utilizar las aulas , los laboratorios , el evea , el erp , la tecnología ditial , yo creería que esa partecita si se debería cuantificar

Eje 4. Criterios de validación de resultados

¿Qué criterios utiliza usted para verificar que los resultados generados por la matriz son consistentes y correctos?

Siempre nos referimos a costos y arancel que es el resultado final , y a costos y aranceles finales y siempre validamos con la dirección financiera que tenga coherencia los resultados

¿Compara los resultados con alguna referencia externa o con cálculos anteriores? ¿Cómo lo hace?

Igual que arriba

¿Cuáles son los indicadores que considera más críticos para validar que una carrera es financieramente viable?

Que se cumpla la demanda estudiantil

¿Qué tolerancia o margen de error considera aceptable en los resultados del cálculo de aranceles?

10% de error

Eje 5. Expectativas respecto al prototipo

¿Qué funcionalidades considera imprescindibles en el prototipo para que resulte útil en el trabajo institucional cotidiano?

Mas bien que nos facilite los datos alimentados esten actualizados para poder confiar , para poder manejarlos , en el Excel se pueden manejar , pero en el momento que esten en un software no se pueden manejar

¿Qué tipo de usuarios imagina que usarían el sistema y con qué nivel de permisos?

Deberia haber el que maneja ese datos , el tema de los financieros , los cuales serian los administradores y nosotros quienes vamos a utilizar eso los analistas , nosotros si tenemos que poder ver los datos , y ver los errores de campos

¿Qué reportes específicos necesitaría obtener del prototipo para facilitar su trabajo diario?

Ya cuando se termine , aparte del arancel otro reporte seria el que nos indique por ejemplo , los datos que nosotros ingresamos , demanda estudiantil , los datos de la malla , el reporte si me permitiría ver que yo ingrese para lograr ese arancel

¿Hay alguna funcionalidad de la matriz actual que considera que debería conservarse tal como está?

Si , aun estamos utilizando tal como estará ahorita , la pagina que nos da el valor del arancel , ósea se tendría que conservar.



Universidad
Católica
de Cuenca

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Luis Miguel Alvarez Castillo portador de la cédula de ciudadanía N° 1150040812. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Desarrollo de un aplicativo para automatizar el cálculo de aranceles de carreras universitarias” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 27 de julio de 2026

F: 

Luis Miguel Alvarez Castillo

C.I. 1150040812