

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE COMPUTACIÓN

Tema: “Sistema matemático – computacional en la evacuación de personal vulnerable ante una emergencia de erupción volcánica severa”

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingeniero en Ciencias de la Computación

AUTOR: Narváez Quendi Jefferson Iván

TUTOR: Ing. Fernández Fernández Yasmany, MSc.

Tulcán, 2025.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que el estudiante(s) Narváez Quendi Jefferson Iván con el número de cédula 0450047758 respectivamente ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Sistema matemático – computacional en la evacuación de personal vulnerable ante una emergencia de erupción volcánica severa"

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva

Ing. Fernández Fernández Yasmany, MSc.

TUTOR

Tulcán, enero de 2025

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en la Carrera de computación de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Narváez Quendi Jefferson Iván con cédula de identidad número 0450057748 respectivamente declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



Narváez Quendi Jefferson Iván

AUTOR

Tulcán, enero de 2025

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Narváez Quendi Jefferson Iván, declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Sistema matemático – computacional en la evacuación de personal vulnerable ante una emergencia de erupción volcánica severa" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Narváez Quendi Jefferson Iván

AUTOR

Tulcán, enero de 2025

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo agradecer a Dios, fuente de vida y esperanza, por darme salud sabiduría y la oportunidad de llevar a cabo este trabajo. A mi Madre, quien con su amor incondicional, dedicación y sacrificio ha sido mi mejor bendición en este proceso. Gracias por estar siempre a mi lado, este logro es tanto tuyo como mío, porque todo lo que soy y lo que he conseguido te lo debo a ti.

Agradezco de manera inconmensurable a mis hermanos, Mayerli, Don Shtalin y amigos, quienes a su manera, con palabras de aliento, compañía y confianza, han sido una fuente inagotable de motivación durante todo este camino.

A mis docentes, quienes con su compromiso y dedicación me han transmitido no solo conocimientos, sino también valores y herramientas esenciales para mi desarrollo profesional y personal. De manera especial, expreso mi más profundo agradecimiento a mi tutor, MSc. Yasmany Fernández, por su guía, paciencia y orientación a lo largo de esta investigación. Su compromiso y apoyo fueron fundamentales para dar forma a este proyecto y superar cada obstáculo que surgió en el camino. Finalmente, a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y la Carrera de Computación, por permitirme haber sido parte de tan prestigiosa institución.

A todos ustedes mi gratitud eterna por haber formado parte de este proceso. Sus palabras, consejos y ejemplo han dejado una huella imborrable en este logro.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Lus. A ti, que con tu amor incondicional y esfuerzo incansable me has enseñado que no hay meta imposible cuando se lucha con el corazón. Gracias por tus palabras de aliento en los días más difíciles, por la confianza que depositaste en mí. Este trabajo es un reflejo de lo que me has inspirado a ser. Cada página está impregnada de tu apoyo, porque este logro no sería posible sin todo lo que hiciste por mí.

A Mayerli, no encuentro palabras para expresar mi agradecimiento por todo lo que has hecho por mí en este proyecto, a ti quien con su amor y paciencia me ha acompañado en este largo camino. Gracias por tu comprensión en los momentos en los que ni yo mismo me soportaba, por tus palabras de ánimo cuando más las necesitaba y por creer en mi incluso cuando yo dudaba. Tu compañía ha sido mi refugio, tu sonrisa mi mayor motivación, tu esperanza y fe en mis sueños una de las razones por las que he llegado hasta aquí. Este logro también es tuyo, porque en cada esfuerzo que hice te llevé conmigo en mi corazón.

A mis hermanos, Matias y Stiven, quienes siempre han estado a mi lado como mis primeros amigos, cada consejo, cada muestra de cariño me han dado la energía necesaria para superar los retos que se imponían en mi camino. Su ejemplo y confianza han sido en mí una fuente constante de motivación, y por ello, este trabajo es también para ustedes.

A mi grupo de amigos de la universidad, Yon, Stiven, Paul, David, Saúl, con quienes compartí tanto esfuerzo, desvelos y aprendizajes. Gracias por las risas, los planes inesperados y las experiencias creadas, hicieron de este proceso algo más que un desafío académico, convirtiéndolos en memorias inolvidables. Su amistad ha sido un regalo invaluable en esta etapa de mi vida.

A todos ustedes, dedico este trabajo de todo corazón, con la certeza de que cada uno de ustedes es parte esencial de este logro.

ÍNDICE

RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
I. EL PROBLEMA	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.3. JUSTIFICACIÓN	18
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	21
1.4.1. Objetivo General	21
1.4.2. Objetivos Específicos	22
1.4.3. Preguntas de Investigación	22
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	23
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.2. MARCO TEÓRICO	27
2.2.1. Conceptos sobre erupción volcánica.....	27
2.2.1.1. Volcán Chiles Cerro Negro	27
2.2.1.2. Actividad volcánica.	27
2.2.1.3. Experiencias de erupciones volcánicas.....	28
2.2.2. Modelos matemáticos de decisión.....	28
2.2.2.1. Modelos Deterministas.....	28
2.2.2.2. Modelos no deterministas.....	30
2.2.2.3. Modelos de incertidumbre.....	31
2.2.2.4. Modelos Estocásticos.....	32
2.2.3. Metodologías, plataformas de desarrollo de software y lenguajes de programación.....	33

2.2.3.1. Metodologías	33
2.2.3.2. Sistema de gestión de base de datos NoSQL	33
2.2.3.3. Lenguajes de Programación	34
III. METODOLOGÍA	35
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	35
3.1.1. Enfoque	35
3.1.2. Tipos de investigación	35
3.1.2.1. Investigación exploratoria.....	35
3.1.2.2. Investigación Correlacional	35
3.1.2.3. Investigación Descriptiva	36
3.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.2.1. Demostración de la hipótesis de investigación	36
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	36
3.3.1. Definición de las variables	36
3.3.2. Operacionalización de las variables.....	37
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	38
3.4.1. Métodos teóricos	38
3.4.2. Métodos Prácticos	38
3.4.2.1. Modelación matemática.....	38
3.4.2.2. Análisis de sistemas dinámicos.....	40
3.4.3. Técnicas.....	40
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	43
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1. RESULTADOS	46
4.1.1. Metodología RUP (Rational Unified Process)	46
4.1.1.1. Fase de Inicio.....	46
4.1.1.2. Fase de Elaboración.....	58
4.1.1.3. Fase de Construcción.....	64

4.1.1.4. Fase de Transición.....	76
4.2. DISCUSIÓN	89
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
5.1. CONCLUSIONES	93
5.2. RECOMENDACIONES	95
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
VII. ANEXOS.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre metodologías importantes.....	33
Tabla 2. Comparación entre sistema de gestión de bases de datos NoSQL.....	33
Tabla 3. Comparativa de lenguajes de programación más usados.....	34
Tabla 4. Operacionalización de variables.....	37
Tabla 5. Población.....	44
Tabla 6. CUN Monitorear Actividad Volcánica.....	48
Tabla 7. CUN Emitir Alerta de Emergencia.....	48
Tabla 8. CUN Coordinar Recursos y Personal.....	48
Tabla 9. CUN Realizar Evacuación.....	49
Tabla 10. CUN Habilitar Centros de Refugio.....	49
Tabla 11. Sensibilizar a la Población.....	49
Tabla 12. CUN Proveer Atención Médica.....	49
Tabla 13. Requerimientos Funcionales CU del sistema Ingresar Datos de Simulación.....	58
Tabla 14. Requerimientos funcionales CU del sistema Resolver Simulación.....	58
Tabla 15. Requerimientos funcionales CU del sistema Visualizar Resultados.....	58
Tabla 16. Requerimientos funcionales CU del sistema Guardar y Exportar Simulaciones.....	59
Tabla 17. Requerimientos funcionales CU del sistema Administrar Usuarios.....	59
Tabla 18. Requerimientos funcionales CU del sistema Mostrar Historial y Recuperar Simulaciones.....	60
Tabla 19. Requerimientos funcionales CU del sistema Ajustar Configuraciones del Sistema.....	60
Tabla 20. Requerimientos funcionales CU del sistema Validar y Monitorear Simulaciones.....	60
Tabla 21. Requerimientos no funcionales.....	61
Tabla 22. Caso de uso Autenticarse.....	64
Tabla 23. Caso de uso Ingresar Dato de Simulación.....	64
Tabla 24. Caso de uso Resolver Simulación.....	64
Tabla 25. Caso de uso Visualizar Resultados.....	65
Tabla 26. Caso de uso Guardar simulaciones.....	65
Tabla 27. Caso de uso Administrar Usuarios.....	65
Tabla 28. Caso uso de Exportar Resultados.....	65
Tabla 29. Caso uso de Mostrar Historial y Recuperar Simulaciones.....	66

Tabla 30. Caso de uso Ajustar Configuraciones del Sistema.....	66
Tabla 31. Caso de uso Validar y Monitorear Soluciones.....	66
Tabla 32. Caso de uso Cerrar Sesión.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapa Logística Humanitaria	26
Figura 2. Técnicos del IG-EPN realizando mediciones gravimétricas	27
Figura 3. Ejemplo de método simplex	29
Figura 4. Modelo en dos etapas	39
Figura 5. Red de flujo	40
Figura 6. Modelo esquemático de evacuación	40
Figura 7. Esquema de Metodología y sus fases	41
Figura 8. Software especializado en Python	42
Figura 9. Simulación numérica	43
Figura 10. Actores de negocio.....	47
Figura 11. Trabajadores del negocio.....	47
Figura 12. Casos de uso del negocio	48
Figura 13. Diagrama de Actividad CUN Monitorear Actividad Volcánica.....	50
Figura 14. Diagrama de Objetos CUN Monitorear Actividad Volcánica.....	50
Figura 15. Diagrama de Actividad CUN Emitir Alerta de Emergencia	51
Figura 16. Diagrama de Objetos CUN Emitir Alerta de Emergencia	51
Figura 17. Diagrama de Actividad CUN Coordinar Recursos y Personal	52
Figura 18. Diagrama de Objetos CUN Coordinar Recursos y Personal.....	52
Figura 19. Diagrama de Actividad CUN Realizar Evacuación	53
Figura 20. Diagrama de Objetos CUN Realizar Evacuación	53
Figura 21. Diagrama de Actividad CUN Habilitar Centros de Refugio.....	54
Figura 22. Diagrama de Objetos CUN Habilitar Centros de Refugio	54
Figura 23. Diagrama de Actividad CUN Sensibilizar a la Población	55
Figura 24. Diagrama de Objetos CUN Sensibilizar a la Población	55
Figura 25. Diagrama de Actividad CUN Proveer Atención Médica.....	56
Figura 26. Diagrama de Objetos CUN Proveer Atención Médica	56
Figura 27. Diagrama Caso de Uso de Negocio.....	57
Figura 28. Diagrama de Caso de Uso del Sistema	63
Figura 29. Diagrama de secuencia CU Autenticarse.....	67
Figura 30. Diagrama de colaboración CU Autenticarse	68
Figura 31. Diagrama de secuencia CU Ingresar datos de simulación	68
Figura 32. Diagrama de colaboración CU Ingresar datos de simulación.....	69
Figura 33. CU Resolver simulación.....	69
Figura 34. Diagrama de colaboración CU Resolver simulación	70
Figura 35. Diagrama de secuencia CU Visualizar Resultados	70
Figura 36. Diagrama de colaboración CU Visualizar Resultados.....	71
Figura 37. Diagrama de secuencia CU Administrar Usuarios	71
Figura 38. Diagrama de colaboración CU Administrar Usuarios	72
Figura 39. Diagrama de secuencia CU Exportar Resultados.....	72
Figura 40. Diagrama de colaboración CU Exportar Resultados	73
Figura 41. Diagrama de secuencia CU Mostrar Historial y Recuperar Simulaciones ..	73

Figura 42. Diagrama de colaboración CU Mostrar Historial y Recuperar Simulaciones	74
Figura 43. Diagrama de secuencia CU Cerrar Sesión.....	74
Figura 44. Diagrama de colaboración CU Cerrar Sesión	75
Figura 45. Diagrama de clases.....	75
Figura 46. Pantalla de inicio de sesión.....	76
Figura 47. Pantalla principal de administrador	76
Figura 48. Pantalla Menú administrar usuarios	77
Figura 49. Pantalla Administrar Usuarios	77
Figura 50. Pantalla Administrar Usuarios, lista de usuarios.....	78
Figura 51. Pantalla de registro de usuario	78
Figura 52. Pantalla Administrar Usuarios, búsqueda de usuario a editar.....	79
Figura 53. Pantalla Administrar Usuarios, búsqueda de usuario a eliminar.	79
Figura 54. Pantalla Administrar Usuarios, campos a editar del usuario	79
Figura 55. Pantalla Administrar Usuarios, visualización de datos del usuario a eliminar	80
Figura 56. Pantalla Principal Operativo	80
Figura 57. Pantalla principal, despliegue de acciones en Datos de ingreso.....	81
Figura 58. Ventana principal, generación de entradas para datos de simulación....	81
Figura 59. Ventana de Datos Ingresados.....	81
Figura 60. Ventana Principal, Despliegue de historial de simulaciones.....	82
Figura 61. Ventana Principal, Vista de resultados e interpretación de ellos	82
Figura 62. Ventana Principal, menú de Reportes	83
Figura 63. Ventana Gráficos de resultados.....	83
Figura 64. Ventana Datos de resultados Tabulados.....	84
Figura 65. Generar reporte	84
Figura 66. Editar datos ingresados	84
Figura 67. Ventana Principal, menú Red de flujo	85
Figura 68. Ventana Problema de Flujo	85
Figura 69. Ventana de ingreso de Matriz de adyacencia	85
Figura 70. Ventana de ingreso de Matriz de distancias.....	86
Figura 71. Ventana de ingreso de parámetros.....	86
Figura 72. Ventana de Tabla de datos ingresados	87
Figura 73. Vista de resultado de la red de flujo	87
Figura 74. Pantalla de flujo, donde ya se realizó el cálculo y se generó los grafos	88
Figura 75. Análisis de sensibilidad.....	90
Figura 76. Simulación Configuración de red.....	91
Figura 77. Simulación de escenarios.....	91
Figura 78. Esquema de cumplimiento de la Hipótesis de la Investigación	92

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC.....	100
Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas.....	101
Anexo 3. Carta de incorporación.....	102
Anexo 4. Carta compromiso.....	103

RESUMEN

La presente investigación aborda el diseño de un sistema matemático computacional para la evacuación de personal vulnerable ante emergencias causadas por erupciones volcánicas severas, con un enfoque aplicado a la provincia del Carchi. El objetivo general es proponer una solución robusta y eficiente mediante la modelación matemática de sistemas dinámicos y un enfoque de optimización en dos etapas (two-stage). Este enfoque permite representar tanto la fase de preparación como la de respuesta inmediata, incorporando elementos estocásticos para considerar escenarios probabilísticos. La metodología empleada es de enfoque mixto y combina la modelación matemática con los principios de la ingeniería de software, implementados bajo el marco de desarrollo Rational Unified Process (RUP). Esta metodología iterativa y orientada a la gestión de riesgos permitió estructurar el desarrollo del sistema, desde la definición de modelos de negocio hasta la construcción de un sistema funcional. Se desarrollaron dos modelos matemáticos: el primero, determinista, para el flujo nominal de evacuación; y el segundo, estocástico, que incluye escenarios probables para una mayor adaptabilidad ante incertidumbres. Los resultados destacan la consolidación de una solución tecnológica que responde eficazmente a diferentes niveles de alerta volcánica. Además, se integraron tendencias actuales en Tecnologías de la Información y Comunicación (Tics) y su relación con la modelación matemática, demostrando su impacto en la planificación y ejecución de estrategias de evacuación a escala macro, meso y micro. En conclusión, este trabajo proporciona un modelo integral que combina enfoques matemáticos avanzados y prácticas de ingeniería de software, ofreciendo una herramienta funcional para la toma de decisiones en situaciones de emergencia volcánica.

Palabras Claves: evacuación, modelación matemática, emergencia volcánica, sistemas computacionales, RUP.

ABSTRACT

This research addresses the design of an athenmatic-computational system for the evacuation of vulnerable personnel in emergencies caused by severe volcanic eruptions, with an approach applied to the province of Carchi. The general objective is to propose a robust and efficient solution through mathematical modeling of dynamic systems and a two-stage optimization approach. This approach allows representing both the preparedness and immediate response phases, incorporating stochastic elements to consider probabilistic scenarios. The methodology used is a mixed approach and combines mathematical modeling with software engineering principles, implemented under the Rational Unified Process (RUP) development framework. This iterative and risk management - oriented methodology allowed structuring the development of the system, from the definition of business models to the construction of a functional system. Two mathematical models were developed: the first, deterministic, for the nominal evacuation flow; and the second, stochastic, which includes probable scenarios for greater adaptability in the face of uncertainties. The results highlight the consolidation of a technological solution that responds effectively to different levels of volcanic alert. In addition, current trends in Information and Communication Technologies (ICTs) and their relationship with mathematical modeling were integrated, demonstrating their impact on the planning and execution of evacuation strategies at macro, meso and micro scales. In conclusion, this work provides a comprehensive model that combines advanced mathematical approaches and software engineering practices, offering a functional tool for decision making in volcanic emergency situations.

Keywords: evacuation, mathematical modeling, volcanic emergency, computer systems, RUP.

INTRODUCCIÓN

Los desastres naturales, entre ellos las erupciones volcánicas, presentan una amenaza persistente para las localidades que se encuentran cerca de zonas donde existe presencia de volcanes. Dichos eventos pueden provocar consecuencias devastadoras, entre ellas tenemos la pérdida de vidas humanas, además de alterar el entorno socioeconómico de las regiones afectadas. El Carchi es una provincia de Ecuador, la cual alberga comunidades que se encuentran en zonas de alta vulnerabilidad debido a la presencia del volcán Chiles – Cerro Negro, cuya actividad ha sido constante y por lo mismo se mantiene bajo monitoreo desde varios años atrás.

El presente trabajo tiene como objetivo general diseñar un sistema matemático – computacional el cual permita gestionar de manera eficiente la evacuación de personal vulnerable en una emergencia volcánica severa en la provincia del Carchi. Para cumplirlo, se ha planteado una serie de objetivos específicos que integran la fundamentación bibliográfica de métodos, conceptos importantes, la modelación matemática del problema, y la propuesta de un sistema matemático – computacional basado en las bondades de la ingeniería de software.

Este documento se encuentra estructurado en cinco capítulos. El primer capítulo define la problemática de investigación y sus objetivos. En el segundo capítulo se establece el marco teórico - conceptual, analizando antecedentes importantes recogidos en obras relevantes presentes en la literatura científico – técnica. Para el capítulo tres se puntualiza la metodología de la investigación utilizada. En el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos y la discusión.

Finalmente, en el capítulo cinco, da lugar a las conclusiones y recomendaciones que se pueden proponer para futuras investigaciones en el campo.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, una de las mayores frustraciones a la hora de tomar decisiones sobre emergencias volcánicas es la falta de información precisa, porque estos eventos pueden ocurrir en cualquier parte del mundo y pasar desapercibidos. Como resultado, las agencias responsables en diferentes países tienen diferentes enfoques y estilos de respuesta ante tales escenarios.

Sin embargo, se puede decir que la mayoría de los países continúan monitoreando los volcanes activos y cuentan con planes de evacuación, sistemas de alerta y refugios temporales para este tipo de situaciones, lo que significa que cada país tiene su propio sistema de defensa civil y protocolos de preparación. Por lo tanto, durante una emergencia volcánica, es fundamental tomar decisiones rápidas y efectivas para proteger la vida humana y minimizar los daños a la propiedad y al medio ambiente. Sin embargo, las instituciones suelen resultar lentas a la hora de tomar decisiones debido a la falta de información precisa y a la complejidad del proceso de toma de decisiones. Además, demorar en la toma de decisiones en una emergencia volcánica puede ser causa de falta de información o comunicación clara, falta de preparación o planificación adecuada, y falta de liderazgo efectivo.

Esto puede traer grandes consecuencias que pueden ser graves e incluir pérdida de vidas humanas, daños a la propiedad y al medio ambiente, y a la vez pérdidas económicas. Una inadecuada evacuación de las personas que viven cerca del volcán puede resultar en víctimas fatales, mientras que una demora en la toma de decisiones para cerrar carreteras puede resultar en mayores daños a la infraestructura. Así como, una demora en la toma de decisiones puede dificultar la capacidad de los equipos de respuesta para responder eficazmente a la emergencia.

El Ecuador, es considerado un país de alto riesgo debido a la presencia de volcanes activos, de tal manera que la respuesta ante una emergencia volcánica se basa en el Sistema Nacional de Gestión de Riesgos, por tal razón en casos de eventos

volcánicos hay varias instituciones y organismos que participan en la gestión de la emergencia y atención a la población afectada.

Instituciones como la Secretaría de Gestión de Riesgos que se encarga de coordinar las acciones de prevención y respuesta ante desastres naturales, el Servicio Integrado de Seguridad ECU-911 cuya función es coordinar las operaciones de evacuación y atención en emergencias volcánicas. Entre otras instituciones, cuyas funciones se reparten en tareas como salud, apoyo a la comunidad, labor logística y de transporte.

Ecuador ha experimentado una serie de eventos volcánicos que han afectado a distintas zonas del país, durante la última década, el volcán Tungurahua ha registrado varias erupciones significativas, que han causado la evacuación de miles de personas de las zonas cercanas. La última erupción importante del Tungurahua se produjo en 2014. Así también como el volcán Sangay ubicado en la región de la Amazonía y de los Andes, ha presentado actividad eruptiva intermitente desde 2019. Durante este periodo, ha generado flujos piroclásticos y la emisión de ceniza, lo que ha afectado a las poblaciones cercanas.

La provincia del Carchi está ubicada en la región norte del país, en la frontera con Colombia. El territorio de la provincia se caracteriza por su diversidad geográfica, que va desde la zona de montañas y páramos en la Cordillera de los Andes, hasta la zona de selva tropical en la frontera con Colombia.

Con la presencia del volcán Chiles y Cerro Negro la provincia del Carchi ha tenido varias alertas de eventos volcánicos en la última década, desde movimientos telúricos provocados por actividad volcánica, hasta actividad hidrotermal lo que causó que las autoridades tomen precauciones, debido a estos eventos ocurridos en los últimos años se han presentado diferentes escenarios en los que las entidades encargadas realizaron simulacros de evacuación por la actividad volcánica para estar de cierta forma preparados ante una inminente emergencia volcánica considerando que la población vulnerable en caso de presentarse una emergencia es incierta.

La evacuación en Ecuador es un problema complejo debido a las múltiples amenazas naturales que enfrenta el país, como terremotos, inundaciones, deslizamientos de tierra y erupciones volcánicas. La planificación y ejecución de una evacuación eficiente requiere la consideración de múltiples factores, incluyendo la

incertidumbre en cuanto a la magnitud y la ubicación exacta del desastre, así como la disponibilidad de recursos para llevar a cabo la evacuación.

Una de las mayores dificultades en el manejo de la incertidumbre en la evacuación es la falta de información precisa sobre el número de personas que deben ser evacuadas y su ubicación exacta en el momento del desastre como consecuencia de la incertidumbre también inherente a la información que se tiene de los estados futuros en el desarrollo de una emergencia volcánica. Además, muchas personas pueden no estar disponibles para evacuar en el momento de la alerta, lo que aumenta la complejidad del proceso.

Por ende, podemos decir que la evacuación en Ecuador es un problema complejo y que requiere planificación y coordinación, así como tener presente el manejo de decisiones considerando la incertidumbre inherente a la información disponible en un entorno en el cual de los datos reales del problema aún no han sido revelados.

Finalmente, no hay un consenso en el uso de las TIC con respecto al manejo de software especializado para toma de decisiones en este ámbito en el Ecuador.

Dígase un sistema analítico computacional de toma de decisiones bajo incertidumbre para emergencias volcánicas severas.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo mejorar la toma de decisiones en la evacuación del personal vulnerable ante una emergencia volcánica mediante el uso de modelos matemáticos – computacionales considerando la incertidumbre inherente a los datos?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Un modelo de toma de decisiones es esencial en una emergencia volcánica ya que permite a las autoridades u organizaciones correspondientes tomar decisiones rápidas y efectivas antes de que los datos reales sean revelados para proteger la vida humana y minimizar los daños a la propiedad y el medio ambiente o tomar experiencia de los eventos acontecidos para futuras simulaciones y predicciones mediante el uso de modelos matemáticos y un sistema computacional de precisión.

Un buen modelo de toma de decisiones debe ser capaz de considerar todos los factores relevantes en una situación de emergencia, como la rapidez de la erupción, las condiciones climáticas, la topografía y la densidad de población en la zona

afectada. Además, debe ser adaptable a cambios en la situación y proporcionar una estrategia clara y comprensible para la toma de decisiones.

La propuesta de este sistema matemático - computacional también contribuirá al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) número 9, 11 y 13.

Empezando por el ODS 9, el cual busca construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación. El sistema matemático - computacional propuesta puede contribuir en la gestión de emergencias, lo que a su vez puede aumentar la capacidad de las comunidades para enfrentar situaciones de riesgo.

En segundo lugar, el ODS 11 tiene como objetivo lograr ciudades y comunidades sostenibles. El sistema matemático - computacional para la toma de decisiones en la evacuación de personas en eventos volcánicos puede contribuir a la creación de comunidades más sostenibles al mejorar la capacidad de las autoridades para responder a emergencias y proteger a la población.

En tercer lugar, el ODS 13 busca tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Si bien el sistema matemático - computacional no puede evitar los eventos volcánicos, puede contribuir a la mitigación de sus efectos al permitir una evacuación más eficiente y efectiva, disminuyendo así el riesgo de pérdida de vidas.

Con ello, la propuesta del sistema matemático – computacional ayudaría a establecer un protocolo de respuesta, que permita a las diferentes instituciones y entidades involucradas en la respuesta a las emergencias volcánicas trabajar de manera más rápida y coordinada. Esto a su vez ayuda a reducir los tiempos de toma de decisiones y a mejorar la eficacia de la respuesta. Además de ser esencial para garantizar una respuesta colaborativa y coordinada, y que cuenta con información precisa y actualizada.

Relevancia Social: La evacuación de personal vulnerable en caso de una emergencia de erupción volcánica es un tema de gran importancia social, debido a que puede salvar vidas y minimizar los daños causados por una erupción volcánica. La erupción de un volcán puede provocar una serie de peligros, como la emisión de gases tóxicos, la lluvia de cenizas, la caída de rocas, y la formación de flujos de lava que pueden afectar a la población cercana.

Aporte Económico: En términos económicos, la evacuación de personal vulnerable en caso de una emergencia de erupción volcánica puede resultar costosa, pero también puede ser altamente beneficiosa. Por un lado, puede evitar la pérdida de vidas humanas y reducir los costos asociados con los servicios de emergencia y la atención médica. Por otro lado, una planificación cuidadosa de la evacuación puede permitir la reubicación de las personas vulnerables en áreas seguras y reducir la necesidad de futuras evacuaciones, lo que a su vez reduce los costos a largo plazo.

La planificación y ejecución de medidas específicas para la evacuación de personas vulnerables ante una emergencia de erupción volcánica puede tener un impacto económico positivo. La protección de estas personas puede evitar la pérdida de vidas y la necesidad de atención médica costosa en caso de lesiones o enfermedades relacionadas con la emergencia. Además, la implementación de medidas de evacuación específicas puede mejorar la imagen y reputación de las autoridades locales y empresas, lo que puede traducirse en un aumento de la confianza de los ciudadanos y turistas hacia la zona.

Aporte Ambiental: La evacuación de personal vulnerable en caso de una emergencia de erupción volcánica puede contribuir a reducir los impactos ambientales causados por las emergencias volcánicas. Al permitir una evacuación más eficiente y efectiva de estas personas, se pueden prevenir la pérdida de vidas animales y vegetales. Además, una evacuación ordenada y planificada puede ayudar a evitar la afectación de áreas naturales protegidas.

Aporte Metodológico: Este tema también es relevante en términos metodológicos, debido a que la identificación de las personas vulnerables y la planificación de su evacuación requiere una metodología precisa y detallada. Es necesario considerar diversos factores, como la ubicación geográfica, el estado de salud de las personas, su movilidad y las condiciones climáticas, entre otros. Por lo tanto, la planificación de la evacuación de personas vulnerables debe realizarse de manera cuidadosa y rigurosa para garantizar la seguridad de las personas. La planificación de la evacuación de personas vulnerables en caso de una emergencia de erupción volcánica implica la investigación y desarrollo de protocolos y medidas específicas para identificar y atender a estas personas en situaciones de riesgo.

Aporte Práctico: La evacuación de personal vulnerable en caso de una emergencia de erupción volcánica puede ser una herramienta muy útil para las autoridades y

organizaciones encargadas de la gestión de emergencias. Al tener en cuenta las necesidades y limitaciones de estas personas en el plan de evacuación, se pueden tomar decisiones informadas y eficientes, lo que a su vez puede reducir los tiempos de evacuación y minimizar el riesgo de pérdida de vidas.

Las TIC en la toma de decisiones ante emergencias volcánicas: Las Tecnologías de la Información y la Comunicación pueden desempeñar un papel clave en el proceso de toma de decisiones ante emergencias volcánicas, ya que pueden proporcionar información en tiempo real y ayudar a los responsables de la gestión de emergencias a tomar decisiones más informadas y eficaces.

Relación modelo matemático – sistema computacional: La relación entre un modelo matemático y un sistema computacional es estrecha, porque el sistema computacional se basa en el modelo matemático para así realizar simulaciones y análisis de los datos. El modelo matemático proporciona las ecuaciones y relaciones necesarias para describir el problema, mientras que el sistema computacional proporciona el marco para aplicar el modelo matemático y hacer cálculos numéricos.

La relación entre un modelo matemático y un sistema computacional es mutua, debido a que el sistema computacional depende del modelo matemático para realizar simulaciones y análisis, mientras que el modelo matemático se beneficia del sistema computacional para aplicar sus ecuaciones, relaciones y obtener resultados.

El aporte de las áreas y subáreas de la carrera de computación es fundamental en el desarrollo de herramientas de solución a problemas que contribuyen al desarrollo local y territorial. En el caso del Carchi, las herramientas desarrolladas por profesionales de la computación pueden contribuir significativamente al desarrollo de la región en diferentes áreas, como la agricultura, el turismo, el comercio y la seguridad. Los profesionales de la computación pueden trabajar en colaboración con expertos en otras áreas para identificar los problemas y desarrollar soluciones que sean efectivas y relevantes para la región.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un sistema matemático – computacional para la evacuación de personal vulnerable ante una emergencia de erupción volcánica severa en la provincia del Carchi.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Fundamentar bibliográficamente los métodos, metodologías y conceptos que se usaran en el desarrollo del sistema matemático - computacional.
- Modelar matemáticamente el problema de la evacuación de personal vulnerable ante una emergencia de erupción volcánica severa en la provincia del Carchi considerando la incertidumbre inherente a los datos.
- Proponer un sistema matemático - computacional para la evacuación de personal vulnerable ante una emergencia de erupción volcánica severa en la provincia del Carchi considerando las bondades de la ingeniería de software.

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Cómo el diseño de un sistema matemático – computacional permitirá minimizar los costes en la toma de decisiones considerando la incertidumbre inherente a la información recibida a priori en una emergencia volcánica severa?
- ¿Qué metodologías, métodos y enfoques existen desde el campo de las ciencias computacionales y exactas aplicadas al manejo de la incertidumbre ante emergencias causadas por catástrofes naturales severas?
- ¿Cómo se modela matemáticamente el problema de la evacuación de personal vulnerable ante una emergencia de erupción volcánica severa en la provincia del Carchi considerando la incertidumbre inherente a los datos de esta?
- ¿Qué beneficios aporta la propuesta de un sistema matemático - computacional para la evacuación de personal vulnerable ante una emergencia de erupción volcánica severa en la provincia del Carchi considerando las bondades de la ingeniería de software?

A continuación, en el capítulo II se desarrollará el marco teórico y conceptual que sustenta a la investigación. Los antecedentes incluirán estudios previos relacionados con erupciones volcánicas, modelos matemáticos y tecnologías de desarrollo de software.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Ecuador se encuentra en una zona sísmica y volcánica activa debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico, lo que significa que está expuesto a una variedad de riesgos geológicos, incluidas las erupciones volcánicas. Por lo tanto, la actividad volcánica es un fenómeno común en Ecuador. A lo largo de la historia del país, ha habido numerosas erupciones volcánicas, algunas de las cuales han causado daños significativos a la población y la infraestructura cercana. (Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional, 2022).

La gestión de riesgos ante eventos volcánicos en Ecuador es responsabilidad del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN) y del Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE). Estas instituciones trabajan en conjunto para monitorear la actividad volcánica en el país y tomar decisiones en caso de que se presente una amenaza.

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional es el encargado de la vigilancia sismológica y volcánica en el país y tiene una red de estaciones sismológicas y GPS en los volcanes activos. Además, el IGEPN proporciona información y alertas sobre la actividad volcánica a las autoridades locales y nacionales y a la población en general. El SNGRE, por su parte, es responsable de coordinar la respuesta a emergencias y desastres naturales, incluidas las erupciones volcánicas. (IG-EPN, 2021)

Debido a la falta de información o información incompleta de los parámetros se trabaja con incertidumbre, "la incertidumbre puede ser definida como la falta de certeza o seguridad en una situación, resultado o conclusión debido a la falta de conocimiento completo o información precisa" (International Vocabulary of Metrology - VIM, 2012).

La toma de decisiones en situaciones de incertidumbre es especialmente compleja en el contexto de los eventos volcánicos, donde la información disponible puede ser incompleta, y las decisiones incorrectas pueden tener consecuencias catastróficas.

En 1999, el volcán Tungurahua, ubicado en el centro de Ecuador, entró en erupción después de más de 80 años de inactividad. La erupción causó la evacuación de miles de personas de las zonas cercanas al volcán y la destrucción de varias ciudades y comunidades. A raíz de esta erupción, se creó el Comité de Operaciones de Emergencia (COE) para coordinar la respuesta a desastres naturales en el país. El COE se encarga de tomar decisiones en situaciones de emergencia, incluidas las erupciones volcánicas. Esta tragedia llevó a un mayor enfoque en la toma de decisiones ante eventos volcánicos en Ecuador y la necesidad de contar con un sistema de alerta temprana efectivo y una estrategia de evacuación adecuada. Desde entonces, se han realizado numerosos estudios para mejorar la capacidad de predicción de los eventos volcánicos en Ecuador y su impacto en la población. Estos estudios han incluido la monitorización constante de los volcanes activos, el análisis de los patrones de actividad volcánica, la modelación numérica y la elaboración de mapas de riesgo. (IG-EPN, 2021)

Además, se han llevado a cabo numerables esfuerzos para mejorar la capacidad en la toma de decisiones ante situaciones de incertidumbre relacionados con los eventos volcánicos. Estos esfuerzos incluyen la elaboración de protocolos de alerta temprana y evacuación, la formación de equipos de respuesta rápida y la educación y capacitación de la población local sobre los riesgos volcánicos y cómo responder en caso de una emergencia.

En la erupción del volcán Reventador en 2002, este evento generó flujos piroclásticos y emisiones de ceniza que afectaron a varias comunidades cercanas al volcán. Como medida de prevención, se establecieron zonas de exclusión alrededor del volcán y se mejoró la capacidad de monitoreo y alerta temprana. (Organización Panamericana de la Salud, 2019)

La erupción del volcán Tungurahua en 2006, generó flujos piroclásticos, lahares y emisiones de ceniza. Otro evento es el del año 2015, en el que el volcán Cotopaxi, uno de los volcanes más activos de Ecuador, entró en erupción después de décadas de inactividad. La erupción causó la evacuación de miles de personas y la cancelación de vuelos internacionales. Las autoridades locales y nacionales tomaron medidas para mitigar los efectos de la erupción, incluida la evacuación preventiva de comunidades cercanas al volcán. Debido a estos eventos, se han llevado a cabo

investigaciones y modelos matemáticos para mejorar la predicción y la gestión de los eventos volcánicos.

En una definición sobre modelos matemáticos encontramos que un “modelo matemático de decisión bajo incertidumbre es una herramienta que permite tomar decisiones en situaciones donde el resultado o las consecuencias son inciertas, utilizando la teoría de la probabilidad y el análisis estadístico para cuantificar y manejar la incertidumbre” (Taha, 2017).

Algunos de los modelos matemáticos desarrollados son:

El modelo de Simulación de lahares, desarrollado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. El modelo utiliza datos geográficos y geológicos para simular la propagación y el impacto de los lahares en las áreas circundantes y para identificar las zonas de mayor riesgo. El modelo ha sido utilizado para evaluar el riesgo de lahares en los volcanes Cotopaxi, Tungurahua y Sangay. (IG-EPN, 2007)

El modelo de Simulación de flujos piroclásticos, este modelo fue desarrollado por investigadores de la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE). El modelo utiliza datos geográficos y geológicos para simular la propagación y el impacto de los flujos piroclásticos en las áreas circundantes y para identificar las zonas de mayor riesgo. El modelo ha sido utilizado para evaluar el riesgo de flujos piroclásticos en el volcán Tungurahua. (Escuela Superior Politécnica del Ejército, 2016)

Otro modelo desarrollado por el IG-EPN es el Modelo de Pronóstico de Ceniza Volcánica, este utiliza datos de pronóstico meteorológico y de monitoreo de la actividad volcánica para predecir la trayectoria y la concentración de la ceniza volcánica en el aire y en la superficie. El modelo ha sido utilizado para apoyar la toma de decisiones en la gestión de la aviación civil y en la evacuación de las comunidades afectadas por la caída de ceniza.

De igual manera fue desarrollado por el IG-EPN el Modelo de Inversión Sísmica, el cuál utiliza datos sísmicos para determinar la ubicación, la profundidad y la magnitud de los eventos sísmicos relacionados con los volcanes activos. El modelo ha sido utilizado para monitorear la actividad sísmica en los volcanes Cotopaxi, Tungurahua y Sangay.

Al tratar con toma de decisiones, se debe conocer sobre la logística humanitaria, esta se define como:

La planificación, implementación y coordinación de la gestión de los recursos necesarios para responder a las necesidades humanitarias de manera efectiva, eficiente y oportuna, incluyendo la distribución de bienes y servicios, la gestión de la cadena de suministro, el transporte, el almacenamiento y la gestión de la información. (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, 2020)

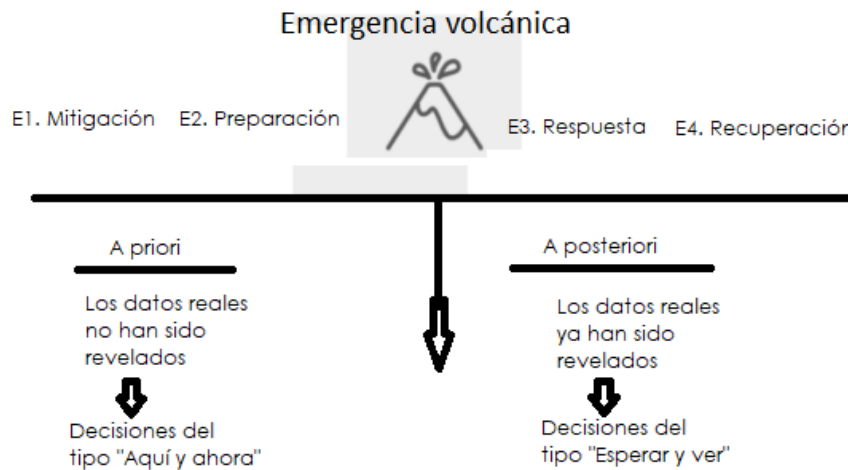


Figura 1. Etapa Logística Humanitaria

Mitigación: La mitigación en logística humanitaria se refiere a las medidas tomadas para reducir el impacto de los desastres naturales o conflictos en la población afectada y las operaciones logísticas. Según la Organización Internacional para las Migraciones (OIM), "la mitigación se enfoca en la reducción de riesgos y daños por medio de la implementación de medidas estructurales y no estructurales" (OIM, 2020, p. 4).

Preparación: "La etapa de preparación incluye todas las actividades desarrolladas por la población, los gobiernos locales y otras organizaciones antes de que acontezca el desastre con el fin de reducir sus efectos potenciales" (López-Vargas & Cárdenas-Aguirre, 2017)

Respuesta: "Respuesta en logística humanitaria es la etapa en la que se ejecutan las acciones previstas en los planes de contingencia y se movilizan los recursos y suministros necesarios para atender las necesidades de las personas afectadas por un desastre natural" (Altay & Green, 2006)

Recuperación: La recuperación en logística humanitaria es el proceso mediante el cual se llevan a cabo las acciones necesarias para volver a un estado de normalidad después de un desastre, incluyendo la rehabilitación de infraestructuras, el

restablecimiento de servicios básicos y la recuperación social y económica de las comunidades afectadas. (Van Wassenhove, 2006)

En la toma de decisiones a priori podemos decir que “La noción de conocimiento a priori se refiere a aquel conocimiento que se considera independiente de la experiencia empírica y que puede ser justificado o demostrado mediante la razón o la lógica “(Boghossian, 2020).

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Conceptos sobre erupción volcánica

2.2.1.1. Volcán Chiles Cerro Negro

“El Volcán Chiles y el Cerro Negro de Mayasquer son estratovolcanes que se extienden a ambos lados de la frontera entre Ecuador y Colombia y no han tenido erupciones históricas registradas” (Ebmeier et al., 2016)

2.2.1.2. Actividad volcánica.

Desde el año 2022 y el año actual se han venido efectuando en el complejo volcánico Chiles-Cerro Negro diversas campañas de mediciones gravimétricas, en la cual técnicos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) son los encargados de llevar estas tareas a cabo. (EPN, 2023)



Figura 2. Técnicos del IG-EPN realizando mediciones gravimétricas
Fuente: (Sierra, 20023). Campaña de mediciones gravimétricas en el complejo volcánico chiles - cerro negro.

La gestión eficaz de situaciones de emergencia y emergencias volcánicas representa un desafío constante para las autoridades gubernamentales, las organizaciones de respuesta y las comunidades afectadas en todo el mundo. En este contexto, la

declaración de estados de alerta temprana se erige como un componente crítico en la mitigación de riesgos y la protección de vidas y recursos.

2.2.1.3. Experiencias de erupciones volcánicas

Una de las últimas erupciones presentadas fueron en Perú en el año 2019, en esta ocasión este volcán expulsó elevadas cantidades de ceniza en forma de columna eruptiva que tuvo una elevación sobre los 6 km y que el rango de dispersión fue más de 250 km de distancia.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) había llevado a cabo un pronóstico de ese proceso desde la fecha del 18 de junio de 2019, esto fue seis días antes del inicio del proceso eruptivo. Los impactos que tuvo esta emergencia fueron detallados por las oficinas de Gestión del Riesgo de Desastres de esas regiones, así dieron a conocer que 29703 personas fueron afectadas por la caída de ceniza, 617 instituciones educativas, así como 20 sitios de salud y 301952 en fauna.

En una nota realizada por el diario el Comercio publicada en el 16 de enero del 2022 Ecuador había tenido nueve erupciones en los últimos cinco años, una de las erupciones presentadas fue en el archipiélago de las Galápagos, el volcán Wolf que se sitúa en el cantón Isabela, además es el pico más alto de las islas.

En la provincia del Carchi debido a los incidentes pasados con el volcán Chiles y Cerro Negro el COE en conjunto con el gobernador del Carchi, tuvieron que llegar a resoluciones en una reunión llevada a cabo el 09 de agosto del 2022. De tal manera, que una de las resoluciones fue la actualización de los Planes de Contingencia institucionales.

Con datos obtenidos según la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) al existir una posible erupción del volcán Chiles, existen 22 comunidades con mayor influencia de afectación directa, tales se reparten en: Maldonado con 11, Chical con 3 y Tufiño con 8.

2.2.2. Modelos matemáticos de decisión.

2.2.2.1. Modelos Deterministas

Un modelo determinístico es aquel que proporciona una respuesta única y predecible para un conjunto de entradas específicas. "Los modelos determinísticos son aquellos que establecen una relación funcional única entre las variables independientes y dependientes. En otras palabras, para un conjunto dado de

variables de entrada, el modelo siempre produce una predicción única para la variable de salida"(Shmueli et al., 2018).

- **Programación Lineal**

"La programación lineal es básicamente la lucha o disputa de una cantidad de actividades por unos recursos de carácter limitado, de tal forma que se obtenga un máximo de rendimiento" (Salas, 2017).

La forma estándar de programación lineal es la siguiente:

$$\begin{aligned}
 &\text{Maximizar } C_1X_1 + \dots + C_nX_n \\
 &\quad \text{s. a:} \\
 &\quad a_{11}x_1 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\
 &\quad \dots \\
 &\quad a_{m1}x_1 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \\
 &\quad x_1, \dots, x_n \geq 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

- **Método Simplex**

El método Simplex fue desarrollado por Dantzig en 1947 y es un método algebraico de conceptos geométricos. Es un método iterativo que se inicia encontrando una solución factible inicial. Esta solución factible inicial es un punto en los vértices del polígono de soluciones factibles. (Carro, 2014, p. 84)

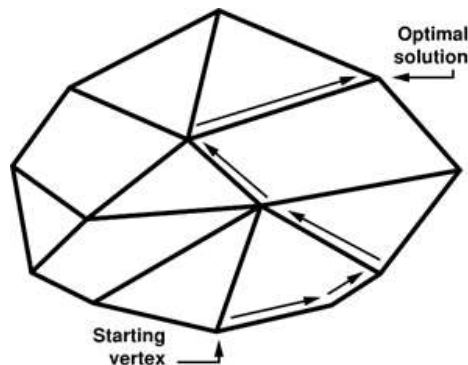


Figura 3. Ejemplo de método simplex
Fuente: (Treushchenko, 2014). Algoritmo simplex.

- **Programación Lineal Entera y Programación Lineal Entera Mixta**

La programación lineal entera es una extensión de la programación lineal que restringe las variables de decisión a tomar solo valores enteros. "La programación lineal entera es una técnica de optimización matemática utilizada para resolver problemas de programación lineal donde se requiere que las variables de decisión sean enteras" (Hillier & Lieberman, 2010). En cambio, la programación lineal entera mixta según Gurobi Optimization (2021) refiere que, "La PLEM es una técnica de optimización que se utiliza para resolver problemas en los que se deben tomar decisiones discretas y continuas y, por tanto, las variables de decisión pueden ser

enteras, fraccionarias o una combinación de ambas", la diferencia se encuentra en las restricciones, dado que la PLE solo toma valores enteros caso contrario la PLEM toma valores reales.

$$\begin{aligned}
 & \textbf{Minimizar } C^T x \\
 & \textbf{Sujeto a} \\
 & Ax \leq b \\
 & x \in \mathbb{R}^n \\
 & x_i \in \mathbb{Z} \text{ o } x_j \in [0, 1] \text{ para algunos } j
 \end{aligned} \tag{2}$$

PROBLEMA DE REDES DE FLUJO MAXIMO

Dado un grafo $G = (V, E)$ donde V es un conjunto de vértices no vacío y E es un conjunto de arcos, el problema para garantizar el flujo de un nodo s a otro v adyacente se plantea como:

$$\text{Max } Z = \sum_{(s,v) \in E} f(s,v) \tag{3}$$

donde $f(s, v)$ representa el flujo desde el nodo fuente s hacia un nodo adyacente v sujeto a las siguientes restricciones:

- **Restricciones de capacidad.**

Para cada arco $(u, v) \in E$, el flujo no debe exceder la capacidad del arco:

$$0 \leq f(s, v) \leq c(u, v) \tag{4}$$

Donde $c(u, v)$ es la capacidad del arco desde el nodo u hasta el nodo v

- **Restricciones de conservación de flujo:**

Para cada nodo v que no sea el nodo fuente s ni el nodo sumidero t , se debe cumplir que el flujo que entra al nodo es igual al flujo que sale del mismo:

$$\sum_{(u,v) \in E} f(u, v) = \sum_{(v,w) \in E} f(v, w) \tag{5}$$

Estas restricciones aseguran que el flujo es conservado en cada nodo intermedio y que no se exceden las capacidades de los arcos (Correa Espinal et al., 2011). El problema puede resolverse mediante algoritmos como el método simplex o algoritmos especializados para problemas de flujo como Ford-Fulkerson (Ruiz, 2020).

2.2.2.2. Modelos no deterministas

En los modelos estocásticos dice que "también el estado del sistema es representado por un punto de cierto espacio, pero en vez de tener una ley que permita determinar

unívocamente el estado futuro del sistema, sólo es posible hacer predicciones probabilísticas acerca de su evolución futura" (Laura, 2004).

La teoría estocástica permite incluir la incertidumbre asociada a determinados parámetros de un problema determinista considerando que éstos son variables aleatorias acerca de los cuales se dispone de cierta información, por lo que la forma en la que trata con las imprecisiones se realiza siempre de una forma coherente y sistemática. (Pérez, 2013)

2.2.2.3. Modelos de incertidumbre

A. Criterios de incertidumbre

- **Criterio de Savage**

Según Jehiel y Moldovanu (2016), "El criterio de Savage establece que un tomador de decisiones debe elegir la opción que minimice la pérdida máxima que podría experimentar, si se supone que la naturaleza elegirá la opción que maximice su propio beneficio"

- **Criterio de Laplace**

El criterio está basado en el principio de razón insuficiente; como no podemos suponer una mayor probabilidad de ocurrencia a un suceso futuro que a otro, podemos considerar que todos los sucesos futuros son equiprobables. Así, cada suceso posible tiene una probabilidad asignada de $1/n$ para n sucesos posibles. (Palma, 2017)

La expresión general en este caso sería:

$$\text{Valor esperado } A_i = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n \{R_{(i,j)}\} \quad (6)$$

- **Criterio de Hurwicz**

Según Tversky y Kahneman (2016), "El criterio de Hurwicz se basa en la idea de que los tomadores de decisiones tienen diferentes niveles de optimismo y pesimismo en relación con los resultados posibles. Por lo tanto, el tomador de decisiones debe elegir la alternativa que produce el mejor resultado esperado ponderado por un coeficiente de optimismo"

$$\text{Valor Esperado } A_{(i)} = \{\text{Max}_{j=1}^n R_{(i,j)} * \alpha - \text{min}_{j=1}^n R_{(i,j)} * (1-\alpha)\} \quad (7)$$

- **Criterio MAXIMIN**

El criterio de maximin se basa en la idea de que el tomador de decisiones debe elegir la alternativa que produce el resultado mínimo más alto, es decir, la alternativa que minimiza el riesgo. Por lo tanto, el tomador de decisiones debe determinar el resultado

mínimo posible para cada alternativa y elegir la alternativa que tenga el valor máximo mínimo posible. (Ross et al., 2014)

2.2.2.4. Modelos Estocásticos

- **Optimización estocástica**

La optimización estocástica es una técnica de optimización que considera la incertidumbre en los datos del modelo mediante la incorporación de variables aleatorias en la formulación matemática. "La optimización estocástica es una rama de la investigación de operaciones que trata la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre y riesgo, mediante la formulación de modelos matemáticos que incluyen variables aleatorias" (Mikosch et al., 2011).

$$\left. \begin{array}{l} \text{" min" } g_0(x, \bar{\xi}) \\ \text{s. t. } g_i(x, \bar{\xi}) \leq 0, i = 1, \dots, m, \\ x \in X \subset \mathbb{R}^n, \end{array} \right\} \quad (8)$$

Se muestra a continuación el problema de la programación lineal:

$$\begin{array}{l} Z = \min cx \\ \text{s. a:} \\ Ax = b \end{array} \quad (9)$$

donde $A \in R^{m \times n}; c, x \in R^n; b \in R^m$

- **Optimización lineal Bi-Etapa Estocástica**

"La optimización lineal bi-etapa se representa de tal manera, se considera el vector x_1 como variables de primera etapa y x_2 las variables de la segunda" (Ramos, 2016)

Sea el problema lineal determinista bi-etapa(Ramos, 2016):

$$\begin{array}{l} \min_{x_1, x_2} (c_1^T x_1 + c_2^T x_2) \\ A_1 x_1 = b_1 \\ B_1 x_1 + A_2 x_2 = b_2 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{array} \quad (10)$$

Un problema lineal estocástico bi-etapa, donde se considera aleatoriedad en la segunda etapa, se define como(Ramos, 2016):

$$\begin{array}{l} \min_{x_1, x_2^\omega} c_1^T x_1 + \sum_{\omega \in \Omega} p^\omega c_2^{\omega T} x_2^\omega \\ A_1 x_1 = b_1 \\ B_1^\omega x_1 + A_2^\omega x_2^\omega = b_2^\omega \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{array} \quad (11)$$

p^ω =probabilidad de ocurrencia de un escenario

Optimización Robusta

La OR es un enfoque de optimización bajo incertidumbre basada en sets (o conjuntos) de información y representa una forma intuitiva y eficiente de lidiar con la incertidumbre de los parámetros al incorporar información adicional de las estimaciones puntuales de los retornos esperados y de sus covarianzas. (Zapata, 2022)

2.2.3. Metodologías, plataformas de desarrollo de software y lenguajes de programación.

2.2.3.1. Metodologías

Una metodología de desarrollo de software es un conjunto estructurado de técnicas, herramientas, procesos y procedimientos utilizados por un equipo de desarrollo de software para planificar, diseñar, implementar, probar y mantener un software de calidad que cumpla con los requisitos del usuario y se entregue dentro del plazo y presupuesto establecidos. (Pressman, 2014)

Tabla 1. Comparación entre metodologías importantes

Características	XP	RAD	RUP	SCRUM
Enfoque	Ágil	Iterativo	Iterativo	Ágil
Documentación	Baja	Media	Alta	Baja
Flexibilidad	Alta	Baja	Media	Alta
Escalabilidad	Media	Baja	Alta	Media
Pruebas	Si	Si	Si	Si

2.2.3.2. Sistema de gestión de base de datos NoSQL

Los Sistemas de Gestión de Bases de Datos NoSQL surgen como una solución alternativa para problemas que no se resuelven de manera eficiente por los SGBDs tradicionales. A diferencia de las bases de datos relacionales NoSQL tiene diversos modelos de datos, es reconocido que el término NoSQL hace referencia a base de datos de esquema flexible, distribuidas y que no se ajustan al modelo tradicional (Migani et al., 2018).

MongoDB, Cassandra, Neo4J y Redis son bases de datos NoSQL populares en el mercado. A continuación, se presentan algunas características y diferencias entre estos sistemas:

Tabla 2. Comparación entre sistema de gestión de bases de datos NoSQL.

Características	MongoDB	Cassandra	Neo4J	Redis
Modelo de datos	Documentos (JSON)	Columna ancha	Grafos	Clave-valor
Tipo de licencia	SSPL (Server-Side Public License)	Apache License 2.0	GPL (versión gratuita)	BSD 3-Clause

Costo	Gratuito (versión básica), pago para Atlas (SaaS)	Gratuito	Gratuito (Community), pago para Enterprise	Gratuito, opciones pagas (Redis Enterprise)
Lenguaje de consulta	MongoDB Query Language (MQL)	Cassandra Query Language (CQL)	Cypher	Comandos simples de Redis
Ventajas	Flexible, alta escalabilidad, integración con múltiples lenguajes	Alta disponibilidad, rendimiento en grandes volúmenes de datos	Ideal para relaciones complejas, rendimiento optimizado para grafos	Extremadamente rápido, ideal para caché y datos temporales
Desventajas	Uso intensivo de almacenamiento por duplicación de datos	Compleja configuración y mantenimiento	Menos eficiente para datos no relacionados.	No es ideal para almacenamiento de grandes volúmenes de datos.

2.2.3.3. Lenguajes de Programación

“Un lenguaje de programación es un conjunto de símbolos, reglas y notaciones utilizadas para escribir programas informáticos. Se utiliza para crear software, aplicaciones web, aplicaciones móviles y otros programas que permiten a los usuarios interactuar con la tecnología” (American Psychological Association, 2020, p. 214).

Tabla 3. Comparativa de lenguajes de programación más usados.

Características	Java	C#	C++	Python
Paradigma de programación	Orientado a objetos, estructurado, funcional	Orientado a objetos, estructurado	Orientado a objetos, estructurado	Orientado a objetos, estructurado, funcional
Tipo de lenguaje	Compilado interpretado	Compilado	Compilado	Interpretado
Portabilidad	Compatible con múltiples plataformas	Compatible con múltiples plataformas	Portable en entornos .NET	Compatible con múltiples plataformas
Uso en la industria	Ampliamente utilizado en aplicaciones empresariales y de servidor	Ampliamente utilizado en sistemas operativos, juegos y software de bajo nivel	Ampliamente utilizado en aplicaciones de escritorio y empresariales de Windows	Es utilizado en ciencia de datos, aplicaciones web e inteligencia artificial.

A continuación, en el capítulo III se describirá el enfoque metodológico adoptado en la investigación. Se definirá el tipo de investigación, la hipótesis. Las variables serán definidas y operacionalizadas, se detallarán los métodos utilizados y explicará el análisis estadístico.

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

El enfoque metodológico para este estudio es mixto - cuantitativo y se basa en la modelación matemática de sistemas dinámicos. Se utilizará un enfoque de optimización para abordar el problema de evacuación en dos etapas (two-stage).

Este enfoque permite representar la naturaleza dinámica y compleja de una evacuación ante una emergencia volcánica, considerando tanto la fase de preparación como la de respuesta inmediata.

En la fase de preparación, se prioriza la planificación de estrategias, identificando posibles escenarios críticos. Durante la fase de respuesta inmediata, la modelación dinámica permite ajustar las decisiones en función de las condiciones reales del desastre. La elección del enfoque representa la necesidad compleja que existe en los escenarios de evacuación, es así como los modelos matemáticos son herramientas claves para diseñar soluciones óptimas, además de que la programación matemática y la simulación permite que se reduzcan riesgos y optimizar la respuesta ante una emergencia, con esto aseguramos una eficiente asignación de recursos disponibles. (Santana-Robles et al., 2023)

3.1.2. Tipos de investigación

3.1.2.1. Investigación exploratoria

En la investigación se enfatiza lo que es el problema de la evacuación ante emergencias volcánicas, el cual es un tema poco analizado. La investigación exploratoria se caracteriza al centrarse en un problema de investigación el cual ha sido poco estudiado o mínimamente analizado, este tipo de estudios nos sirve para ampliar el nivel de familiaridad con fenómenos desconocidos, (Hernández Sampieri et al., 2006)

3.1.2.2. Investigación Correlacional

La investigación correlacional se usa gracias a que en este tipo de investigaciones su objetivo es medir el nivel de relación entre dos o más definiciones o dicho de otra forma variables. Estos estudios correlacionales miden las variables que se aspira ver si se encuentran o no relacionadas y posteriormente analizar su correlación, (Hernández Sampieri et al., 2006)

3.1.2.3. Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva tiene como objetivo principal describir y caracterizar un fenómeno o situación tal y como se presenta en la realidad. Es decir, busca obtener una imagen detallada y completa de los aspectos más relevantes de un objeto de estudio, sin intervenir en él ni modificarlo. Esta investigación “busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice” (Hernández Sampieri et al., 2006)

3.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Un sistema matemático-computacional minimiza los costos en la toma de decisiones de evacuación en eventos catastróficos asociados a una erupción volcánica en la provincia del Carchi.

3.2.1. Demostración de la hipótesis de investigación

En este proyecto de titulación la hipótesis es de tipo descriptiva según lo estipulado en (Hernández Sampieri et al., 2006); es decir, una verdad anticipada que será respaldada con simulaciones de software a través de la propuesta integral de solución.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1. Definición de las variables

Variable independiente (VI). - Sistema matemático – computacional.

Variable dependiente (VD). – Minimización de los costos de decisión en la evacuación ante eventos catastróficos severos causados por erupción volcánica en la provincia del Carchi.

3.3.2. Operacionalización de las variables

Tabla 4. Operacionalización de variables

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Técnicas	Instrumento
VI	En el contexto de la propuesta se entiende como modelo matemático a la estructura multidimensional que representa el problema de investigación (evacuación efectiva de personal ante una emergencia volcánica en el Carchi) y como modelo computacional al sistema informático que facilitará la toma de decisiones basadas en información incierta inherente a los datos.	Métodos de optimización	Costo de transporte Penalizaciones Costo de mantenimientos Capacidad de centros Población vulnerable Probabilidad de escenario	Optimización Estocástica	Análisis de sensibilidad: Este análisis consiste en medir el impacto que tienen los cambios en una variable o más y como puede afectar el resultado final de un modelo.
		Características del sistema	Aspectos Técnicos Aspectos funcionales Capacidad de datos	Arquitectura de software basada en el proceso de unificado de desarrollo de software (RUP).	
VD	En la investigación se hace referencia a la minimización de costos como las soluciones optimas que se obtendrán para la resolución del problema, las decisiones obtenidas serán factibles ante cualquier situación sujetas a las restricciones dadas.	Costos Directos Costos indirectos Efectividad de las decisiones	Costos de transporte Costo de alojamiento temporal Tiempo de respuesta Cobertura de evacuación	Recolección de datos Simulación de escenarios	

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Métodos teóricos

Histórico lógico: Reconocido a partir del estudio de los antecedentes del problema y la evolución a una propuesta de solución matemática y computacional.

Analítico sintético: La multidimensionalidad del problema de evacuación establece nexos entre diferentes criterios (problema logístico de evacuación, formulación matemática y solución tecnológica).

Inductivo deductivo: Se establece un camino de lo general (situación de emergencia) a lo particular (evacuación de una comunidad aledaña al volcán Chiles - Cerro Negro).

3.4.2. Métodos Prácticos

3.4.2.1. Modelación matemática

Se desarrollará un modelo matemático de programación lineal bi-etapa que capture las características esenciales del problema de evacuación. (Fernández-Fernández et al., 2023)

Índices

Localidad vulnerable: $i \in L$

Centro seguro: $j \in CS$

Alertas: $w \in \text{Omega}$

Parámetros

$C(i, j)$: Costo unitario de transporte de localidad (i) a centro seguro (j)

$\theta +$: Costo de penalización para personas no evacuadas

$\theta -$: Costo de penalización para personas sobre evacuadas

$A(j)$: Costo de mantenimiento de centro seguro (j)

$K(j)$: Capacidad de Centro seguro (j)

$V(i, w)$: Población vulnerable para escenario (w) en localidad (i)

$\pi(w)$: Probabilidad de escenario (w)

Variables de decisión

$Y(j)$: {1 si centro seguro es seleccionado; caso contrario 0}

$X(i, j)$: Número de personas a evacuar de localidad (i) a centro seguro (j)

$\delta + (i, w)$: Número de personas vulnerables no evacuadas de localidad (i) en escenario (w)

$\delta - (i, w)$: Número de personas vulnerables sobre evacuadas de localidad (i) en escenario (w)

Función Objetivo

$$\text{Min } Z = \sum_{(i,j)} C_{(i,j)} \cdot X_{(i,j)} + \sum_{(j)} A_{(j)} \cdot Y_{(j)} + \sum_{(i,w)} \pi_{(w)} \cdot [\theta + \cdot \delta_{+(i,w)} + \theta - \cdot \delta_{-(i,w)}] \quad (12)$$

Restricciones

Capacidad de alojamiento

$$\sum_{(i)} X_{(i,j)} \leq K_{(j)} \cdot Y_{(j)} \quad \forall j \in C \quad (13)$$

Evacuación: Para cada escenario

$$\sum_{(j)} [X_{(i,j)}] + \delta_{+(i,w)} - \delta_{-(i,w)} = v_{(w,i)} \quad (14)$$

$\forall i \in L, w \in \text{Omega}$

Tipo de variable:

$$X_{(i,j)}, \delta_{+(i,w)}, \delta_{-(i,w)} \in Z^+, Y_{(j)} \in \{0,1\} \quad (15)$$

$i \in L, \quad j \in CS, \quad w \in \text{Omega}$

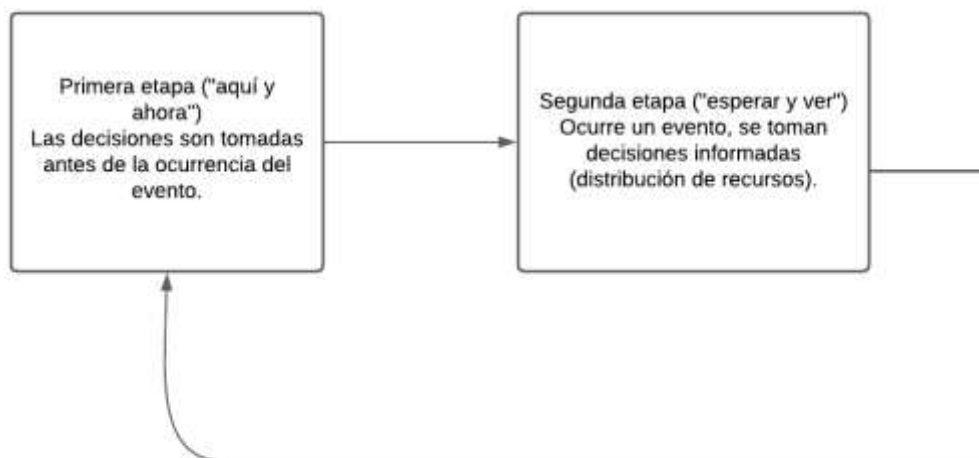


Figura 4. Modelo en dos etapas

3.4.2.2. Análisis de sistemas dinámicos

Se utilizará para comprender y representar las interacciones complejas entre los diferentes componentes del sistema de evacuación a través de teoría reticular. (Fernández-Fernández et al., 2023)

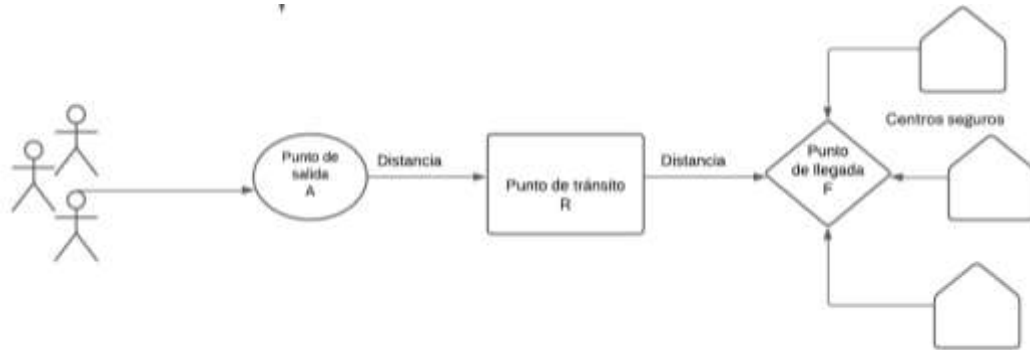


Figura 5. Red de flujo

3.4.3. Técnicas

i. Diagramas de influencia: Se utilizarán para conceptualizar el sistema y visualizar las relaciones causales entre las variables del modelo de evacuación. (Fernández-Fernández et al., 2023)

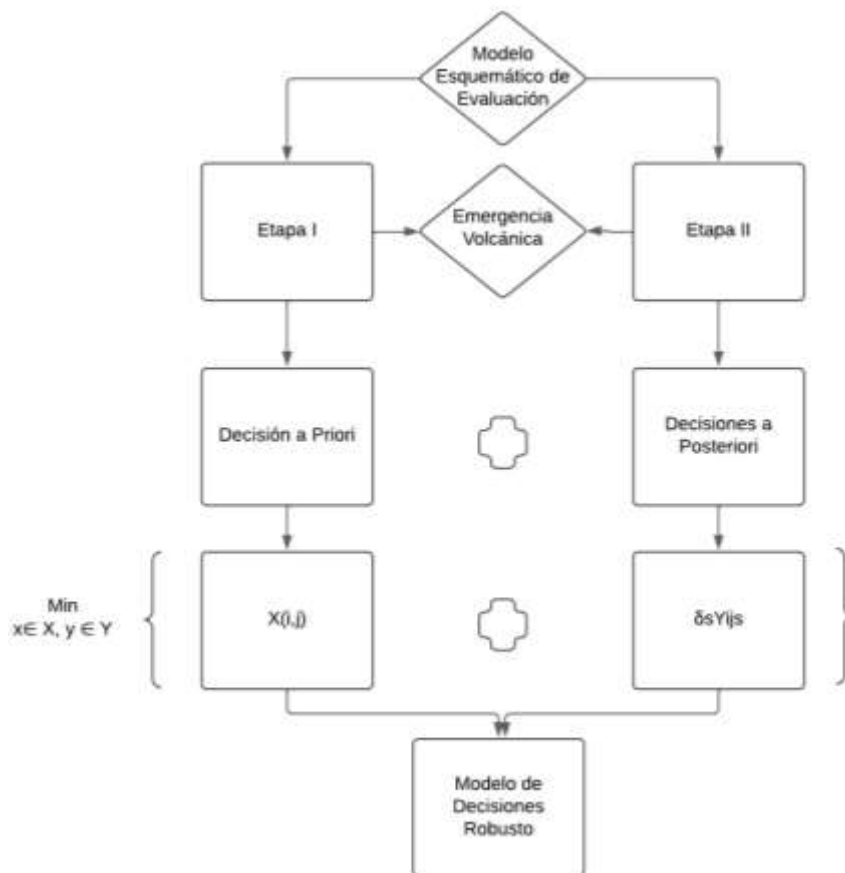


Figura 6. Modelo esquemático de evacuación

Donde:

$X(i,j)$: Variables de control para la evacuación de personas vulnerables de la localidad i al centro seguro j

$Y(ijs)$: Variable de ajuste para la evacuación de personas vulnerables bajo el escenario δ

$\delta(s)$: Probabilidad de ocurrencia del escenario δ

ii. Esquemas de Metodología RUP: Se empleará para representar de manera más detallada la estructura del modelo matemático y facilitar su implementación computacional.

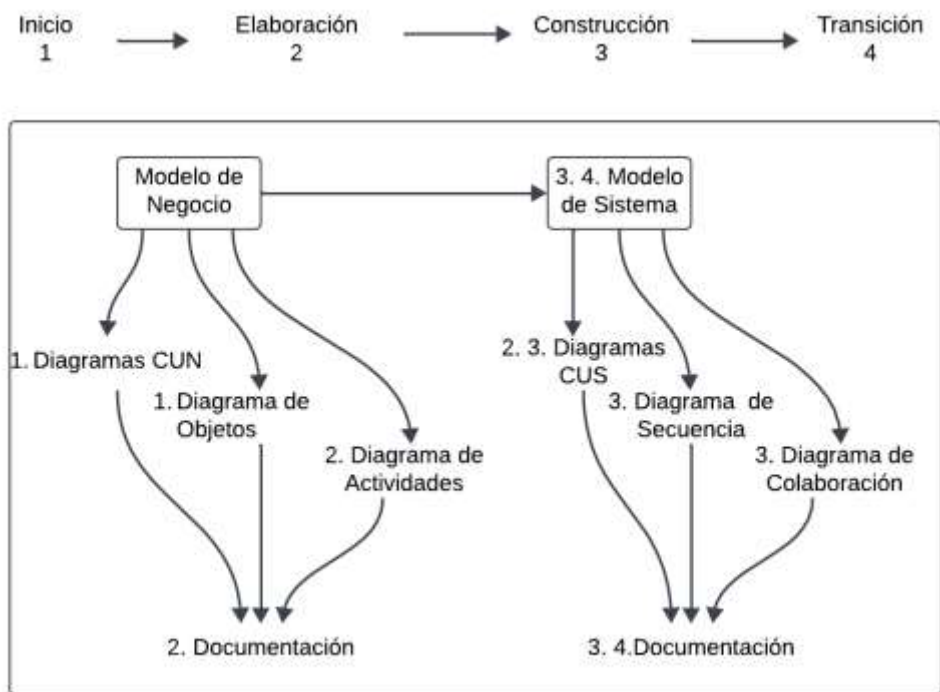


Figura 7. Esquema de Metodología y sus fases

iii. Programación computacional: Se utilizará software especializado para implementar y resolver el modelo de optimización.

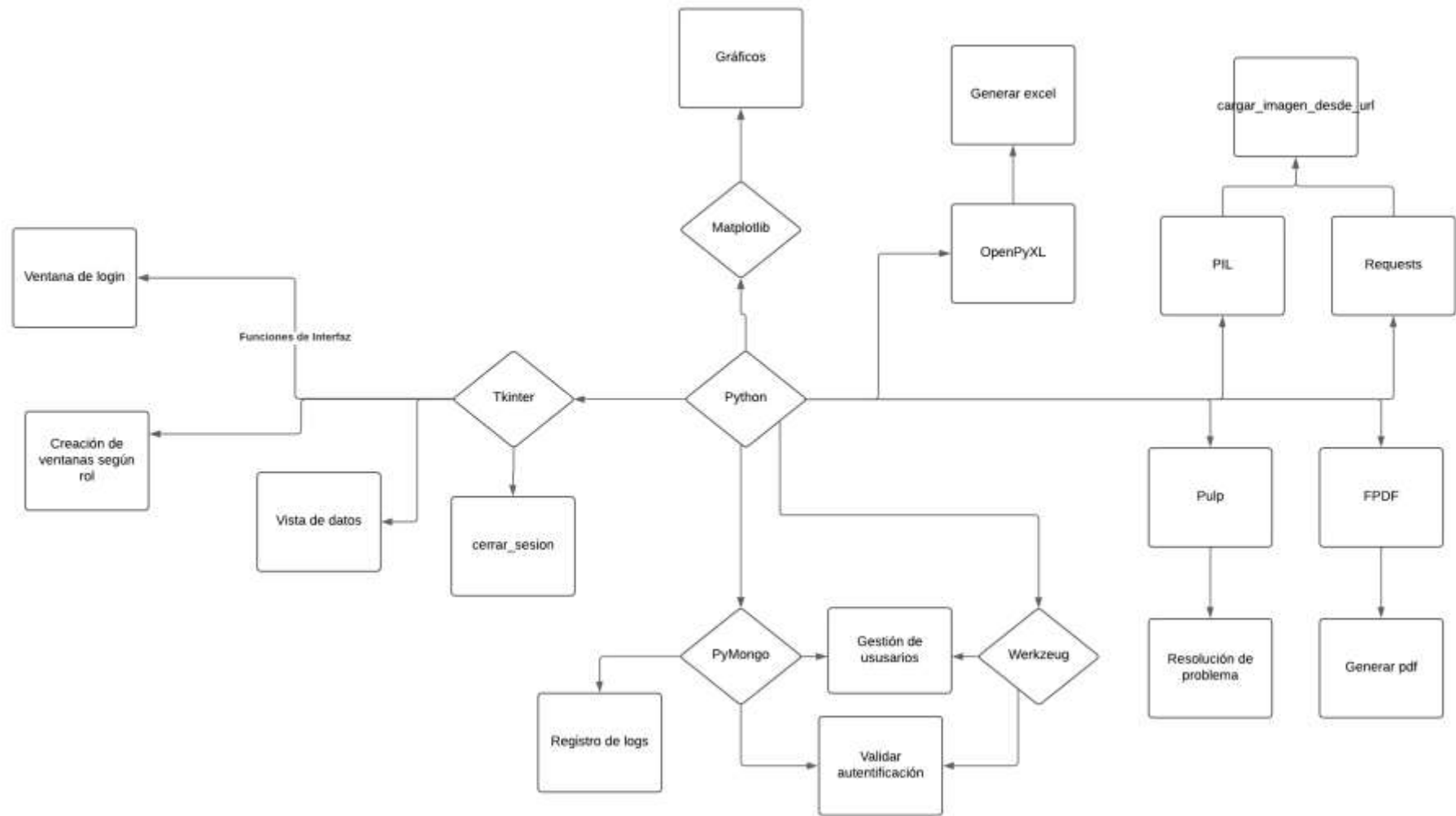


Figura 8. Software especializado en Python

iv. Simulación numérica: Se realizarán simulaciones para evaluar el comportamiento del modelo bajo diferentes escenarios y parámetros

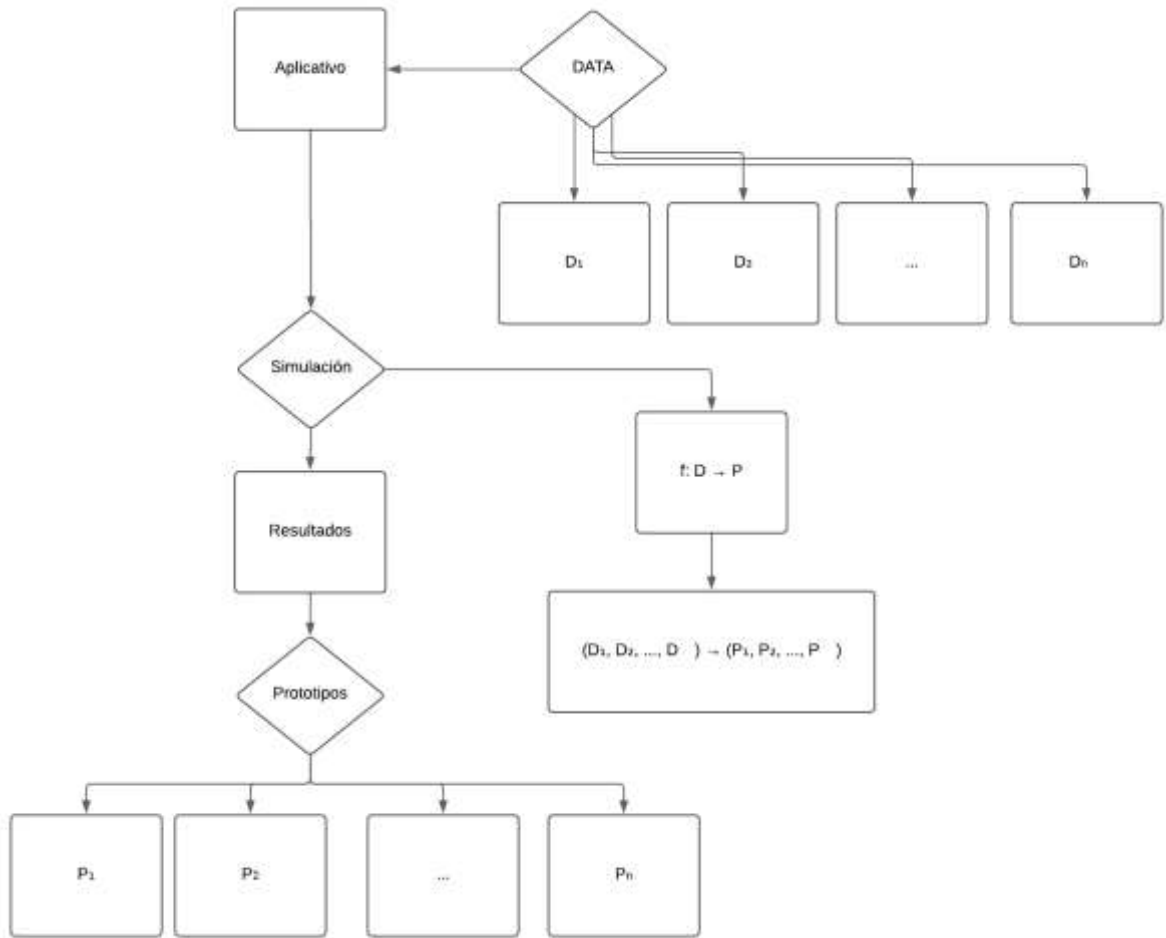


Figura 9. Simulación numérica

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico en este estudio se centrará en:

i. Población y muestra.

La población se define como “conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (Hernández Sampieri et al., 2006). Debido a esto se ha considerado que la población está conformada por la totalidad de habitantes en las parroquias cercanas a los volcanes y por ende son las poblaciones vulnerables, para esto se usaron datos oficiales del último censo, el cual consta con un total de 9164 personas.

Tabla 5. Población

Parroquia	Población
Tufiño	2692
Maldonado	2069
Chical	4403

Cálculo del tamaño de la muestra conociendo el tamaño de la población

Muestra

Se debe señalar que la muestra es una porción o parte que representa a una población. Para calcular la muestra en esta investigación se utilizará la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{e^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q} \quad (16)$$

En donde:

n= valor de muestra poblacional a determinar

N= tamaño de población vulnerable

Z= nivel de confianza

p= proporción esperada, probabilidad de éxito

q= probabilidad de fracaso

e= margen de error

Cálculo de la muestra

$$n = \frac{9164 \cdot (1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot (1 - 0.5)}{(0.05)^2 \cdot (9164 - 1) + (1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot (1 - 0.5)} \quad (17)$$
$$n = \frac{9164 \cdot 3.8416 \cdot 0.25}{0.0025 \cdot 9163 + 3.8416 \cdot 0.25}$$
$$n = 369$$

En contexto de la presente investigación, se estimó un tamaño de muestra de 369 personas la cual se consiguió a partir de una población vulnerable de 9164 personas. Este cálculo se realizó usando un nivel de confianza del 95% y un margen de error de 5%, haciendo uso de la fórmula de poblaciones finitas, esto conlleva a que el tamaño de la muestra es estadísticamente suficiente para representar las características de la población vulnerable teniendo un nivel de precisión aceptable y baja probabilidad de error muestral.

- ii. **Análisis de sensibilidad:** Se evaluará cómo los cambios en los parámetros del modelo afectan los resultados de la evacuación, además esto proporcionará al usuario información sobre los rangos dentro de los que aún las soluciones siguen siendo válidas, usando herramientas como Solver y métodos iterativos. (Loranca et al., 2019)

A continuación, el capítulo IV mostrará los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del sistema. Se describirán las fases de la metodología RUP (inicio, elaboración, construcción y transición) incluyendo el prototipo del sistema propuesto para la evacuación en emergencias volcánicas. En la discusión, se analizarán los hallazgos y evaluarán su relevancia y aplicabilidad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos a lo largo del proceso de desarrollo del sistema. Este desarrollo se sustentó en los principios de la ingeniería de software, los que fueron aplicados mediante la metodología Rational Unified Process (RUP), la cual se definiría como un marco de desarrollo iterativo y centrado, en la gestión de riesgos. La ingeniería de software permitió estructurar el proyecto desde una perspectiva tanto técnica como metodológica, permitiendo que cada fase contribuya a un producto robusto y funcional.

La metodología RUP, con sus fases definidas e iterativas, aportó como guía para la construcción del sistema, cada fase del proceso incorporó elementos de diseño, pruebas y validación.

4.1.1. Metodología RUP (Rational Unified Process)

4.1.1.1. Fase de Inicio

Durante la fase de inicio se enfoca en las actividades del modelamiento del negocio y los requerimientos. Así como, el alcance del proyecto y los objetivos clave, además de identificar riesgos para garantizar el desarrollo.

4.1.1.1.1. Modelo de Negocio

En la figura 10 se puede observar a los actores del negocio los cuales son los individuos e instituciones que requieren de un servicio de sistema.



Figura 10. Actores de negocio

En la figura 11 se observa a los trabajadores del negocio, los cuales desempeñan funciones operativas, administrativas o estratégicas para llegar al objetivo del negocio.

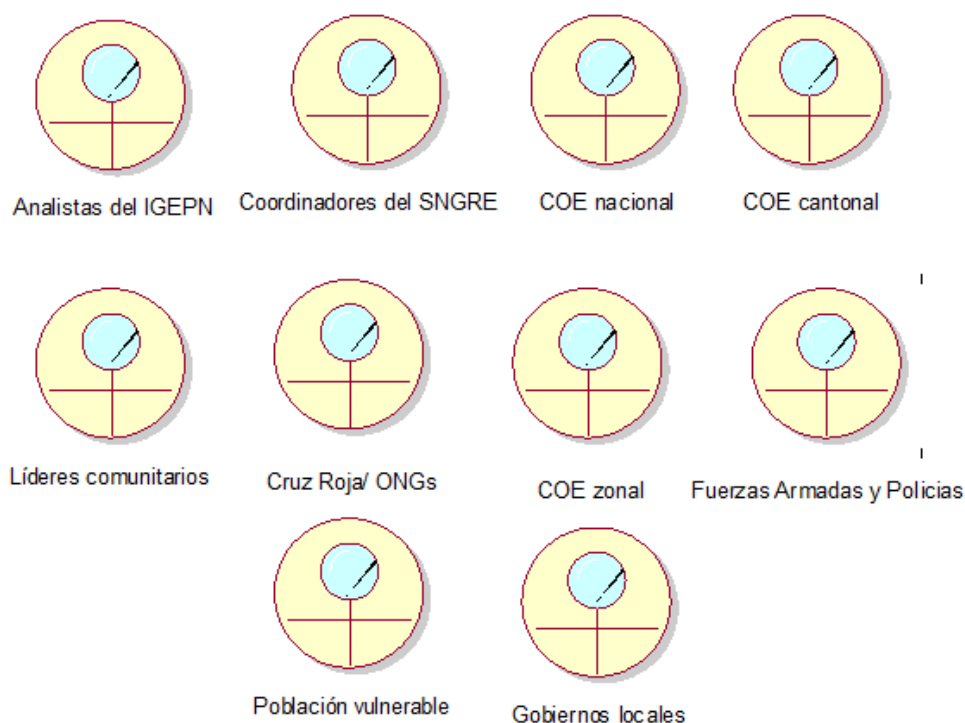


Figura 11. Trabajadores del negocio

En la figura 12 permite contar los casos de uso del negocio (CUN), los cuales reflejan el proceso que se lleva a cabo en el negocio.

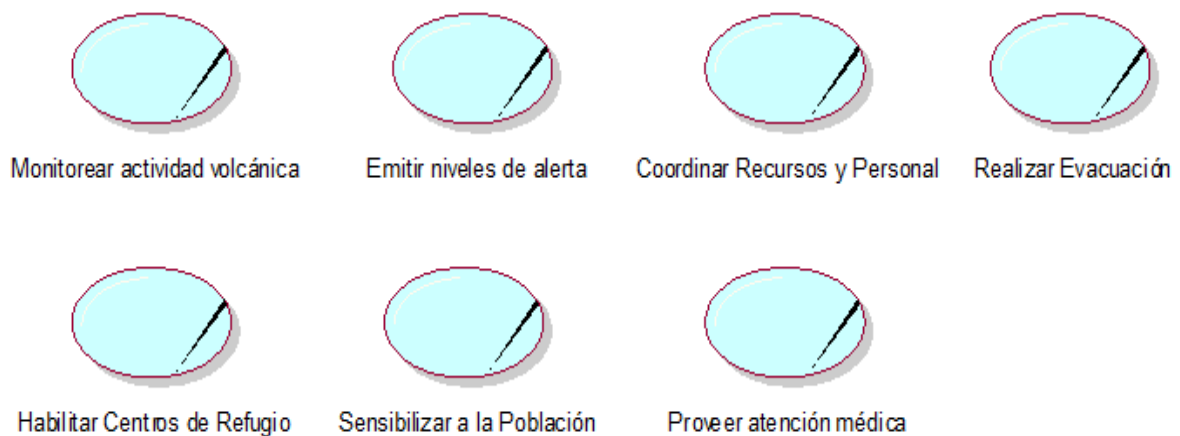


Figura 12. Casos de uso del negocio

Especificaciones de los CUN (Casos de Uso del Negocio)

Tabla 6. CUN Monitorear Actividad Volcánica

Elemento	Especificación
Nombre	Monitorear Actividad Volcánica
Propósito	Detectar actividad sísmica y volcánica inusual y generar reportes técnicos.
Actor(es)	IGEPN
Descripción	El IGEPN utiliza sensores para monitorear datos sísmicos y volcánicos.
Flujo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Activar el monitoreo. 2. Recopilar datos. 3. Analizar la actividad.
Precondiciones	Sensores operativos y red de monitoreo activa.
Postcondiciones	Reporte generado y enviado al SNGRE.

Tabla 7. CUN Emitir Alerta de Emergencia

Elemento	Especificación
Nombre	Emitir Alerta de Emergencia
Propósito	Informar a la población y actores clave sobre un riesgo inminente.
Actor(es)	SNGRE, COE Nacional
Descripción	El SNGRE evalúa el nivel de riesgo y emite alertas según los protocolos.
Flujo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recibir reporte del IGEPN. 2. Evaluar el nivel de alerta. 3. Emitir alerta pública y notificar al COE.
Precondiciones	Información técnica del IGEPN disponible.
Postcondiciones	Alerta emitida a la población y actores.

Tabla 8. CUN Coordinar Recursos y Personal

Elemento	Especificación
Nombre	Coordinar Recursos y Personal
Propósito	Asegurar la disponibilidad de recursos y personal para enfrentar la emergencia.
Actor(es)	SNGRE, COE Nacional, COE Zonal
Descripción	El SNGRE coordina recursos y personal con los COE Nacional y Zonales.
Flujo Principal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar necesidades. 2. Consultar disponibilidad. 3. Asignar recursos y personal.
Precondiciones	Recursos e inventario actualizado.
Postcondiciones	Recursos asignados y personal desplegado.

Tabla 9. CUN Realizar Evacuación

Elemento	Especificación
Nombre	Realizar Evacuación
Propósito	Salvaguardar a la población de zonas de riesgo.
Actor(es)	Fuerzas Armadas, Policía Nacional, Gobiernos Locales, Población Vulnerable
Descripción	Se ejecuta un plan para evacuar a personas de las zonas de riesgo hacia refugios. 1. Activar protocolo de evacuación.
Flujo Principal	2. Coordinar transporte. 3. Confirmar evacuación completada.
Precondiciones	Plan de evacuación diseñado y transporte disponible.
Postcondiciones	Zonas de riesgo despejadas.

Tabla 10. CUN Habilitar Centros de Refugio

Elemento	Especificación
Nombre	Habilitar Centros de Refugio
Propósito	Proporcionar un lugar seguro y con insumos básicos para los evacuados.
Actor(es)	Gobiernos Locales, Cruz Roja
Descripción	Se establecen albergues con infraestructura adecuada y recursos básicos. 1. Identificar refugios disponibles.
Flujo Principal	2. Coordinar insumos y personal. 3. Habilitar refugios operativos.
Precondiciones	Refugios identificados y recursos disponibles.
Postcondiciones	Centros de refugio habilitados y en operación.

Tabla 11. Sensibilizar a la Población

Elemento	Especificación
Nombre	Sensibilizar a la Población
Propósito	Aumentar la conciencia y preparación ante emergencias.
Actor(es)	Gobiernos Locales, Líderes Comunitarios, SNGRE
Descripción	Se realizan campañas educativas y simulacros para la población. 1. Diseñar campañas educativas.
Flujo Principal	2. Difundir información. 3. Realizar simulacros.
Precondiciones	Material educativo disponible.
Postcondiciones	Población mejor preparada para emergencias.

Tabla 12. CUN Proveer Atención Médica

Elemento	Especificación
Nombre	Proveer Atención Médica
Propósito	Atender las necesidades de salud de las personas afectadas.
Actor(es)	Cruz Roja
Descripción	Los equipos médicos brindan atención a heridos y enfermos en refugios y zonas de emergencia. 1. Activar equipos médicos.
Flujo Principal	2. Evaluar necesidades. 3. Atender a las personas afectadas.
Precondiciones	Equipos médicos y personal disponibles.
Postcondiciones	Personas afectadas atendidas y estabilizadas.

4.1.1.1.2. Desarrollo de los CUN

CUN Monitorear Actividad Volcánica

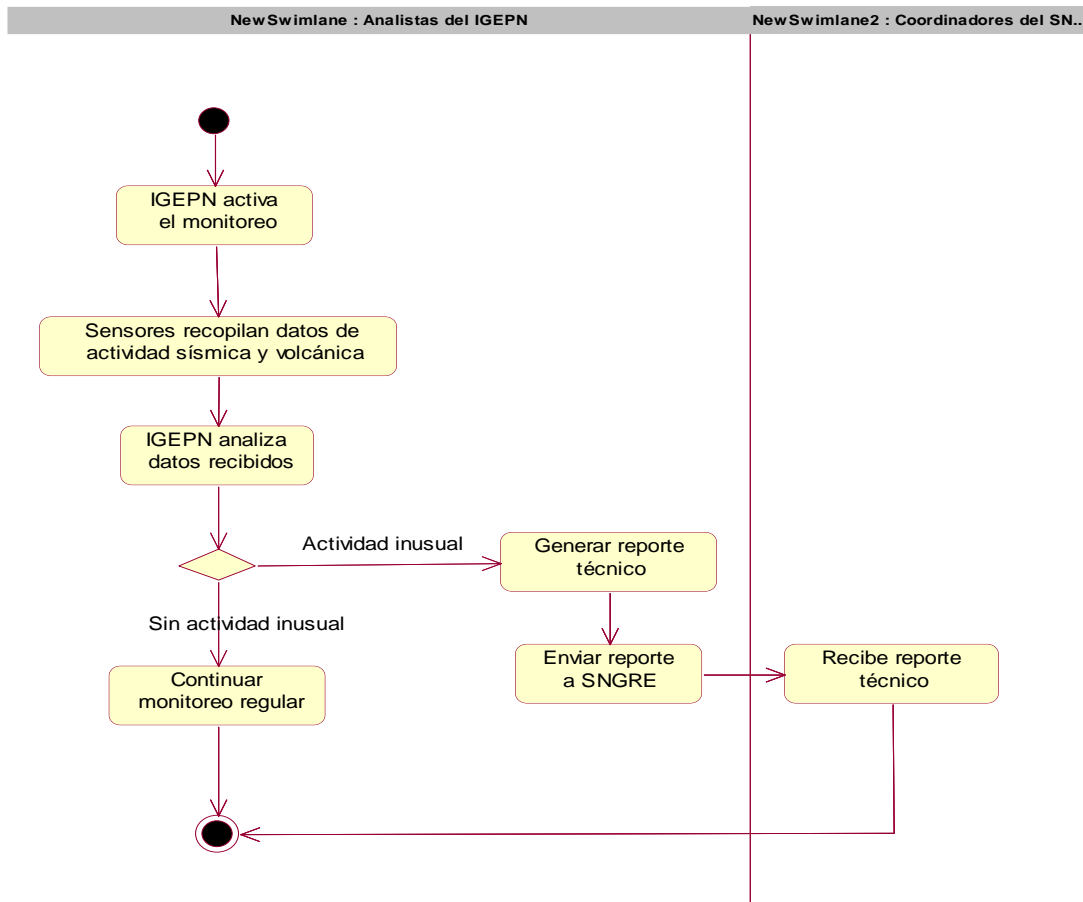


Figura 13. Diagrama de Actividad CUN Monitorear Actividad Volcánica

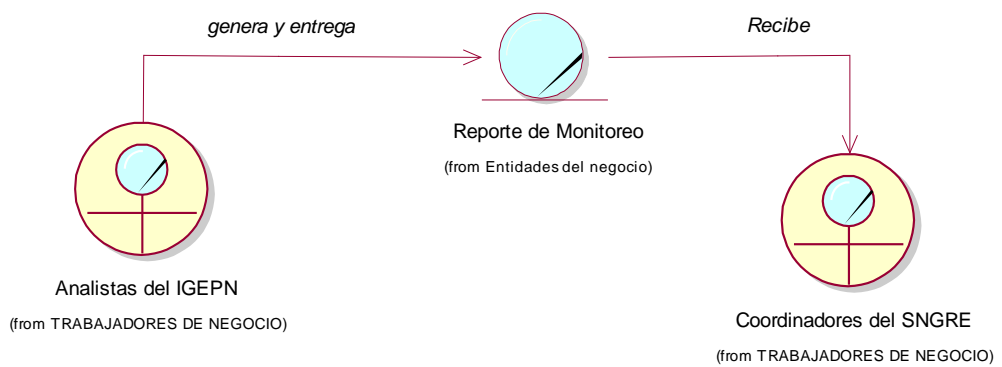


Figura 14. Diagrama de Objetos CUN Monitorear Actividad Volcánica

CUN Emitir Alerta de Emergencia

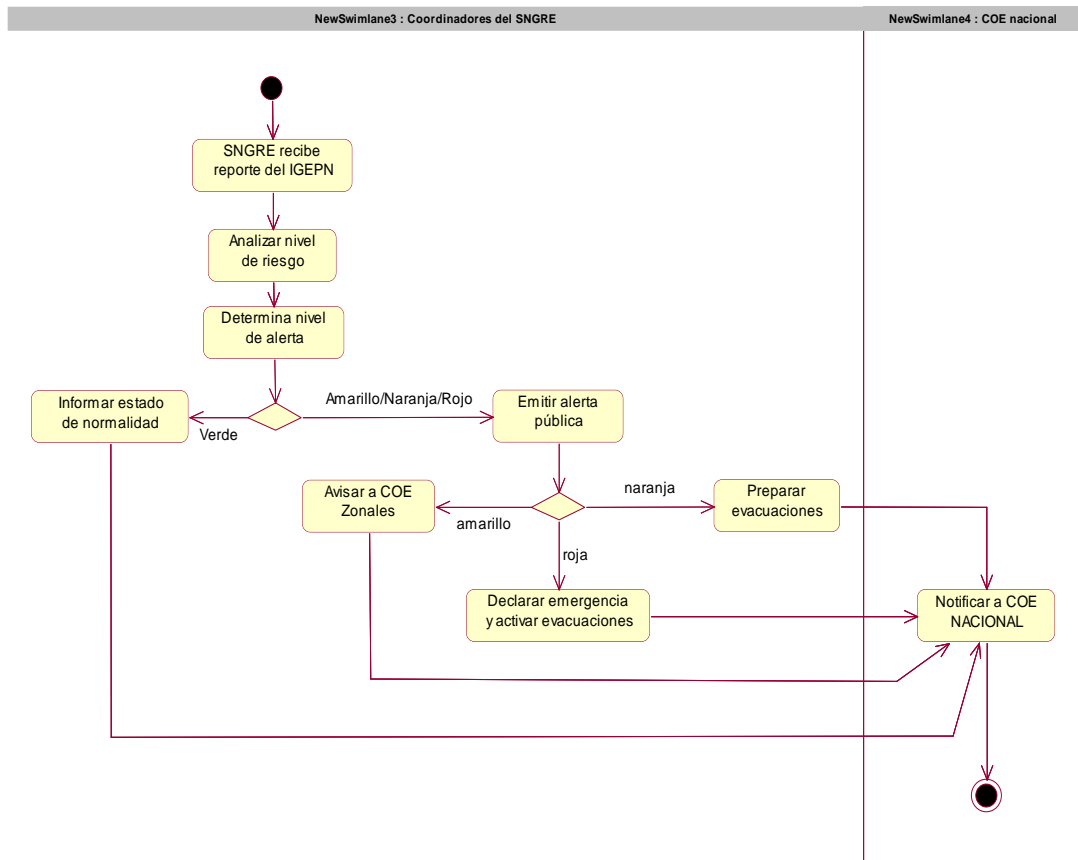


Figura 15. Diagrama de Actividad CUN Emitir Alerta de Emergencia

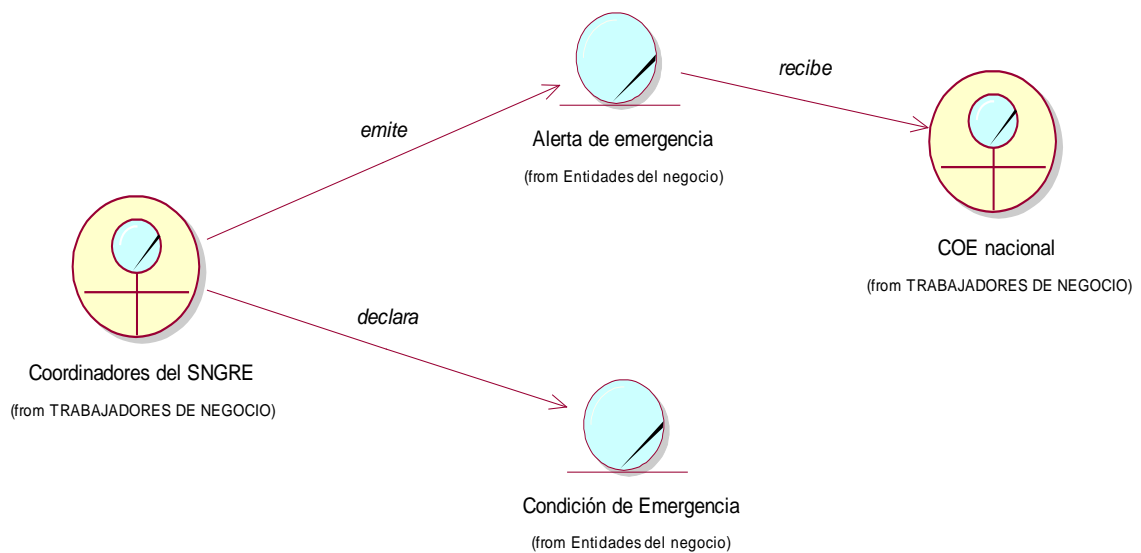


Figura 16. Diagrama de Objetos CUN Emitir Alerta de Emergencia

CUN Coordinar Recursos y Personal

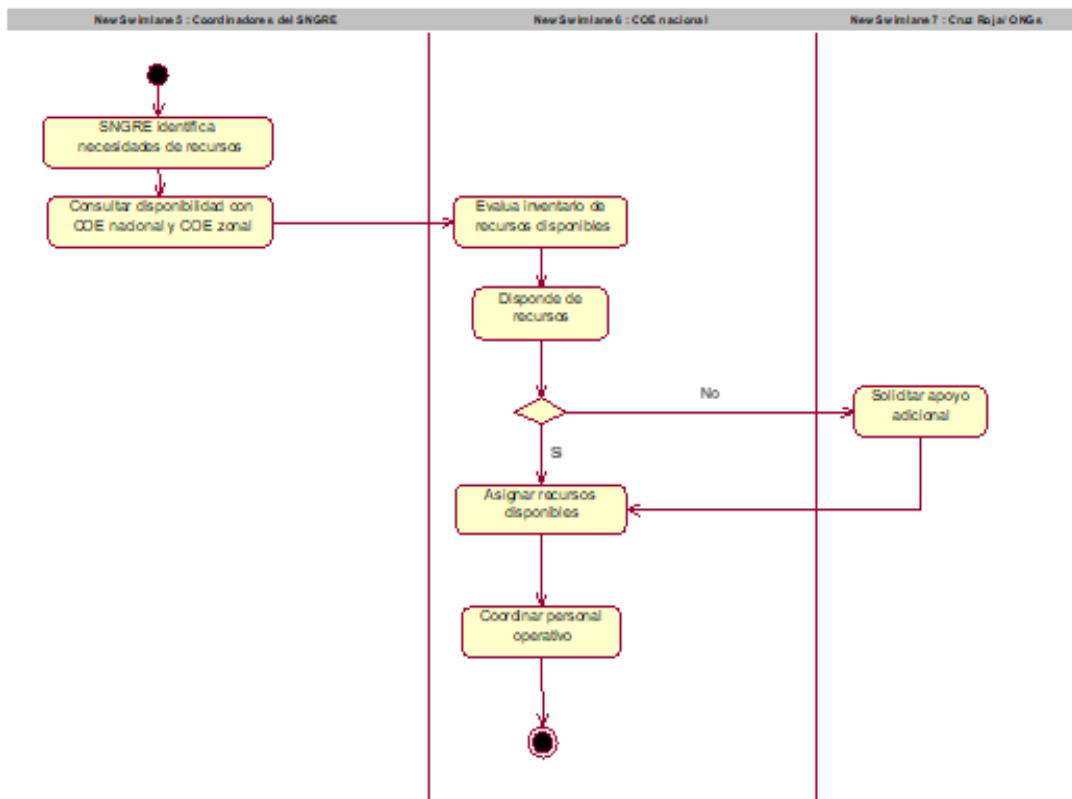


Figura 17. Diagrama de Actividad CUN Coordinar Recursos y Personal

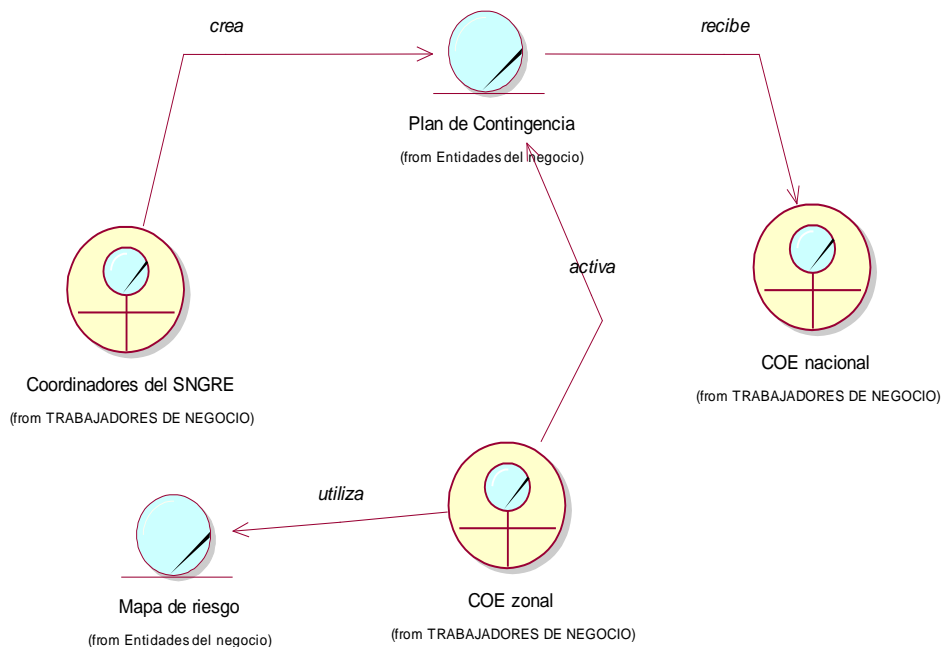


Figura 18. Diagrama de Objetos CUN Coordinar Recursos y Personal

CUN Realizar Evacuación

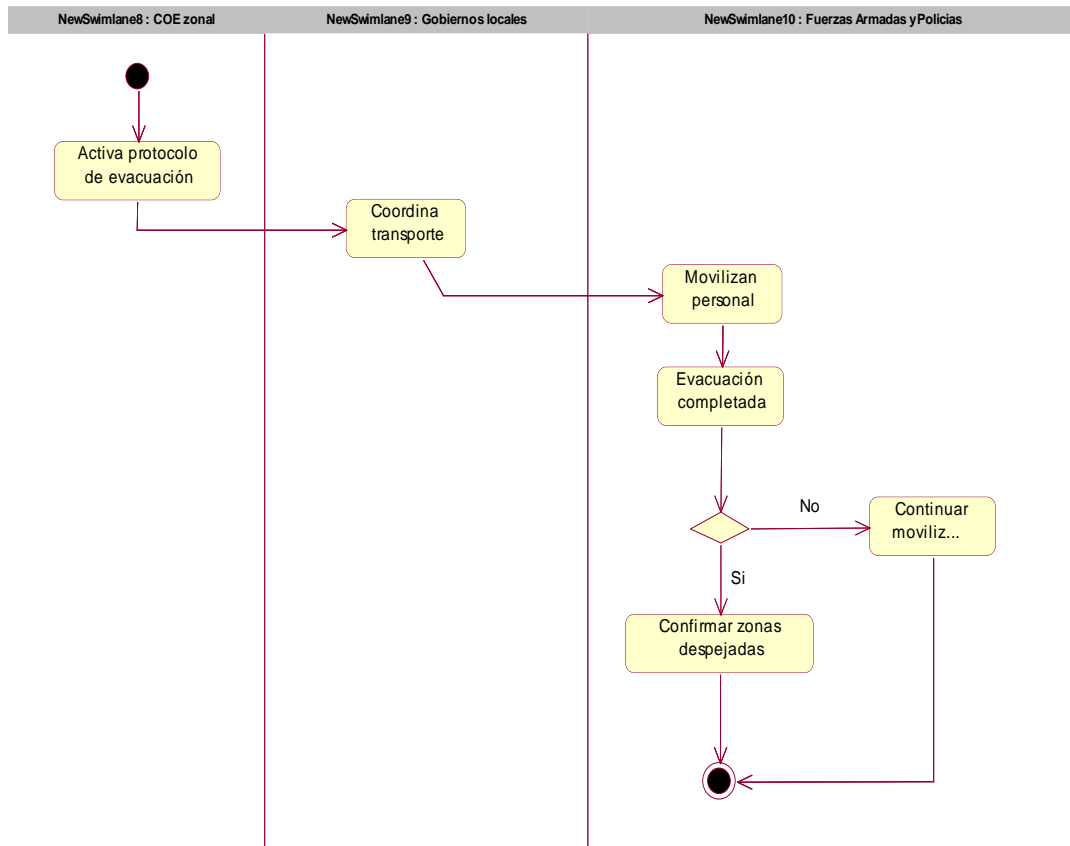


Figura 19. Diagrama de Actividad CUN Realizar Evacuación

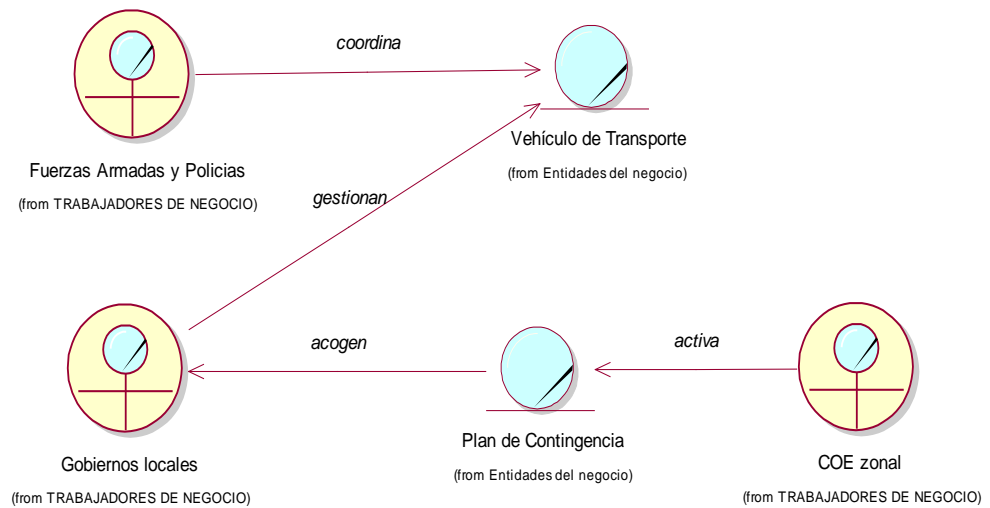


Figura 20. Diagrama de Objetos CUN Realizar Evacuación

CUN Habilitar Centros de Refugio

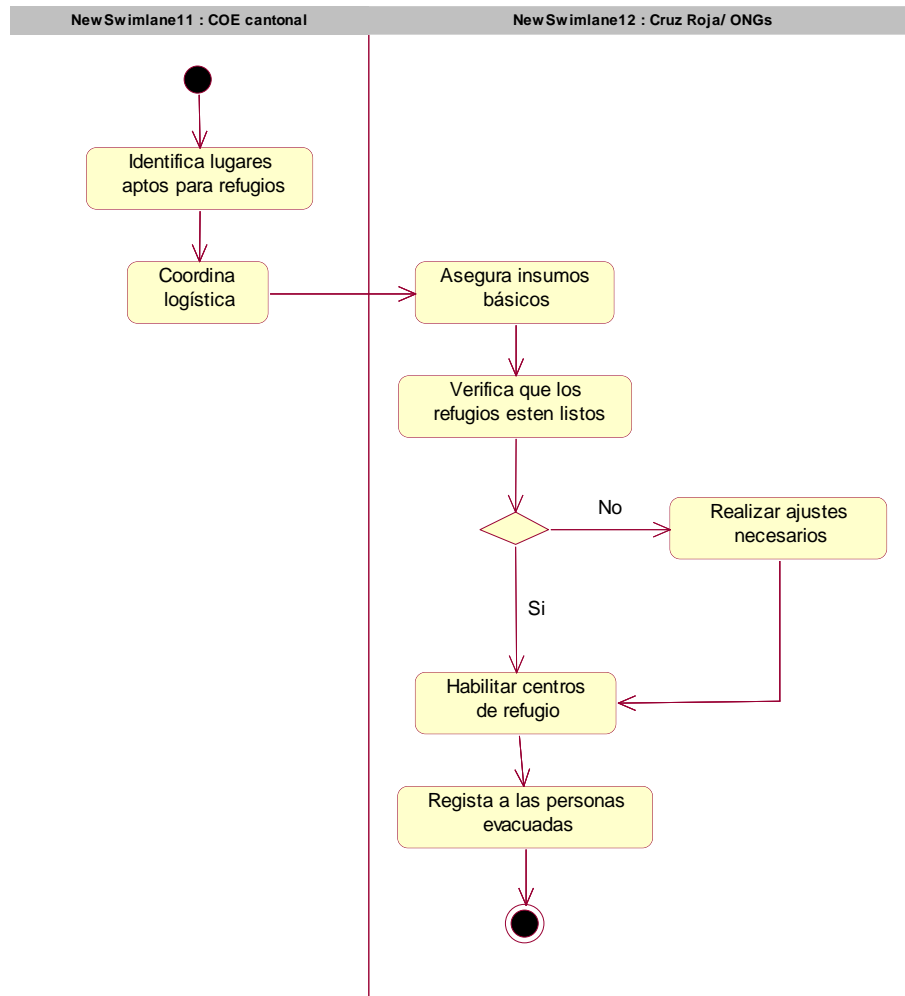


Figura 21. Diagrama de Actividad CUN Habilitar Centros de Refugio

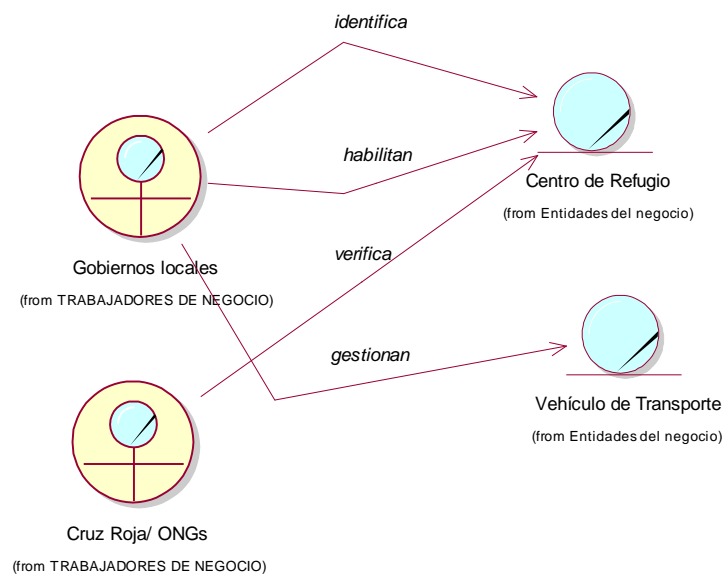


Figura 22. Diagrama de Objetos CUN Habilitar Centros de Refugio

CUN Sensibilizar a la Población

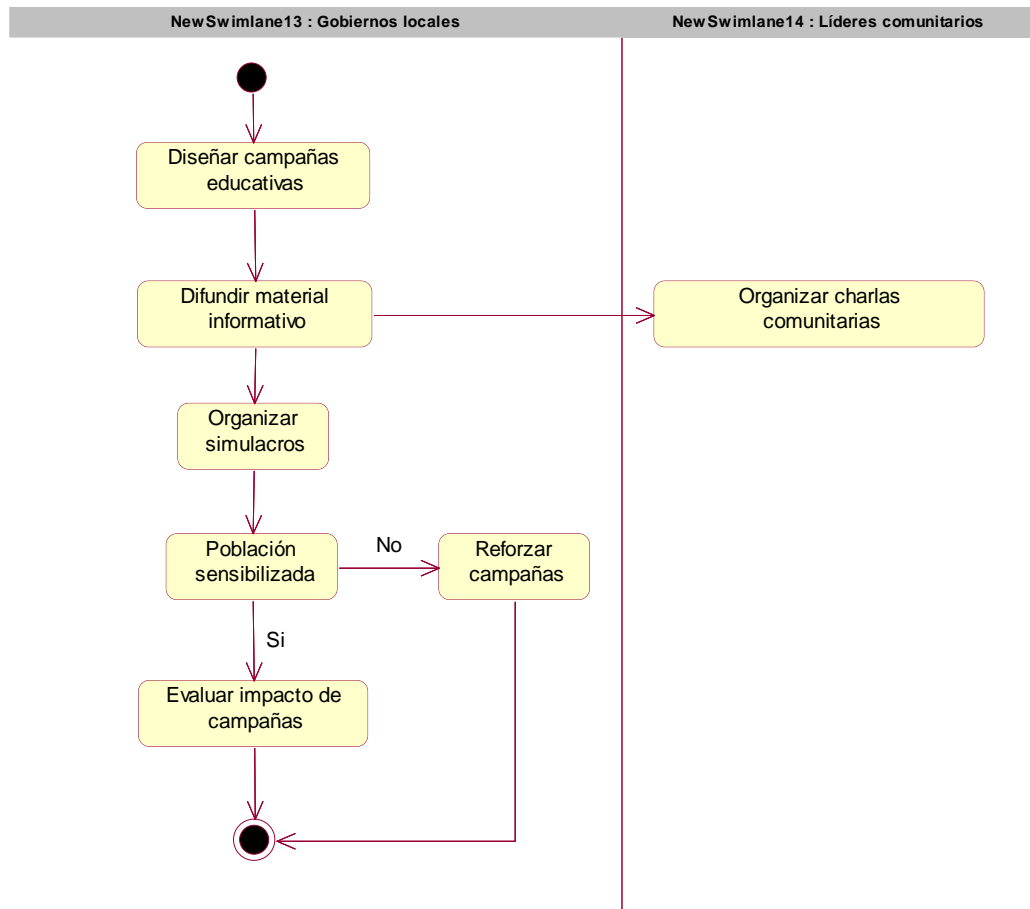


Figura 23. Diagrama de Actividad CUN Sensibilizar a la Población

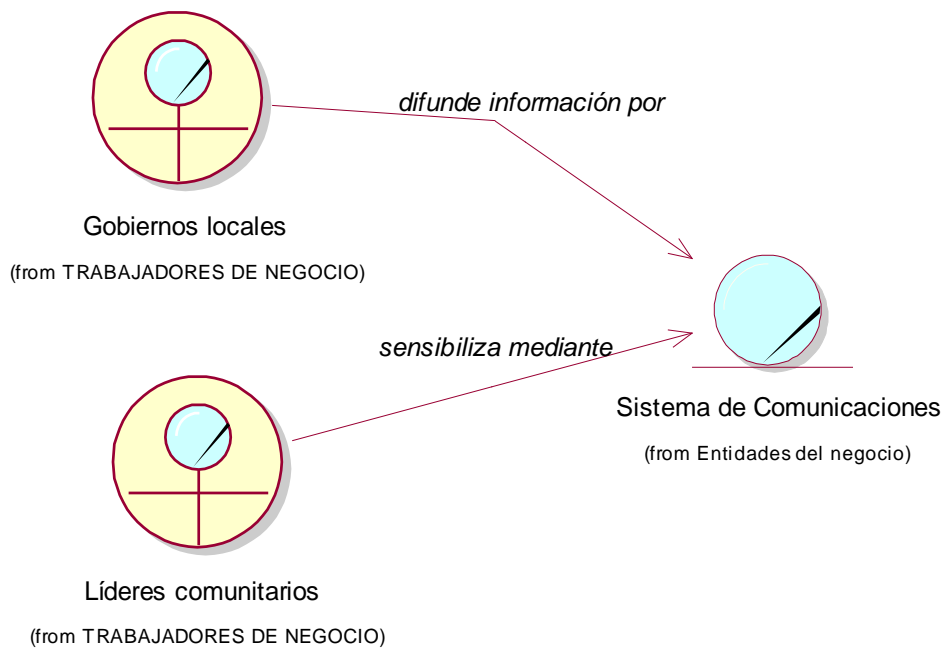


Figura 24. Diagrama de Objetos CUN Sensibilizar a la Población

CUN Proveer Atención Médica

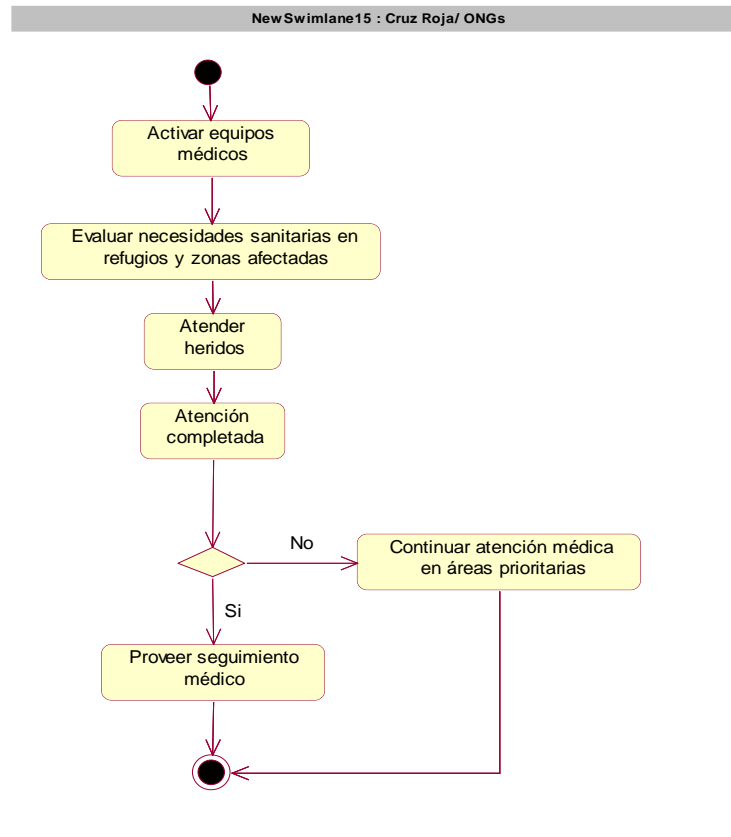


Figura 25. Diagrama de Actividad CUN Proveer Atención Médica

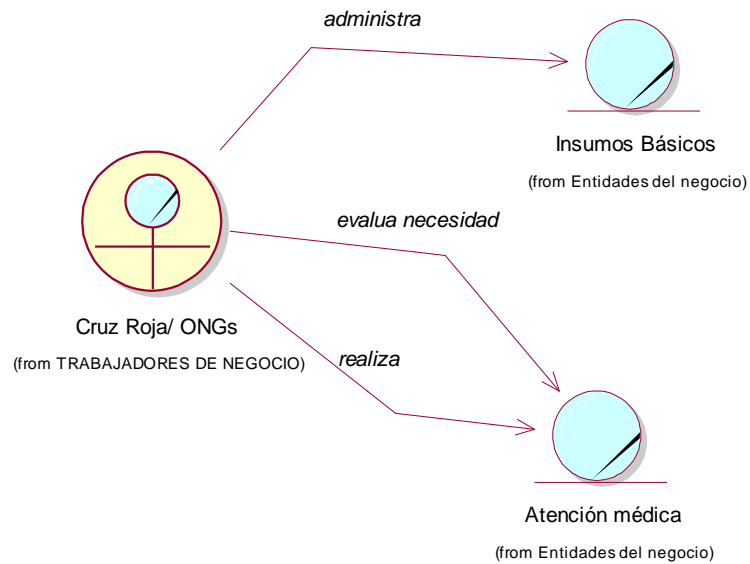


Figura 26. Diagrama de Objetos CUN Proveer Atención Médica

4.1.1.1.3. Diagrama Caso de Uso de Negocio

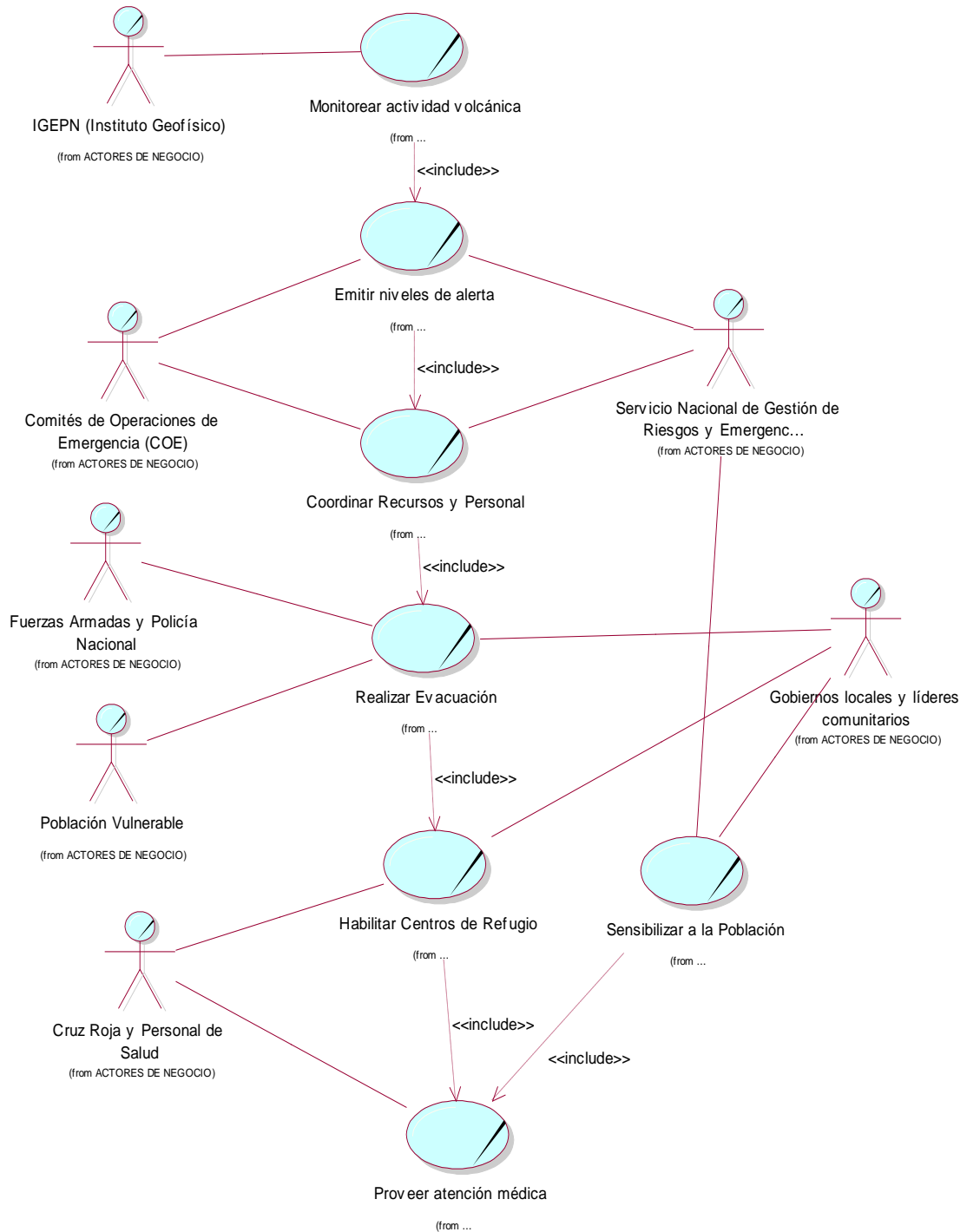


Figura 27. Diagrama Caso de Uso de Negocio

4.1.1.2. Fase de Elaboración

En esta fase de elaboración, las iteraciones se enfocan en el desarrollo del diseño base, es decir, se establece la arquitectura base del sistema, se afinan requerimientos y se realiza una planificación clara del proyecto.

4.1.1.2.1. Requerimientos funcionales

A continuación, se mostrarán los requerimientos funcionales, estos estarán agrupados según al Caso de Uso al que pertenezcan para mantener una mejor legibilidad.

Tabla 13. Requerimientos Funcionales CU del sistema Ingresar Datos de Simulación

ID	Nombre del Requerimiento	Descripción	Prioridad	Actor
RF01	Ingresar datos de simulación	Permitir al usuario ingresar localidades, centros seguros, capacidades y costos.	Alta	Administrador
RF13	Validar datos ingresados por el usuario	Verificar que los datos cumplan restricciones como la suma de probabilidades igual a 1.	Alta	Administrador
RF20	Editar datos ingresados	Permitir la edición de datos previamente ingresados en la interfaz gráfica.	Alta	Administrador
RF31	Crear tabuladores para datos ingresados	Organizar los datos de entrada como localidades, centros y distancias en pestañas.	Media	Administrador
RF43	Validar redundancia en datos ingresados	Evitar datos duplicados o inconsistentes al ingresar datos.	Alta	Administrador

Tabla 14. Requerimientos funcionales CU del sistema Resolver Simulación

ID	Nombre del Requerimiento	Descripción	Prioridad	Actor
RF02	Resolver problema de transporte	Resolver un modelo de optimización para minimizar costos y evacuar eficientemente.	Alta	Operativo de riesgos
RF19	Calcular tiempo de resolución de problemas	Mostrar el tiempo empleado para resolver el modelo.	Media	Operativo de riesgos
RF23	Mostrar detalles de resultados optimizados	Desglosar resultados para mostrar cantidades asignadas por localidad y centro seguro.	Alta	Operativo de riesgos
RF25	Mostrar estado del solver	Mostrar el estado del solver (factible, no factible, etc.) tras la resolución del modelo.	Media	Operativo de riesgos

Tabla 15. Requerimientos funcionales CU del sistema Visualizar Resultados

ID	Nombre del Requerimiento	Descripción	Prioridad	Actor
RF03	Visualizar resultados tabulados	Mostrar resultados de la simulación en formato tabular.	Media	Operativo de riesgos
RF04	Generar gráficos de resultados	Crear gráficos para mostrar la distribución de personas	Media	Operativo de riesgos

			evacuadas y uso de centros seguros.			
RF23	Mostrar detalles de resultados optimizados	de	Mostrar información desglosada de resultados por localidad y centro seguro.	Alta	Operativo	de riesgos
RF36	Mostrar gráficos en tiempo real	en	Actualizar gráficos y tablas automáticamente conforme se procesan los datos.	Baja	Operativo	de riesgos
RF30	Mostrar centro de costos	de	Mostrar los costos totales generados por el transporte y uso de centros seguros.	Media	Operativo	de riesgos

Tabla 16. Requerimientos funcionales CU del sistema Guardar y Exportar Simulaciones

ID	Nombre del Requerimiento		Descripción	Prioridad	Actor
RF05	Guardar simulaciones		Permitir guardar simulaciones realizadas en la base de datos.	Alta	Administrador
RF06	Exportar resultados a PDF	a	Generar un informe PDF con los resultados y gráficos correspondientes.	Media	Administrador
RF07	Exportar resultados a Excel	a	Exportar resultados tabulares y gráficos a un archivo Excel.	Media	Administrador
RF34	Exportar gráficos generados	gráficos	Guardar gráficos generados como archivos de imagen.	Media	Operativo de riesgos
RF27	Generar reporte detallado de simulación	reporte de	Incluir gráficos y análisis detallado en el reporte exportado.	Media	Administrador

Tabla 17. Requerimientos funcionales CU del sistema Administrar Usuarios

ID	Nombre del Requerimiento		Descripción	Prioridad	Actor
RF08	Administrar usuarios		Gestionar usuarios del sistema, incluyendo registro, edición y eliminación.	Alta	Administrador
RF09	Registrar logs de actividad	logs de	Registrar las actividades del sistema, como guardar datos o editar usuarios.	Alta	Administrador
RF22	Restringir acceso a funciones según rol	a	Diferenciar funcionalidades disponibles para administrador y operativo de riesgos.	Alta	Ambos
RF41	Administrar permisos de usuarios	permisos de	Configurar niveles de acceso según responsabilidades.	Alta	Administrador
RF50	Registrar auditoría de cambios	auditoría de	Mantener un registro detallado de todas las modificaciones realizadas en configuraciones y simulaciones.	Alta	Administrador

Tabla 18. Requerimientos funcionales CU del sistema Mostrar Historial y Recuperar Simulaciones

ID	Nombre del Requerimiento	Descripción	Prioridad	Actor
RF10	Mostrar historial de simulaciones	Listar todas las simulaciones guardadas.	Alta	Operativo de riesgos
RF12	Mostrar detalles de simulaciones previas	Cargar datos de simulaciones anteriores para editarlos o reutilizarlos.	Alta	Operativo de riesgos
RF18	Recuperar simulación específica	Buscar y cargar simulaciones mediante identificadores únicos.	Media	Administrador
RF26	Visualizar simulaciones agrupadas	Mostrar simulaciones organizadas por grupos.	Media	Administrador

Tabla 19. Requerimientos funcionales CU del sistema Ajustar Configuraciones del Sistema

ID	Nombre del Requerimiento	Descripción	Prioridad	Actor
RF17	Configurar estilo de la interfaz gráfica	Personalizar temas y colores de botones en la interfaz.	Baja	Administrador
RF28	Administrar configuraciones de red de evacuación	Crear, editar o eliminar configuraciones de red en la base de datos.	Media	Administrador
RF40	Recuperar configuraciones predeterminadas	Cargar configuraciones por defecto para simulaciones frecuentes.	Alta	Administrador

Tabla 20. Requerimientos funcionales CU del sistema Validar y Monitorear Simulaciones

ID	Nombre del Requerimiento	Descripción	Prioridad	Actor
RF24	Validar configuración inicial	Prevenir errores al iniciar la simulación validando configuraciones previas.	Alta	Administrador
RF38	Generar alertas automáticas	Notificar al usuario sobre configuraciones inválidas o problemas durante la simulación.	Alta	Ambos
RF49	Optimizar memoria durante simulaciones	Manejar grandes volúmenes de datos sin exceder los recursos disponibles.	Alta	Administrador

4.1.1.2.2. Requerimientos no funcionales

En la tabla 21 se muestran los requerimientos no funcionales del sistema los cuales se encuentran separados por sus requerimientos.

Tabla 21. Requerimientos no funcionales

ID	Nombre del Requerimiento	Descripción	Prioridad	Actor
RNF01	Tiempo de respuesta	El sistema debe responder a las solicitudes en menos de 5 segundos.	Alta	Ambos
RNF02	Escalabilidad	Debe ser capaz de manejar al menos 1000 simulaciones guardadas.	Media	Administrador
RNF03	Seguridad de datos	Los datos sensibles deben estar protegidos mediante técnicas de hash.	Alta	Administrador
RNF04	Compatibilidad	Compatible con sistema operativo Windows.	Media	Ambos
RNF05	Interfaces gráficas adaptativas	La interfaz debe ser funcional en pantallas de diferentes tamaños.	Baja	Ambos
RNF06	Registro persistente	Los datos de simulaciones deben ser almacenados de forma permanente en MongoDB.	Alta	Administrador
RNF07	Facilidad de uso	La interfaz gráfica debe ser intuitiva y fácil de operar.	Alta	Ambos
RNF08	Eficiencia computacional	El tiempo de procesamiento debe optimizarse para manejar grandes volúmenes de datos.	Alta	Administrador
RNF09	Integridad de datos	Se debe evitar corrupción de datos durante las operaciones de escritura y lectura en la base de datos.	Alta	Administrador
RNF10	Respaldo de datos	El sistema debe contar con mecanismos para respaldar y recuperar datos ante fallas.	Alta	Administrador
RNF11	Mantenimiento	El sistema debe ser fácilmente actualizable para incorporar nuevas funcionalidades.	Media	Administrador
RNF12	Documentación técnica	Incluir manuales técnicos para desarrolladores y administradores del sistema.	Media	Administrador
RNF13	Disponibilidad	El sistema debe estar disponible al menos el 99% del tiempo.	Alta	Administrador
RNF14	Gestión de errores	Los errores del sistema deben ser manejados mediante mensajes descriptivos para el usuario.	Alta	Ambos
RNF15	Optimización del almacenamiento	Las simulaciones deben ocupar el mínimo espacio posible en la base de datos.	Media	Administrador

RNF16	Trazabilidad de cambios	de	Debe existir un historial detallado de todos los cambios realizados en simulaciones.	Media	Administrador
RNF17	Consistencia en gráficos	en los	Los gráficos generados deben ser claros, con etiquetas y leyendas consistentes.	Media	Operativo
RNF18	Interoperabilidad		El sistema debe integrarse fácilmente con otras herramientas para análisis y reportes, como Excel o PDF.	Alta	Administrador
RNF19	Escalabilidad futura		El sistema debe permitir la incorporación de nuevos módulos o funcionalidades con mínimos cambios en el núcleo.	Alta	Administrador

4.1.1.2.3. Diagrama de Casos de uso del sistema (CUS)

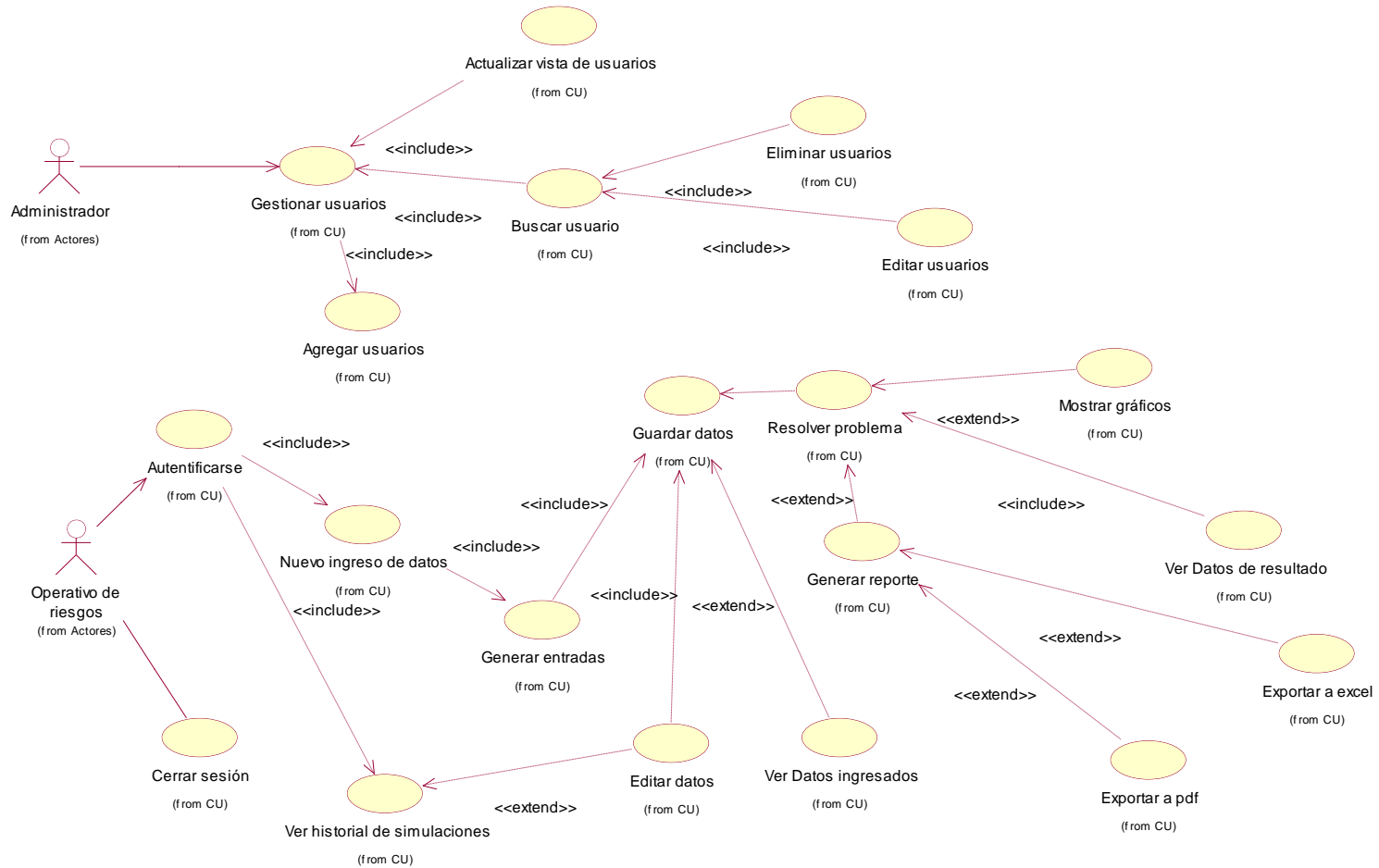


Figura 28. Diagrama de Caso de Uso del Sistema

4.1.1.3. Fase de Construcción

Durante esta fase, se realiza la construcción del sistema, se integra y prueban componentes para cumplir con los requisitos previamente definidos.

4.1.1.3.1. Especificaciones de Casos de Uso

Tabla 22. Caso de uso Autenticarse

Elemento	Especificación
Nombre del Caso de Uso	Autenticarse
Actor Principal	Administrador, Operativo de riesgos
Descripción	Permite al usuario autenticarse en el sistema.
Precondiciones	- El usuario debe tener credenciales válidas.
Postcondiciones	- El usuario accede al sistema.
Flujo Normal	1. El usuario introduce credenciales. 2. El sistema verifica credenciales en la base de datos. 3. El sistema autentica al usuario y muestra la pantalla principal.
Flujo Alternativo	2a. Si las credenciales son incorrectas, se muestra un mensaje de error.
Reglas de Negocio	- Las credenciales deben ser válidas y activas.
Notas	- La autenticación debe ser segura

Tabla 23. Caso de uso Ingresar Dato de Simulación

Elemento	Especificación
Nombre del Caso de Uso	Ingresar Datos de Simulación
Actor Principal	Administrador
Descripción	Permite al usuario ingresar los datos iniciales para configurar una simulación.
Precondiciones	- El usuario debe estar autenticado.
Postcondiciones	- Los datos ingresados se validan y almacenan temporalmente. - Se registra el evento en el sistema.
Flujo Normal	1. El usuario selecciona la opción "Ingresar Datos". 2. El sistema muestra un formulario para completar los datos de localidades, centros y costos. 3. El usuario ingresa los datos y confirma. 4. El sistema valida los datos y los almacena temporalmente.
Flujo Alternativo	4a. Si los datos son inconsistentes, el sistema muestra un mensaje de error al usuario.
Reglas de Negocio	- Los datos de localidades, centros y probabilidades deben cumplir restricciones definidas.
Notas	- Incluir herramientas de validación para prevenir errores al guardar los datos.

Tabla 24. Caso de uso Resolver Simulación

Elemento	Especificación
Nombre del Caso de Uso	Resolver Simulación
Actor Principal	Operativo de Riesgos
Descripción	Permite resolver un modelo de transporte para minimizar costos y evacuar eficientemente.
Precondiciones	- Los datos de entrada deben estar completos y validados.
Postcondiciones	- Los resultados se calculan y están disponibles para análisis. - El sistema guarda los resultados de forma temporal.
Flujo Normal	1. El usuario selecciona "Resolver Simulación". 2. El sistema ejecuta el modelo de optimización. 3. Los resultados se generan y se muestran en pantalla.
Flujo Alternativo	3a. Si el modelo no es factible, el sistema notifica al usuario.

Reglas de Negocio	- El modelo debe garantizar una solución óptima o identificar restricciones incumplidas.
Notas	- Incluir indicadores visuales del estado de progreso del modelo.

Tabla 25. Caso de uso Visualizar Resultados

Elemento	Especificación
Nombre del Caso de Uso	Visualizar Resultados
Actor Principal	Operativo de Riesgos
Descripción	Permite mostrar los resultados de la simulación en formato tabular y gráfico.
Precondiciones	- La simulación debe haberse ejecutado previamente.
Postcondiciones	- Los resultados se mantienen visibles para análisis.
Flujo Normal	1. El usuario selecciona "Visualizar Resultados". 2. El sistema muestra los resultados en tablas y gráficos.
Flujo Alternativo	2a. Si no hay resultados disponibles, el sistema muestra un mensaje de advertencia.
Reglas de Negocio	- Los gráficos deben incluir etiquetas y leyendas claras.
Notas	- Considerar la exportación directa desde la vista de resultados.

Tabla 26. Caso de uso Guardar simulaciones

Elemento	Especificación
Nombre del Caso de Uso	Guardar Simulaciones
Actor Principal	Administrador
Descripción	Permite guardar los parámetros y resultados de una simulación en la base de datos.
Precondiciones	- La simulación debe estar completa y validada.
Postcondiciones	- Los datos quedan almacenados en la base de datos. - Se registra el evento de guardado en los logs del sistema.
Flujo Normal	1. El usuario selecciona "Guardar Simulación". 2. El sistema almacena los datos en la base de datos. 3. El sistema confirma el guardado exitoso.
Flujo Alternativo	2a. Si ocurre un error de conexión con la base de datos, el sistema muestra un mensaje de error.
Reglas de Negocio	- Los datos deben asociarse a un identificador único.

Tabla 27. Caso de uso Administrar Usuarios

Elemento	Descripción
Nombre del Caso de Uso	Gestionar Usuarios
Actor Principal	Administrador
Descripción	Permite al administrador gestionar los usuarios del sistema.
Precondiciones	- El administrador debe estar autenticado.
Postcondiciones	- Los cambios en los usuarios se reflejan en la base de datos.
Flujo Normal	1. El administrador selecciona "Gestionar Usuarios". 2. El sistema consulta y muestra la lista de usuarios. 3. El administrador solicita agregar, editar o eliminar usuarios. 4. El sistema actualiza la base de datos. 5. El sistema muestra un mensaje de confirmación.
Flujo Alternativo	4a. Si ocurre un error en la base de datos, se muestra un mensaje de error.
Reglas de Negocio	- Solo el administrador puede realizar estas acciones.

Tabla 28. Caso uso de Exportar Resultados

Elemento	Especificación
Nombre del Caso de Uso	Exportar Resultados
Actor Principal	Administrador, Operativo de Riesgos

Descripción	Permite al usuario generar reportes de simulaciones en formatos como PDF o Excel.
Precondiciones	- Los resultados de una simulación deben estar disponibles.
Postcondiciones	- El archivo generado queda disponible para su descarga.
Flujo Normal	1. El usuario selecciona "Exportar Resultados". 2. El sistema muestra las opciones de formato (PDF, Excel). 3. El usuario selecciona el formato deseado. 4. El sistema genera el archivo y permite su descarga.
Flujo Alternativo	4a. Si ocurre un error durante la generación, el sistema muestra un mensaje de error.
Reglas de Negocio	- Los reportes deben incluir gráficos y datos relevantes de la simulación.

Tabla 29. Caso uso de Mostrar Historial y Recuperar Simulaciones.

Elemento	Especificación
Nombre del Caso de Uso	Mostrar Historial y Recuperar Simulaciones
Actor Principal	Administrador, Operativo de Riesgos
Descripción	Permite consultar y recuperar simulaciones guardadas previamente en el sistema.
Precondiciones	- Deben existir simulaciones guardadas en la base de datos.
Postcondiciones	- La simulación seleccionada se carga en la interfaz para su análisis o edición.
Flujo Normal	1. El usuario selecciona "Mostrar Historial". 2. El sistema muestra una lista de simulaciones guardadas. 3. El usuario selecciona una simulación específica. 4. El sistema carga los datos correspondientes.
Flujo Alternativo	3a. Si no se encuentra la simulación seleccionada, el sistema notifica al usuario.
Reglas de Negocio	- Las simulaciones deben estar asociadas a identificadores únicos para facilitar su búsqueda.

Tabla 30. Caso de uso Ajustar Configuraciones del Sistema

Elemento	Especificación
Nombre del Caso de Uso	Ajustar Configuraciones del Sistema
Actor Principal	Administrador
Descripción	Permite modificar configuraciones como estilos visuales y parámetros predeterminados del sistema.
Precondiciones	- El usuario debe estar autenticado como administrador.
Postcondiciones	- Las configuraciones ajustadas quedan aplicadas al sistema.
Flujo Normal	1. El usuario selecciona "Ajustar Configuraciones". 2. El sistema muestra las opciones de configuración disponibles. 3. El usuario realiza los cambios deseados y confirma. 4. El sistema aplica los ajustes y guarda los cambios.
Flujo Alternativo	4a. Si ocurre un error al guardar las configuraciones, el sistema muestra un mensaje de error.

Tabla 31. Caso de uso Validar y Monitorear Soluciones

Elemento	Especificación
Nombre del Caso de Uso	Validar y Monitorear Simulaciones
Actor Principal	Administrador, Operativo de Riesgos
Descripción	Permite validar configuraciones iniciales y monitorear simulaciones durante su ejecución.
Precondiciones	- La simulación debe estar configurada antes de ejecutarse.
Postcondiciones	- Se generan alertas en caso de errores o inconsistencias detectadas.
Flujo Normal	1. El usuario inicia la validación de la configuración.

Flujo Alternativo	2. El sistema verifica restricciones y parámetros establecidos. 3. Si todo es correcto, el sistema permite continuar con la simulación. 2a. Si se detectan errores, el sistema muestra mensajes detallados al usuario.
Reglas de Negocio	- Los parámetros deben cumplir con las restricciones definidas por el modelo.
Notas	- Incluir alertas automáticas para advertir problemas en tiempo real.

Tabla 32. Caso de uso Cerrar Sesión

Elemento	Especificación
Nombre del Caso de Uso	Cerrar Sesión
Actor Principal	Administrador, Operativo de Riesgos
Descripción	Permite al usuario desconectarse del sistema de manera segura.
Precondiciones	- El usuario debe haber iniciado sesión en el sistema.
Postcondiciones	- La sesión del usuario se invalida. - El sistema registra el evento de cierre en un log.
Flujo Normal	1. El usuario selecciona la opción "Cerrar Sesión". 2. El sistema invalida la sesión activa. 3. El sistema registra el cierre en el log. 4. El sistema redirige al usuario a la pantalla de inicio.
Flujo Alternativo	2a. Si el sistema detecta una falla, muestra un mensaje de error al usuario.

4.1.1.3.2. Desarrollo de los Casos de uso

CU Autenticarse

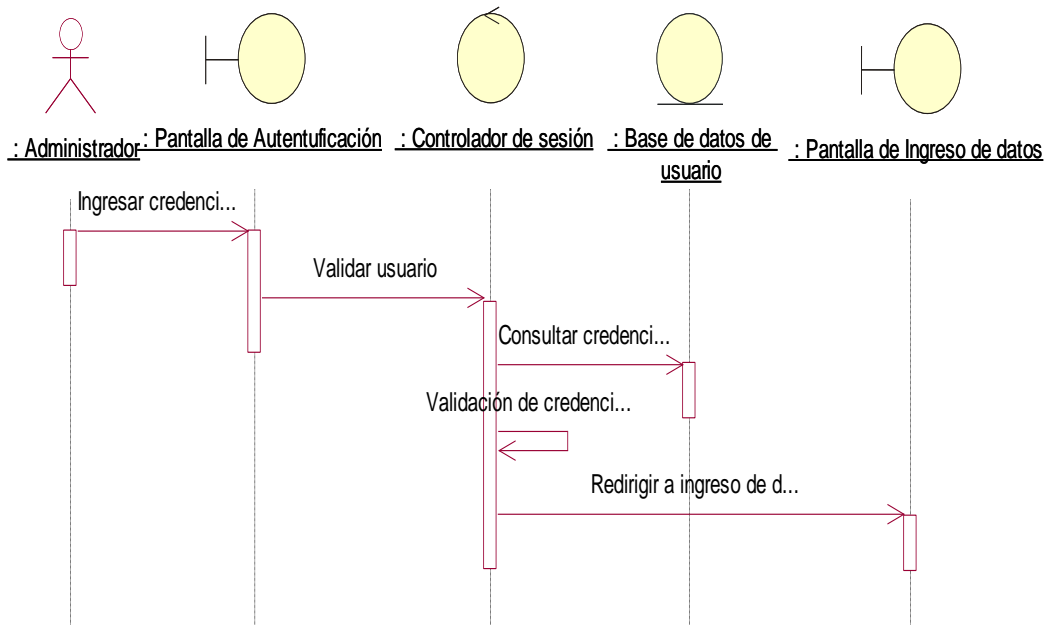


Figura 29. Diagrama de secuencia CU Autenticarse

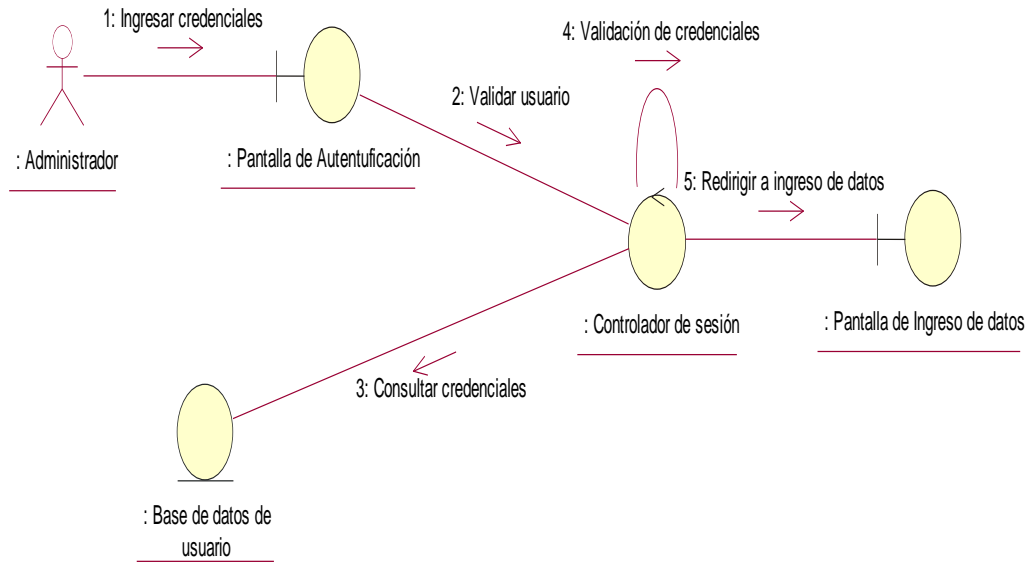


Figura 30. Diagrama de colaboración CU Autenticarse

CU Ingresar datos de Simulación

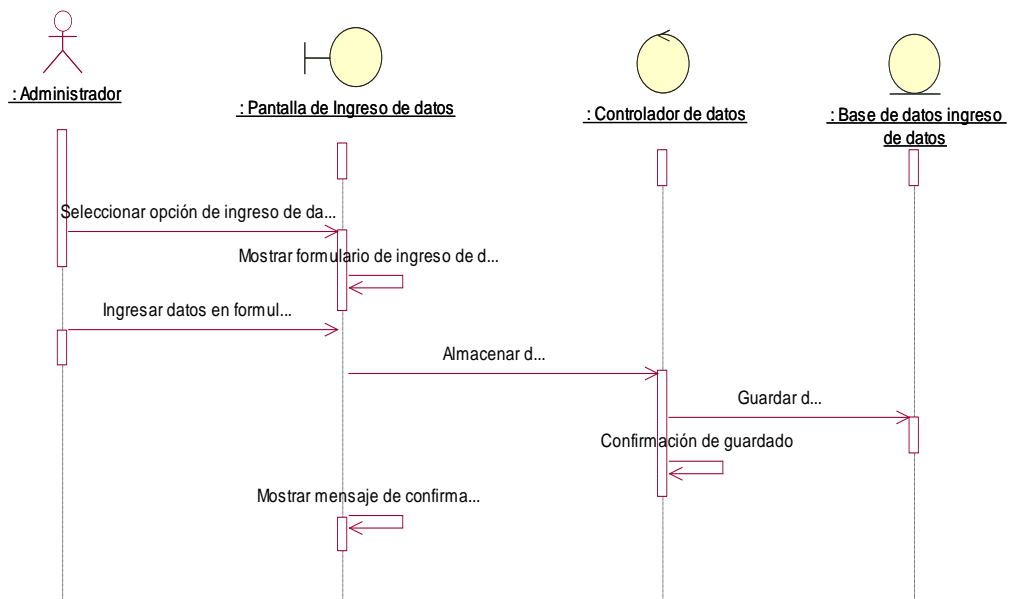


Figura 31. Diagrama de secuencia CU Ingresar datos de simulación

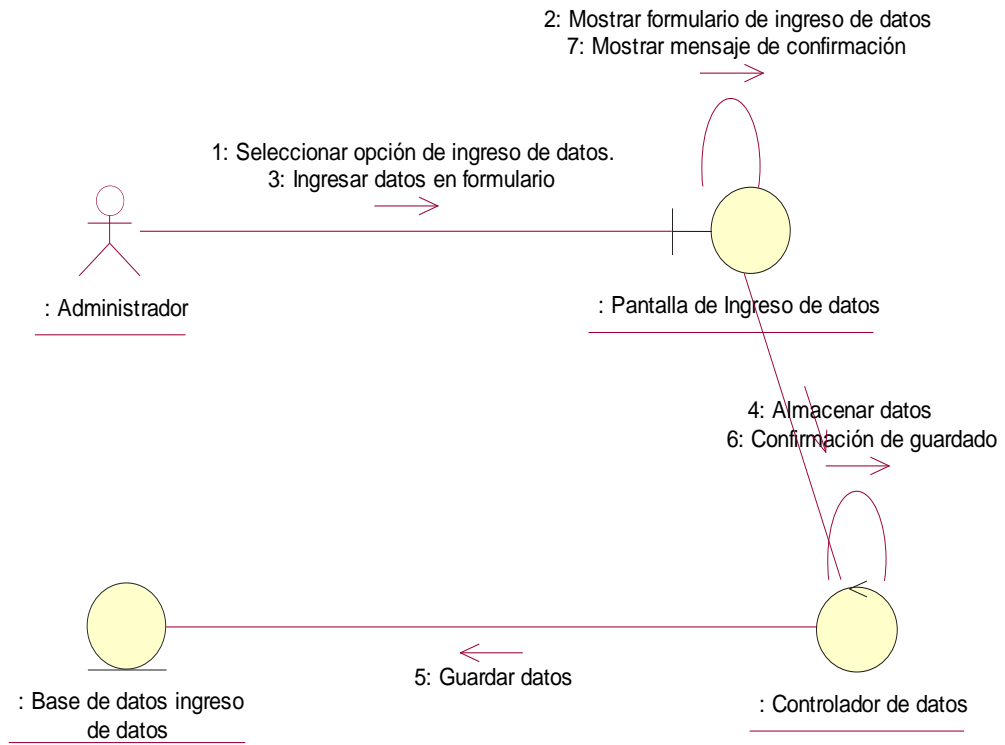


Figura 32. Diagrama de colaboración CU Ingresar datos de simulación

CU Resolver simulación

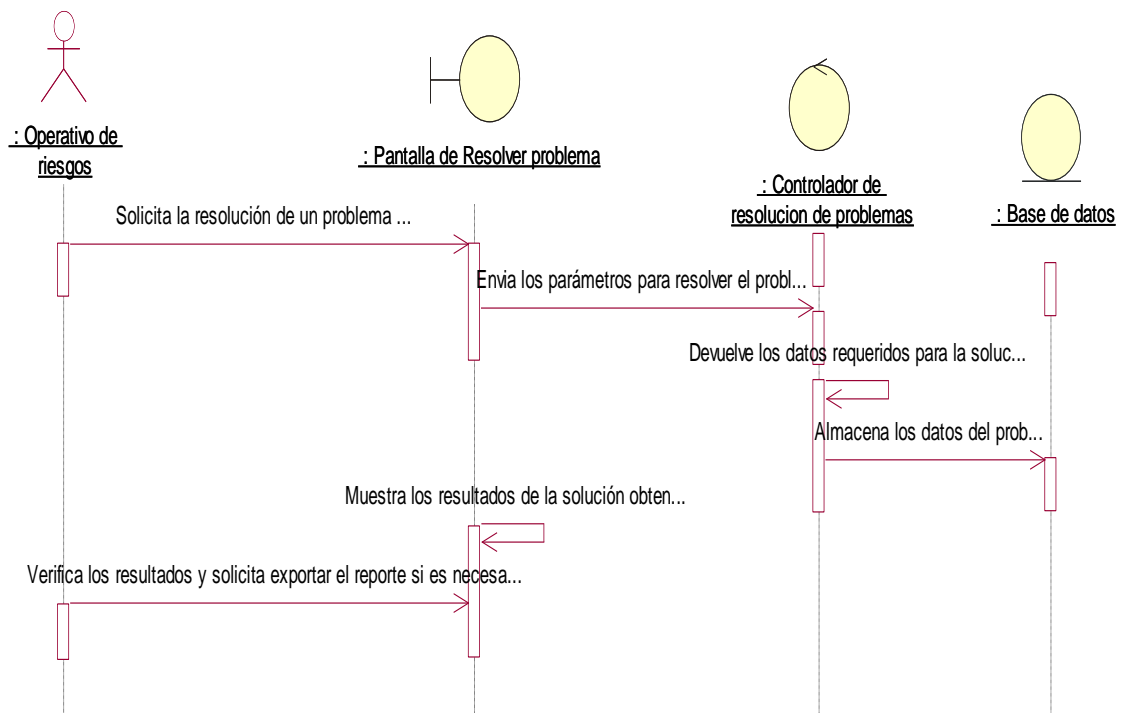


Figura 33. CU Resolver simulación

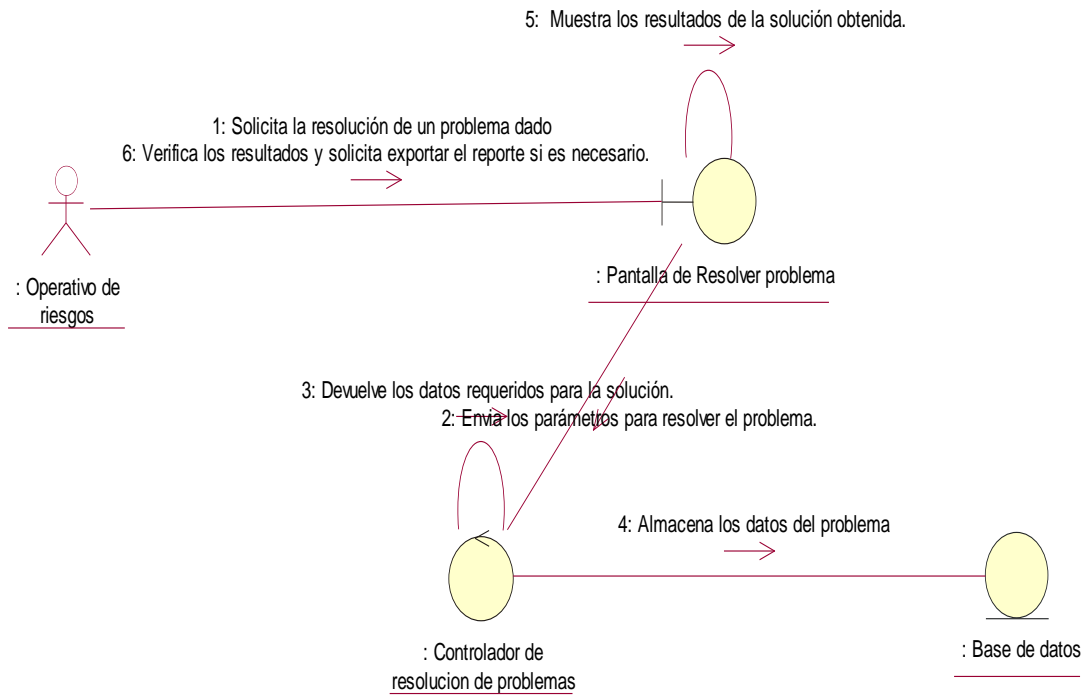


Figura 34. Diagrama de colaboración CU Resolver simulación

CU Visualizar Resultados

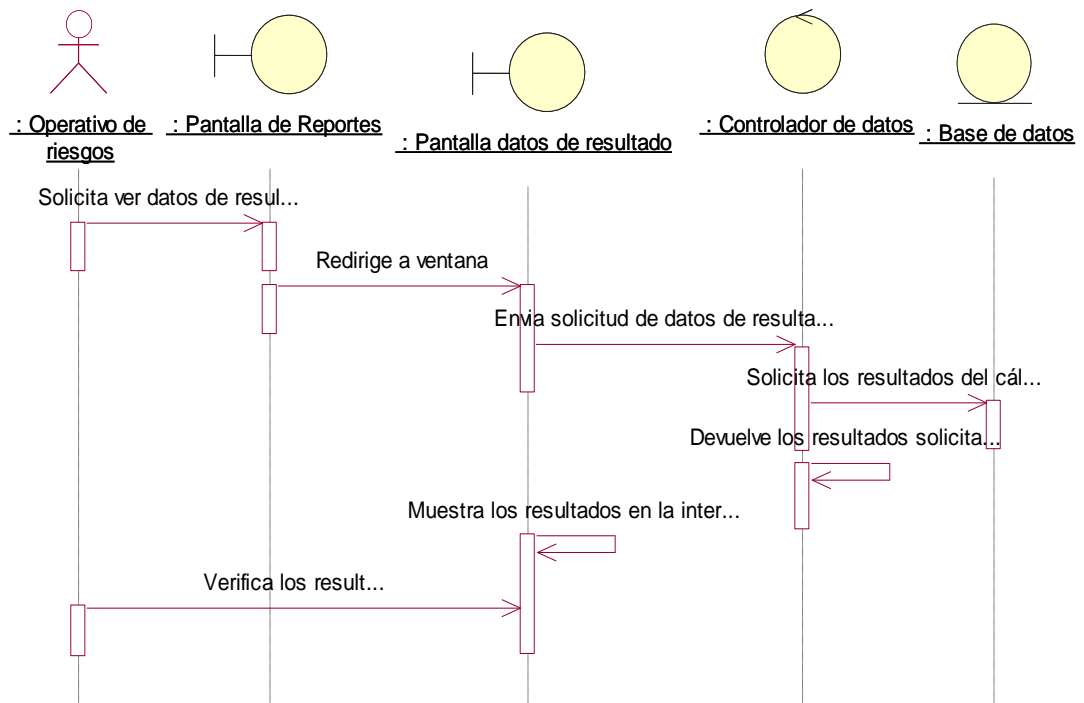


Figura 35. Diagrama de secuencia CU Visualizar Resultados

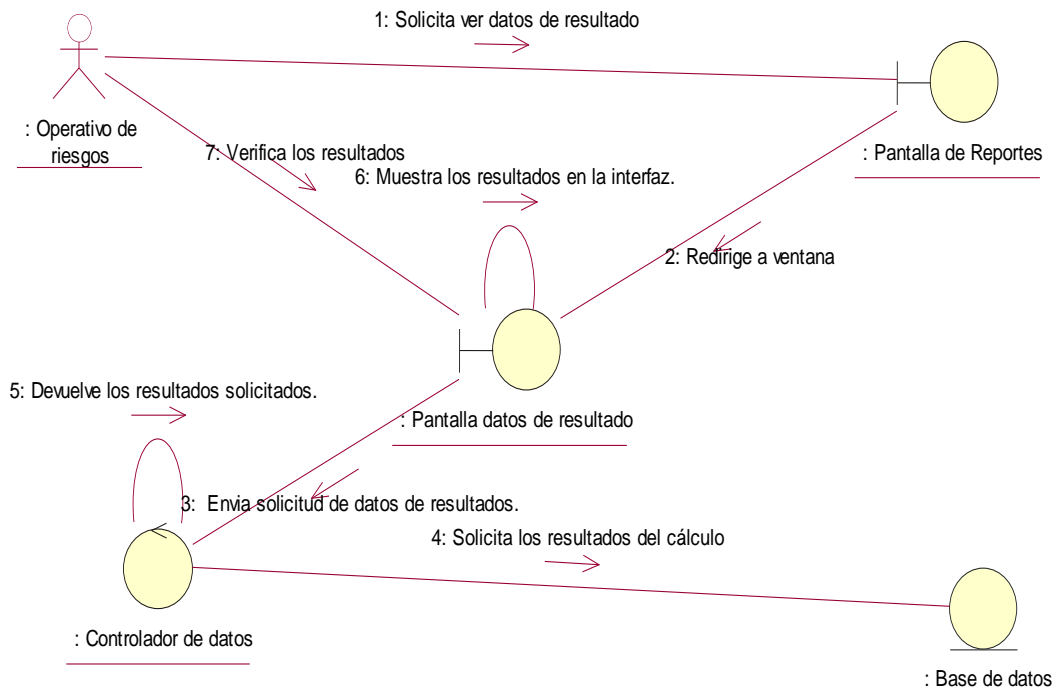


Figura 36. Diagrama de colaboración CU Visualizar Resultados

CU Administrar Usuarios

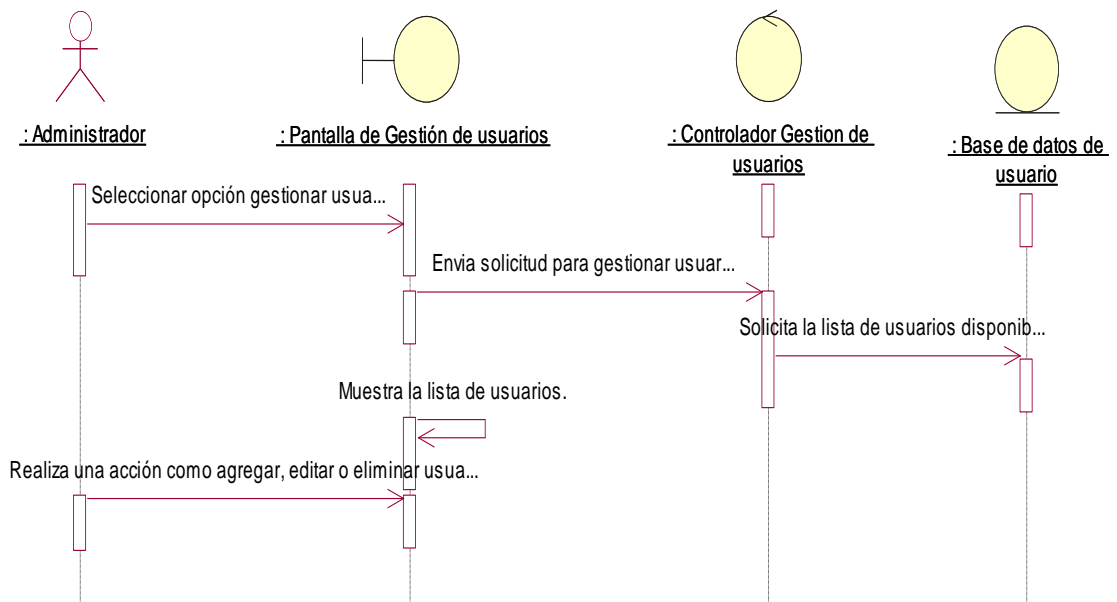


Figura 37. Diagrama de secuencia CU Administrar Usuarios

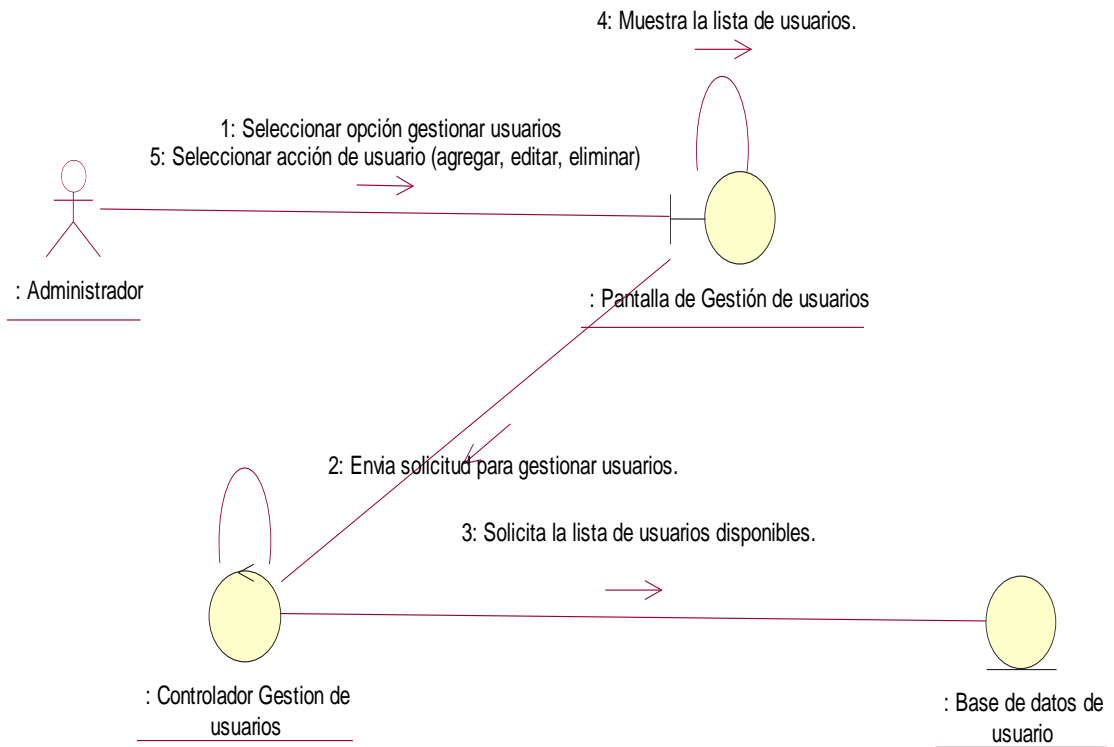


Figura 38. Diagrama de colaboración CU Administrar Usuarios

CU Exportar Resultados

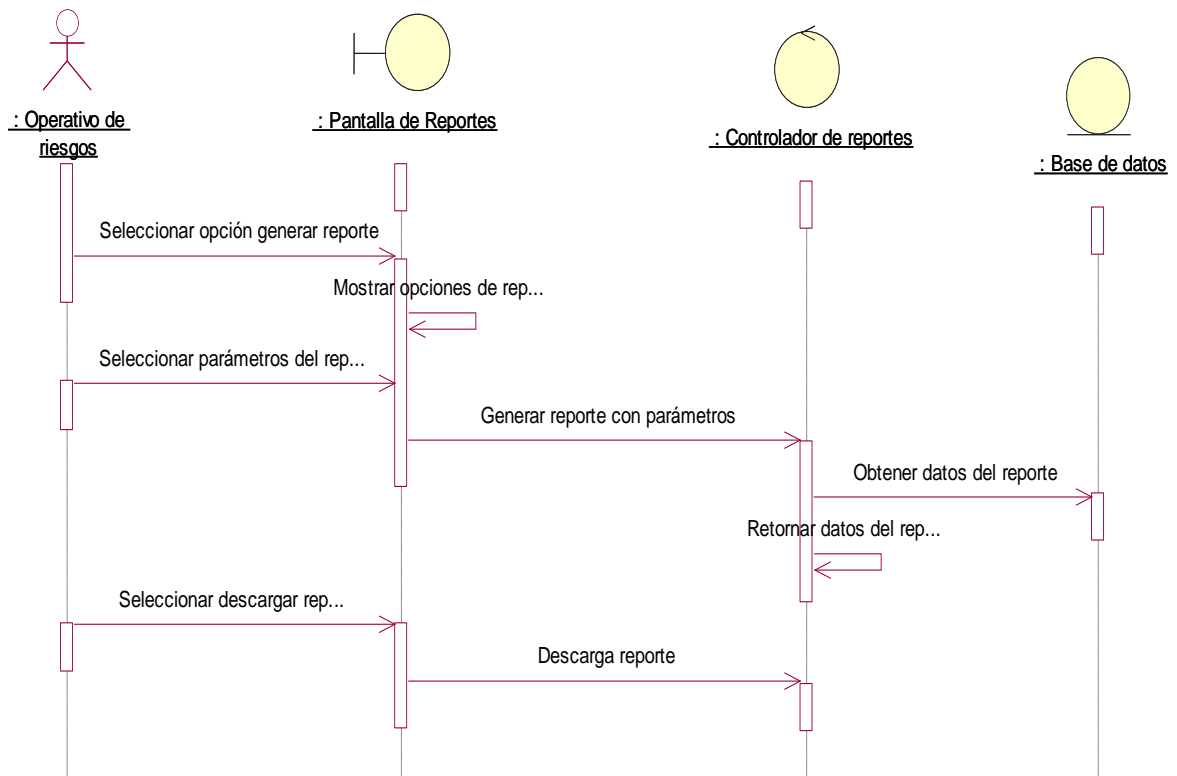


Figura 39. Diagrama de secuencia CU Exportar Resultados

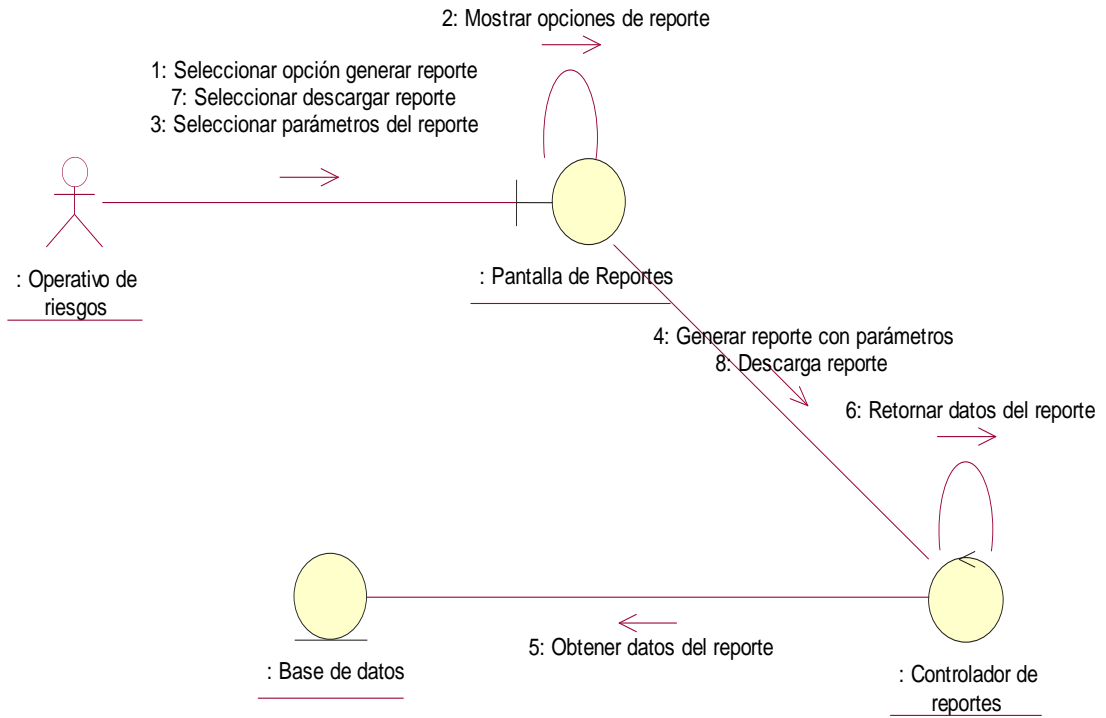


Figura 40. Diagrama de colaboración CU Exportar Resultados

CU. Mostrar Historial y Recuperar Simulaciones

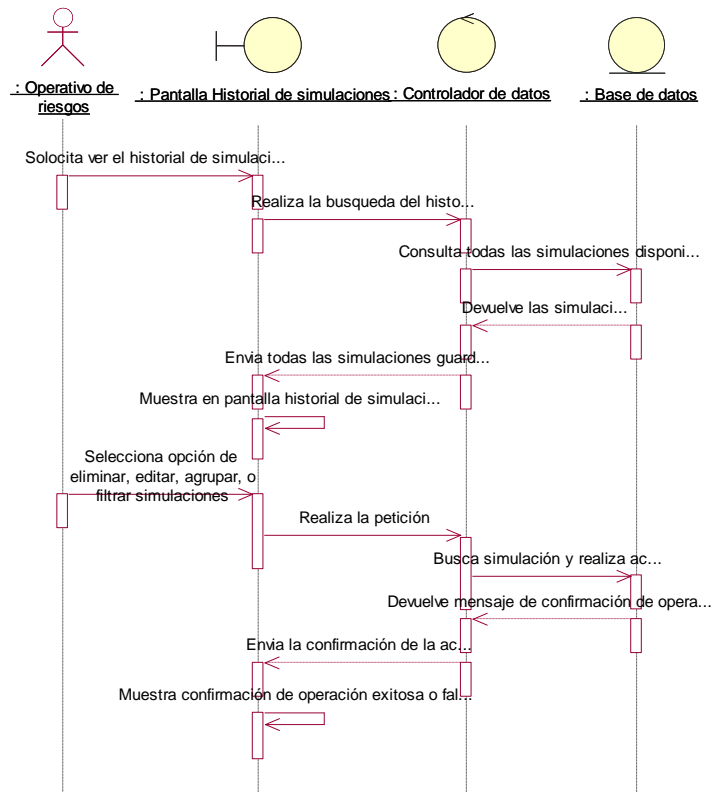


Figura 41. Diagrama de secuencia CU Mostrar Historial y Recuperar Simulaciones

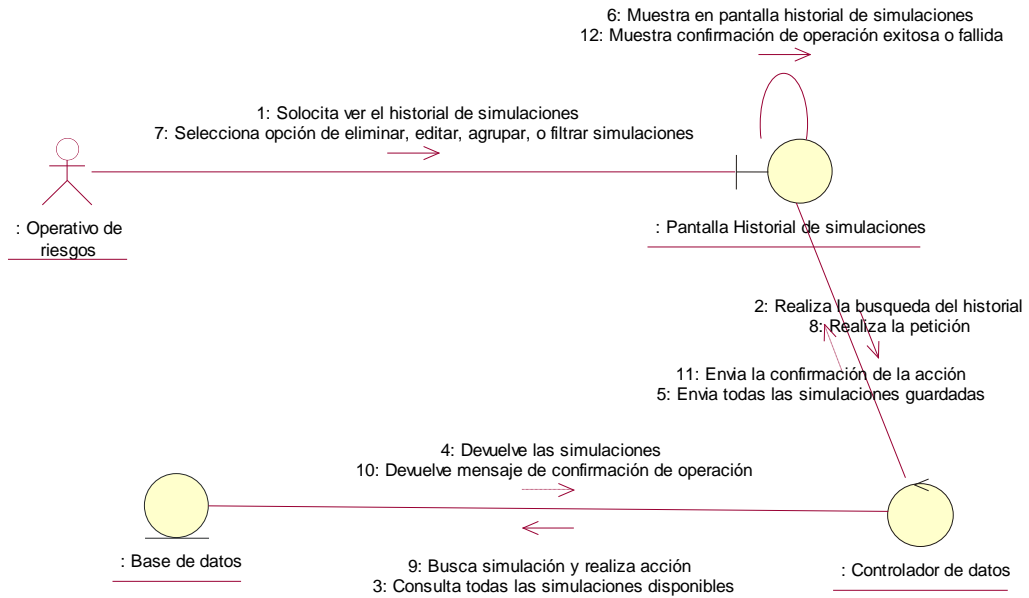


Figura 42. Diagrama de colaboración CU Mostrar Historial y Recuperar Simulaciones

CU Cerrar Sesión

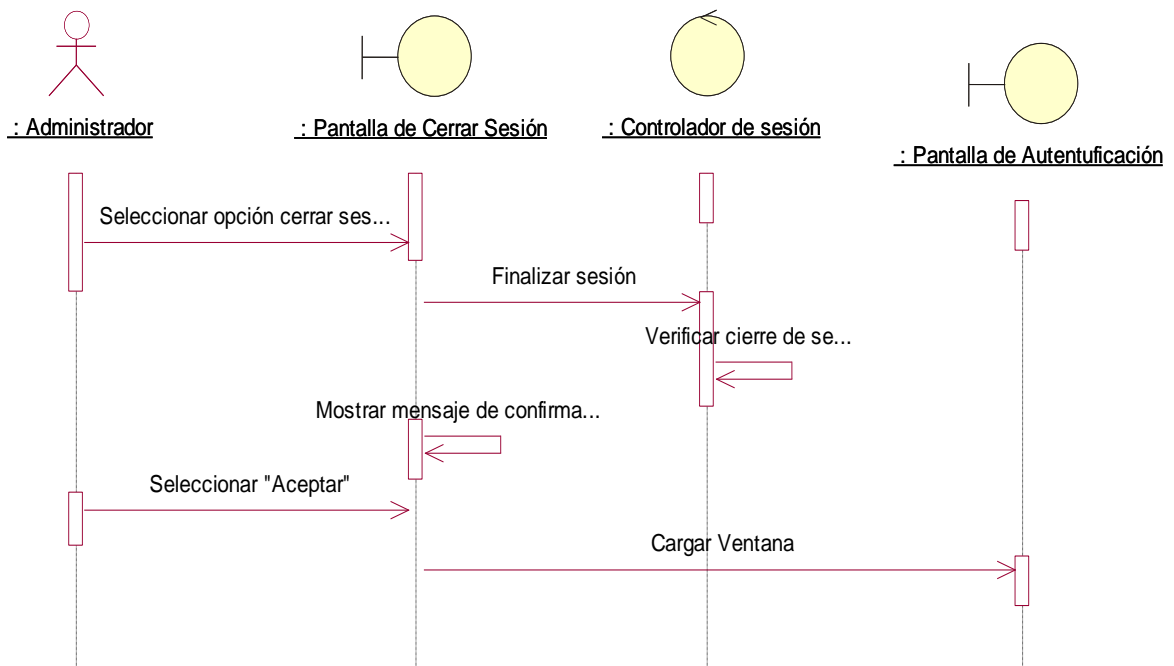


Figura 43. Diagrama de secuencia CU Cerrar Sesión

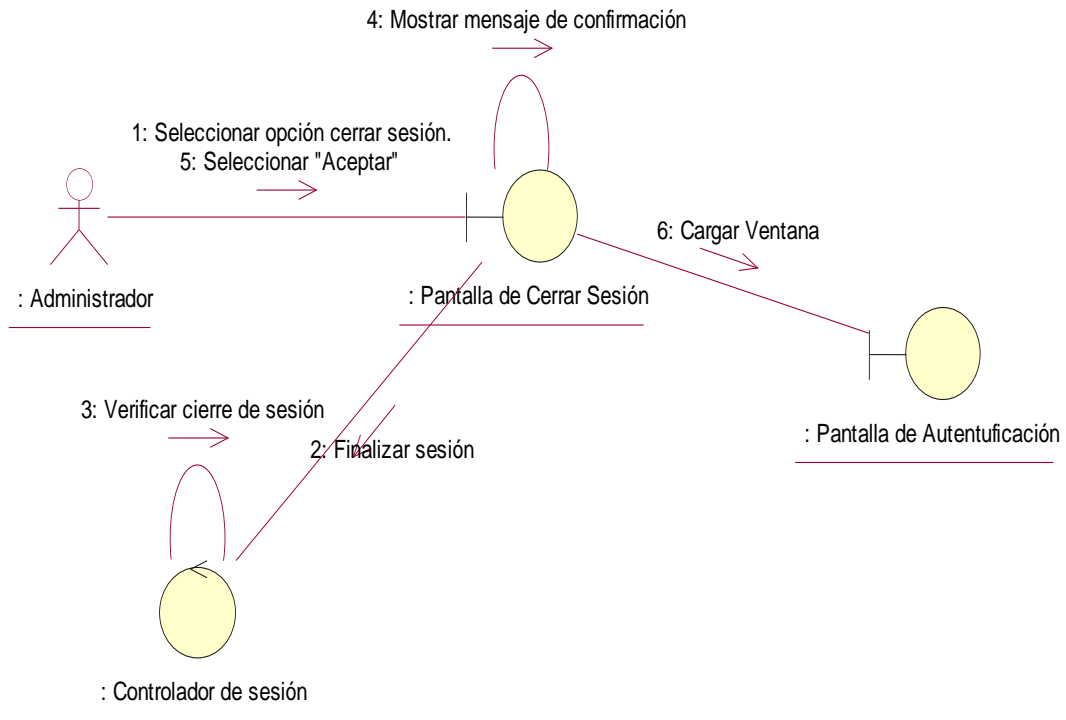


Figura 44. Diagrama de colaboración CU Cerrar Sesión

Diagrama de clases

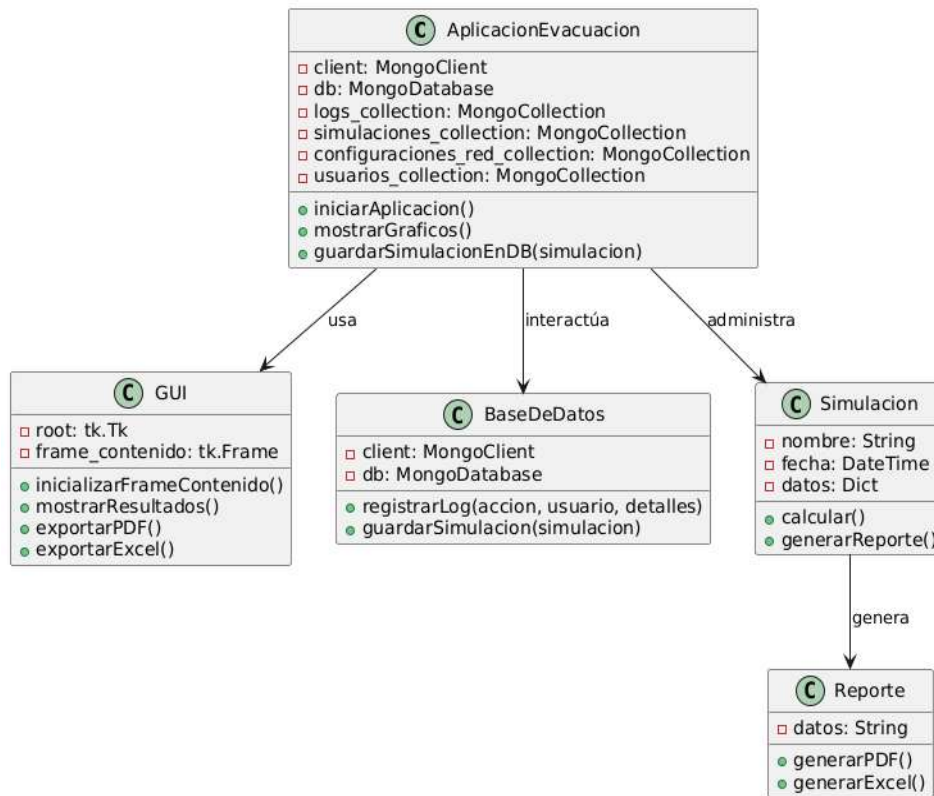


Figura 45. Diagrama de clases

4.1.1.4. Fase de Transición

Para esta fase de transición se busca garantizar tener un producto que se encuentre preparado para realizar la entrega al usuario.

4.1.1.4.1. Prototipo del sistema propuesto

Para iniciar sesión, es necesario que anteriormente el administrador haya registrado como operativo de riesgos o administrador dependiendo el rol que cumpla.

Posterior a eso, se debe ingresar las credenciales, tales como correo electrónico con el cual se llevó a cabo el registro y contraseña asignada como se muestra en la figura 46. Así se logra ingresar al sistema.

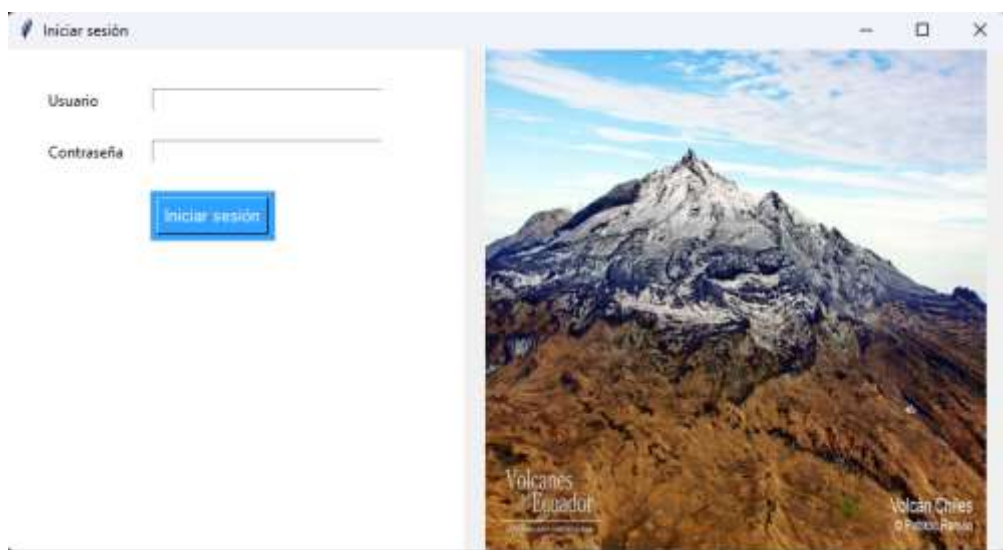


Figura 46. Pantalla de inicio de sesión

Una vez iniciado sesión al administrador se le mostrara la ventana principal, la cual tiene un menú de opciones como se observa en la figura 47, ahí podrá escoger cualquiera de las opciones del menú y dependiendo su selección le indicará diferentes vistas.



Figura 47. Pantalla principal de administrador

El administrador al seleccionar la opción de administrar usuarios obtendrá la vista de un botón en la parte lateral como se muestra en la figura 48, y al hacer clic en él, se le dirigirá a una ventana donde se muestran las acciones que puede realizar el administrador con los usuarios como se muestra en la figura 49.

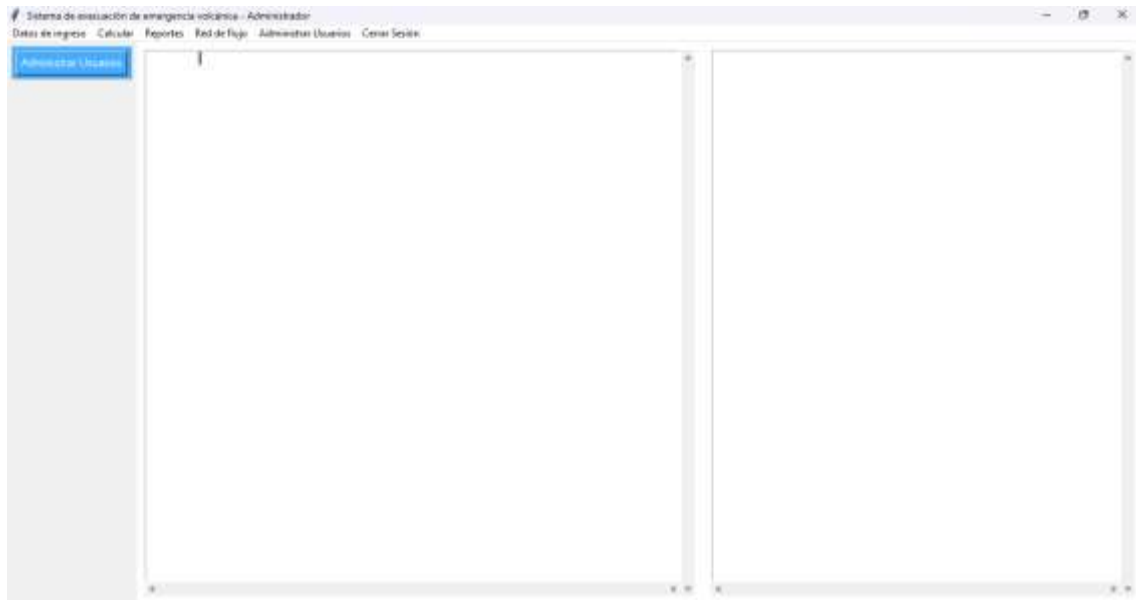


Figura 48. Pantalla Menú administrar usuarios

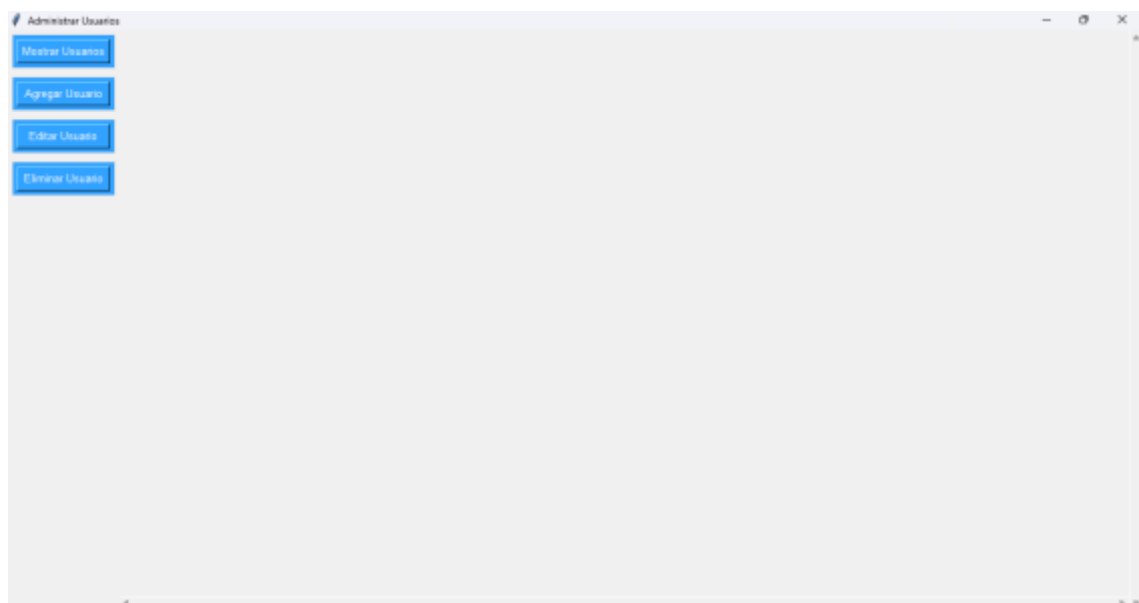
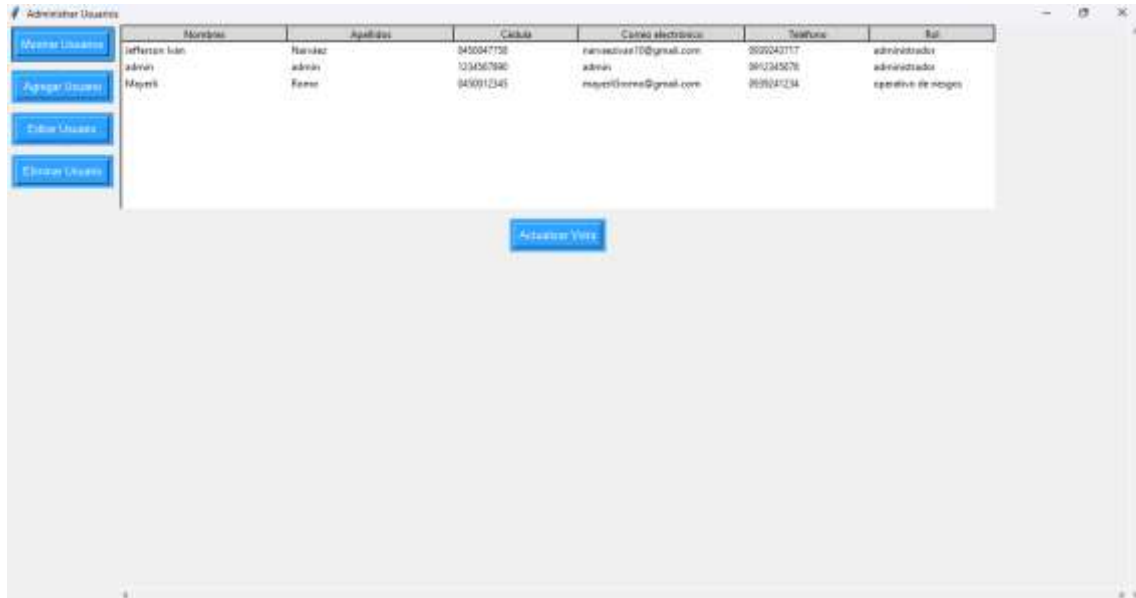


Figura 49. Pantalla Administrar Usuarios

En la pantalla Administrar usuarios, tendrá una lista de botones, en la parte lateral, el usuario al realizar clic en el botón de mostrar usuarios observará el despliegue de la lista de usuarios con los que cuenta en la base de datos y algunos de los campos de el mismo cómo se puede observar en la figura 50, con el botón de agregar usuario le mostrará el formulario de registro como se observa en la figura 51, con los botones

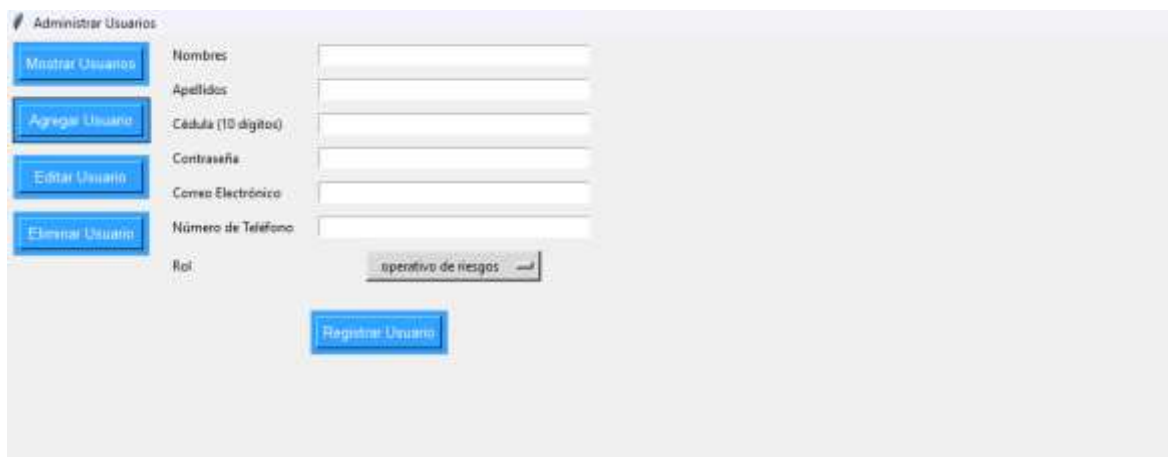
editar usuario y eliminar usuario le mostrará que el administrador debe ingresar el campo de cédula como se puede observar en la figura 52 y figura 53 para realizar la acción de editar como se muestra en la figura 54 u eliminar como se observa en la figura 55.



Mostrar Usuarios	Nombres	Apellidos	Cédula	Correo electrónico	Teléfono	Rol
Agregar Usuario	Jefferson Juan	Rivera	040047738	jefferson10@gmail.com	992043117	administrador
Editar Usuario	Adrián	Adrián	123456789	adrian@gmail.com	992345678	administrador
Eliminar Usuario	Mayerli	Rivera	94001234	mayerli1000@gmail.com	99924234	operativo de riesgos

Actualizar Vista

Figura 50. Pantalla Administrar Usuarios, lista de usuarios



Administrar Usuarios

Mostrar Usuarios

Agregar Usuario

Editar Usuario

Eliminar Usuario

Nombres

Apellidos

Cédula (10 dígitos)

Contraseña

Correo Electrónico

Número de Teléfono

Rol

Registrar Usuario

Figura 51. Pantalla de registro de usuario



Figura 52. Pantalla Administrar Usuarios, búsqueda de usuario a editar



Figura 53. Pantalla Administrar Usuarios, búsqueda de usuario a eliminar.

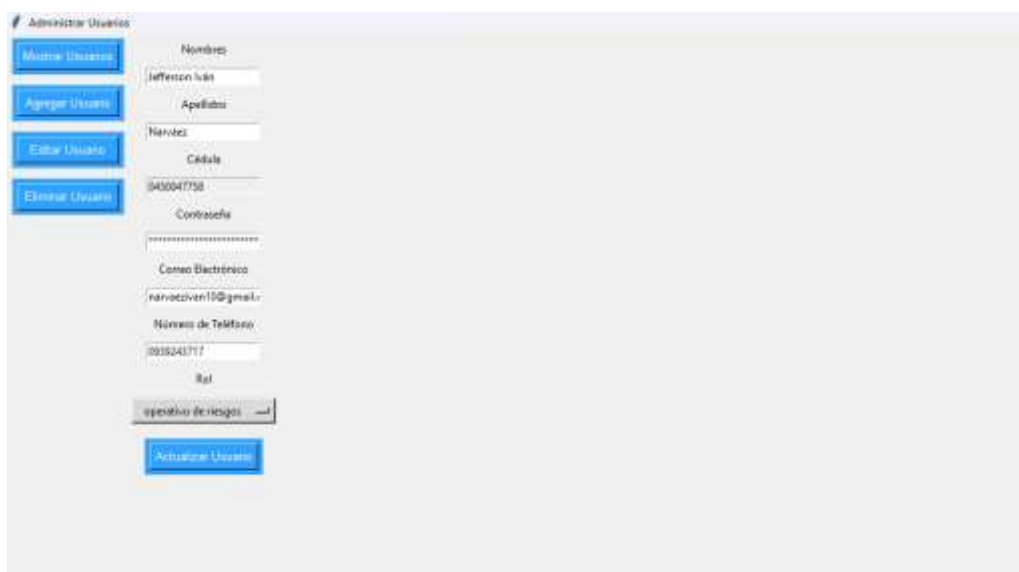


Figura 54. Pantalla Administrar Usuarios, campos a editar del usuario



Figura 55. Pantalla Administrar Usuarios, visualización de datos del usuario a eliminar

Una vez iniciada sesión el operativo de riesgos le presentara la ventana principal del operativo como se muestra en la figura 56, también observara el menú de opciones que tiene a disposición, en el caso de seleccionar la opción de datos de ingreso, se le mostrara en la parte lateral los botones para realizar diversas acciones como se muestra en la figura 57, tenemos el botón de generar entradas, en el cual al dar clic sobre este le genera los campos para que pueda ingresar una nueva simulación como se puede observar en la figura 58, el botón de Datos ingresados, este realizara la acción que de una vez ingresado los datos en la nueva simulación los tabulara y nos mostrara en una ventana de manera ordenada como se muestra en la figura 59, y con el botón de historial de simulaciones, al dar clic sobre él, nos mostrará todo el historial de las simulaciones que hemos creado como se puede observar en la figura 60.



Figura 56. Pantalla Principal Operativo

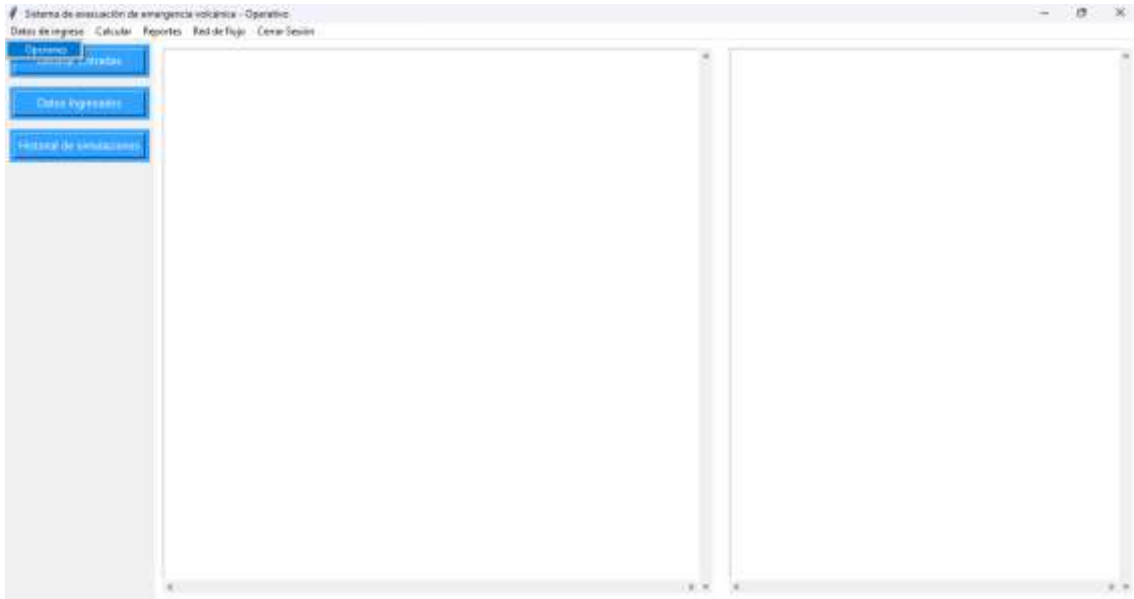


Figura 57. Pantalla principal, despliegue de acciones en Datos de ingreso

This screenshot displays the 'Datos Ingresados' form. It contains various input fields for simulation parameters, organized into sections:

- General:** Número de Localidades, Número de Centros seguros, Número de estados de emergencia (Alerta 1, 2, 3), and a 'Crear Entrada' button.
- Localidades:** Three rows for 'Localidad 1', 'Localidad 2', and 'Localidad 3', each with fields for 'Nombre', 'Alerta 1', 'Alerta 2', and 'Alerta 3'.
- Capacidad y Costo de Acondicionamiento:** Fields for 'Capacidad' and 'Costo de Acondicionamiento' for three centers (Centro 1, 2, 3).
- Distancia:** Fields for 'Distancia' for three centers (Centro 1, 2, 3).
- Localidades (repeated):** Another set of three rows for 'Localidad 1', 'Localidad 2', and 'Localidad 3' with 'Nombre' and 'Alerta' fields.
- Costos:** Fields for 'Costo Eje por km en transporte', 'Costo de penalización de personas en evacuación', and 'Costo de penalización de personas evacuadas en avión'.
- Probabilidades:** Fields for 'Probabilidad' for three scenarios (Escenario 1, 2, 3).

A 'Guardar datos' button is located at the bottom of the form.

Figura 58. Ventana principal, generación de entradas para datos de simulación

The screenshot shows the 'Datos Ingresados' window with a table displaying the entered data. The table has columns for 'Localidad', 'Centros Seguros', 'Distancias', 'Probabilidades', 'Costos y Penalizaciones', and 'Poblacion'.

Localidad	Centros Seguros	Distancias	Probabilidades	Costos y Penalizaciones	Poblacion
Localidad 1,Alerta 1					50
Localidad 1,Alerta 2					300
Localidad 2,Alerta 1					20
Localidad 2,Alerta 2					60

Figura 59. Ventana de Datos Ingresados

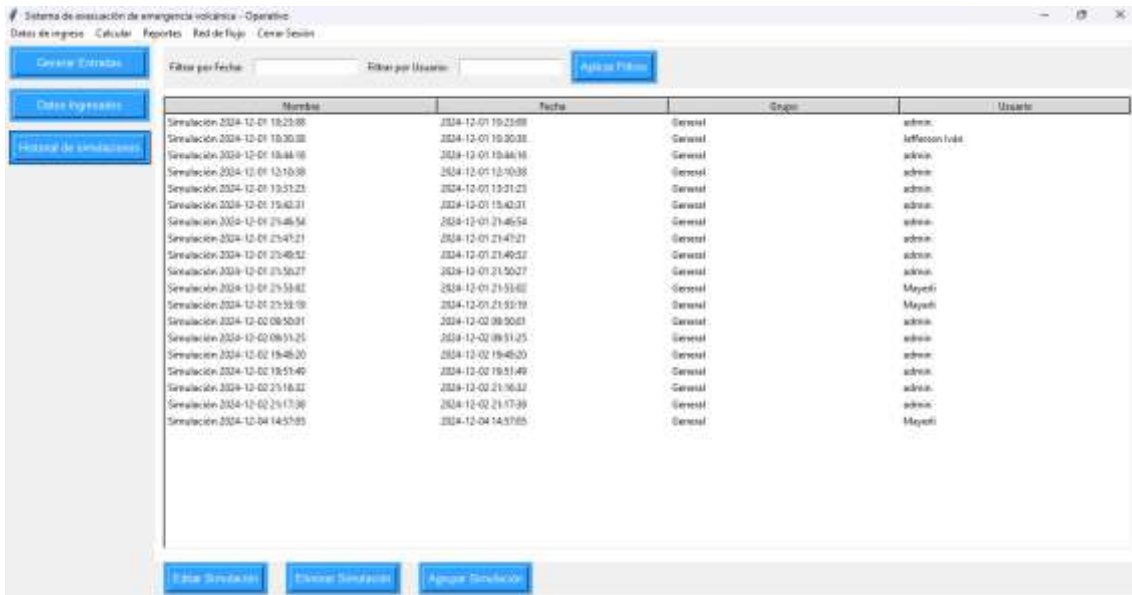


Figura 60. Ventana Principal, Despliegue de historial de simulaciones

Una vez realizado el ingreso de datos el operativo, puede dirigirse en el menú con la opción de calcular y obtendrá vista del botón resolver problema con el cual se genera la solución y mostrará el resultado en pantalla en dos columnas siendo la parte izquierda los resultados obtenidos y la derecha la interpretación de estos como se muestra en la figura 61.

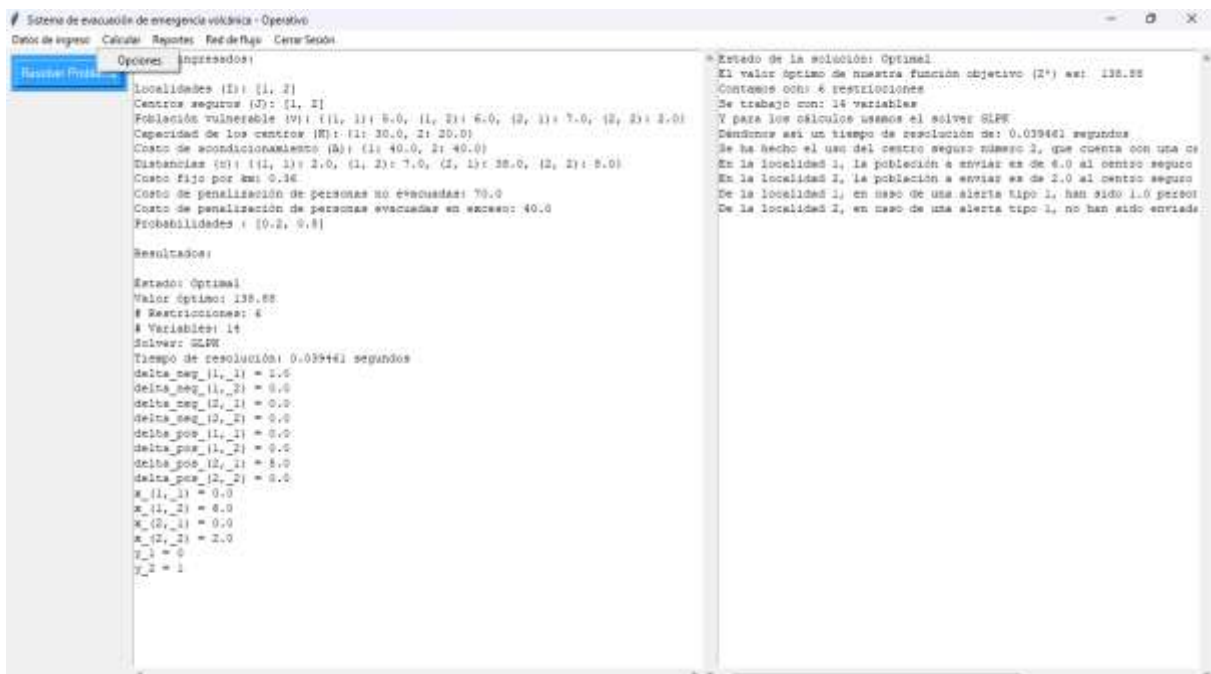


Figura 61. Ventana Principal, Vista de resultados e interpretación de ellos

Ahora al dirigirnos en el menú en la sección de generar reportes, como podemos observar en la figura 62 en la parte lateral de la ventana diversas opciones, las cuales son Mostrar gráficos el cual una vez realizado una nueva simulación nos mostrará una

ventana con los gráficos estadísticos obtenidos de los resultados como se mira en la figura 63, con el botón de Datos de resultado nos generará una ventana en la cual se muestran los datos que se obtuvo en los resultados tabulados para una mejor experiencia como se muestra en la figura 64, en la figura 65 se observa como se muestra en pantalla cuando queremos exportar un reporte en PDF o Excel, y con la opción de editar datos se puede modificar el problema resuelto y agregarle o modificar los campos según se necesite como se observa en la figura 66.

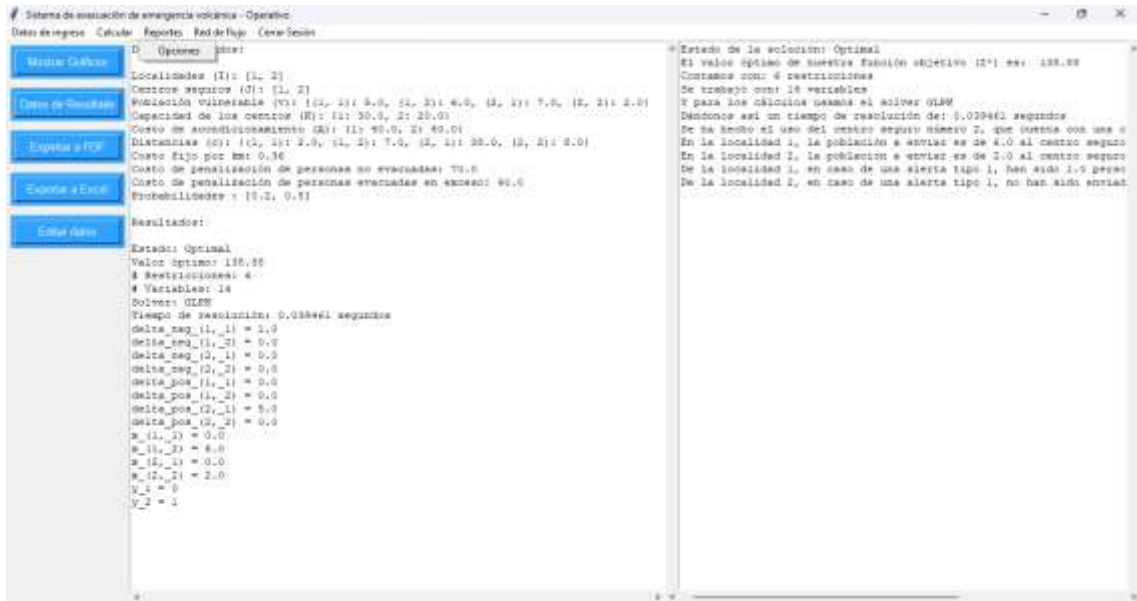


Figura 62. Ventana Principal, menú de Reportes

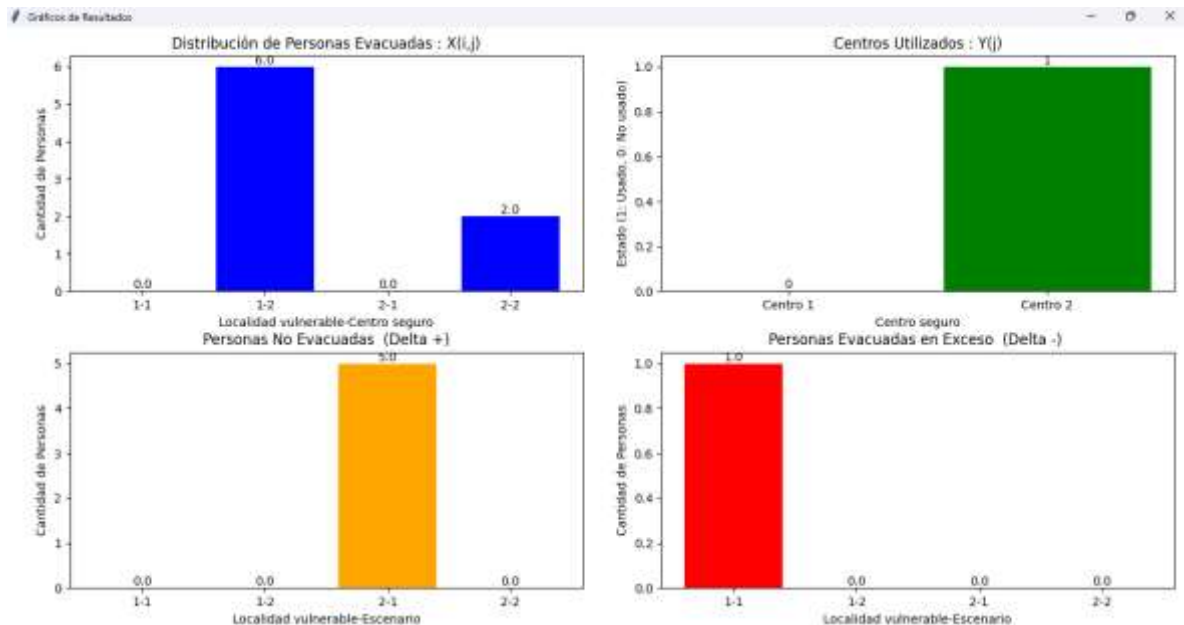


Figura 63. Ventana Gráficos de resultados

Localidad	Centro 1	Centro 2
Localidad 1	0.0	0.0
Localidad 2	0.0	2.0

Figura 64. Ventana Datos de resultados Tabulados

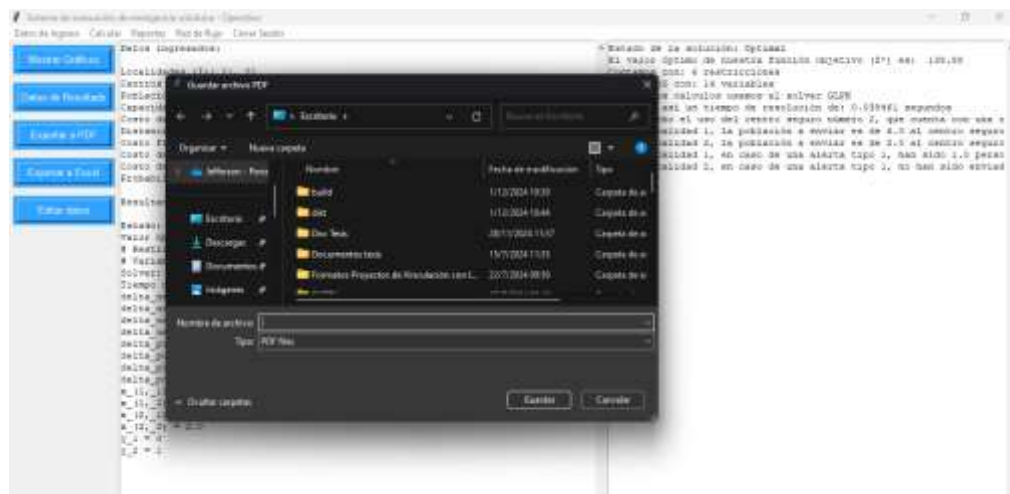


Figura 65. Generar reporte

Sistema de evacuación de emergencia volcánica - Operativo

Número de Localidades:
 Número de Centros:
 Número de estados de emergencia (alerta):
 Población - Alerta 1: Alerta 2: Alerta 3:
 Localidad 1: Localidad 2: Localidad 3:
 Capacidad y Costo de Acondicionamiento:
 Capacidad: Centro 1: Centro 2: Centro 3:
 Costo de Acondicionamiento: Centro 1: Centro 2: Centro 3:
 Distancia - Centro 1: Centro 2: Centro 3:
 Localidad 1: Localidad 2: Localidad 3:
 Costo fijo por km en transporte:
 Costo de penalización de personas evacuadas:
 Costo de penalización de personas evacuadas en exceso:
 Probabilidad:
 Escenario 1: Escenario 2: Escenario 3:

Figura 66. Editar datos ingresados

En el menú de red de flujo, nos da un botón Red de flujo como está en la figura 68 el cual generará una nueva ventana en la cual se podrá realizar una configuración de red de flujo como se mira en la figura 69.



Figura 67. Ventana Principal, menú Red de flujo

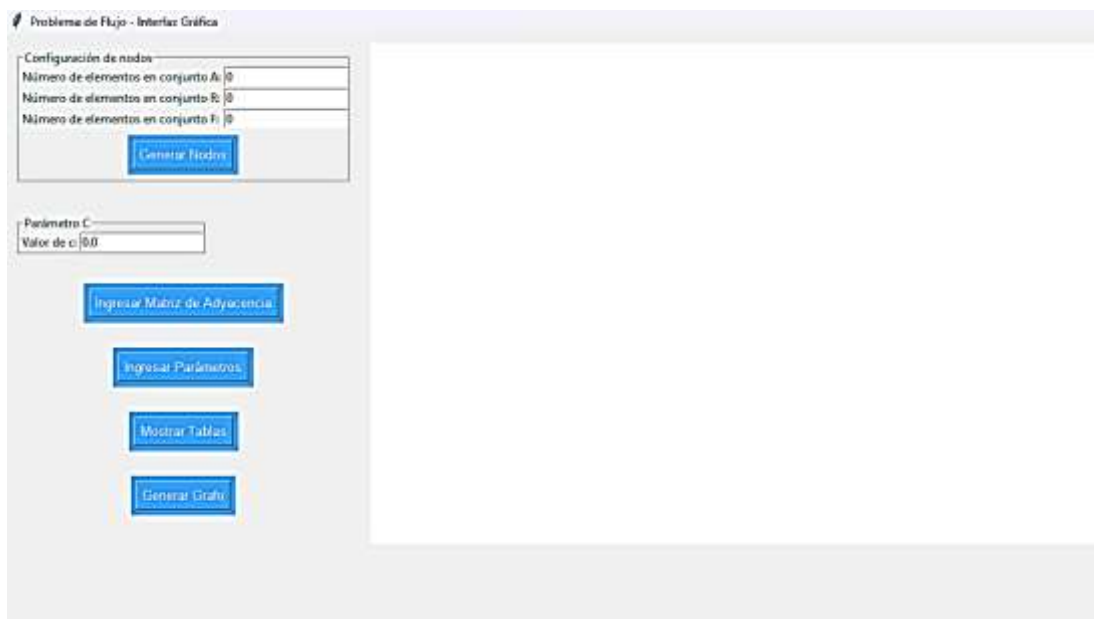


Figura 68. Ventana Problema de Flujo

Al dar clic, en el ingreso de la matriz de adyacencia debemos de ingresar valores solo de 0 y 1, siendo uno donde va a existir una conexión entre los nodos como se visualiza en la figura 69.

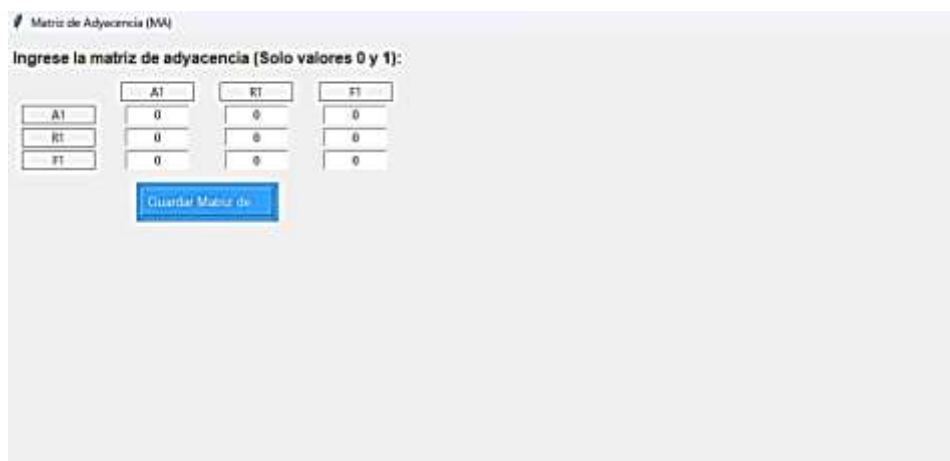


Figura 69. Ventana de ingreso de Matriz de adyacencia

Una vez guardado los datos de la matriz anterior, nos genera automáticamente la ventana de matriz de distancias aquí se nos habilitara únicamente donde hay conexión en los nodos como se mira en la figura 70, es decir, los lugares en los que se ingresó el valor de 1 en la matriz de adyacencia.

Matriz de Distancias (D)

Ingrese la matriz de distancias (solo donde MA = 1):

	A1	B1	F1
A1	-		
B1		-	
F1			-

Guardar matriz de Distancias

Figura 70. Ventana de ingreso de Matriz de distancias

Al ingresar datos en los parámetros, nos mostrara la ventana de ingreso de estos, dándonos una descripción de los parámetros con los que contamos como se muestra en la figura 71.

Parámetros de Nodos

Nota:
v = Personas en el punto de origen
cdp = Capacidad en el origen
flp = Personas en el punto de tránsito
ctp = Capacidad en el punto de tránsito
ftc = Espacios reservados en centro seguro
csc = Capacidad del centro seguro

Conjunto A

Nodo	v	cdp
A1		

Conjunto B

Nodo	flp	ctp
B1		

Conjunto F

Nodo	ftc	csc
F1		

Guardar Parámetros

Figura 71. Ventana de ingreso de parámetros

Una vez hecho el ingreso de los datos, podemos visualizarlos en manera de tablas como se visualiza en la figura 72.

Tablas de Datos

Matriz de Adyacencia (MA)

	A1	R1	F1
A1	0	1	0
R1	0	0	1
F1	0	0	0

Matriz de Distancias (D)

	A1	R1	F1
A1	0	2	0
R1	0	0	2
F1	0	0	0

Parámetros de Nodos

Conjunto A

Nodo	v	cdp
A1	1	1

Conjunto R

Nodo	v	cdp
R1	0	1

Conjunto F

Nodo	v	cdp
F1	1	1

Figura 72. Ventana de Tabla de datos ingresados

Al presionar el botón de generar grafo, se realizará el cálculo de la operación, dándonos así un mensaje con el estado de la solución y el costo total de evacuación, además de los flujos en las rutas con la cantidad de personas a enviar como observamos en la figura 73.

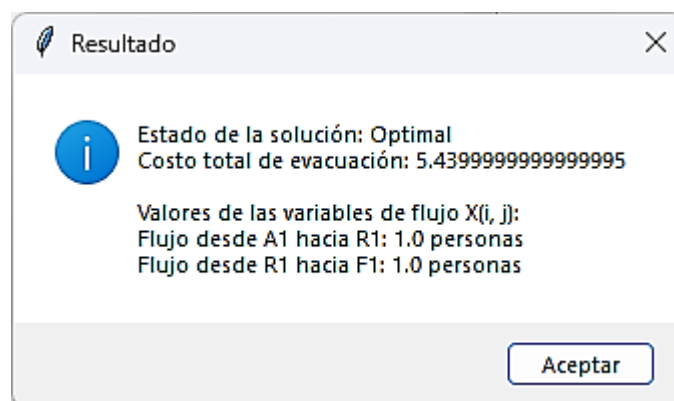


Figura 73. Vista de resultado de la red de flujo

Y por último, se nos mostrara la pantalla de problema de flujo con los grafos generados siendo el grafo superior las conexiones existentes con el peso siendo la distancia entre nodos y el grafo de rutas a seguir donde nos da las rutas a seguir después de realizar el cálculo y usando como peso la cantidad a enviar de personas como podemos observar en la figura 74.

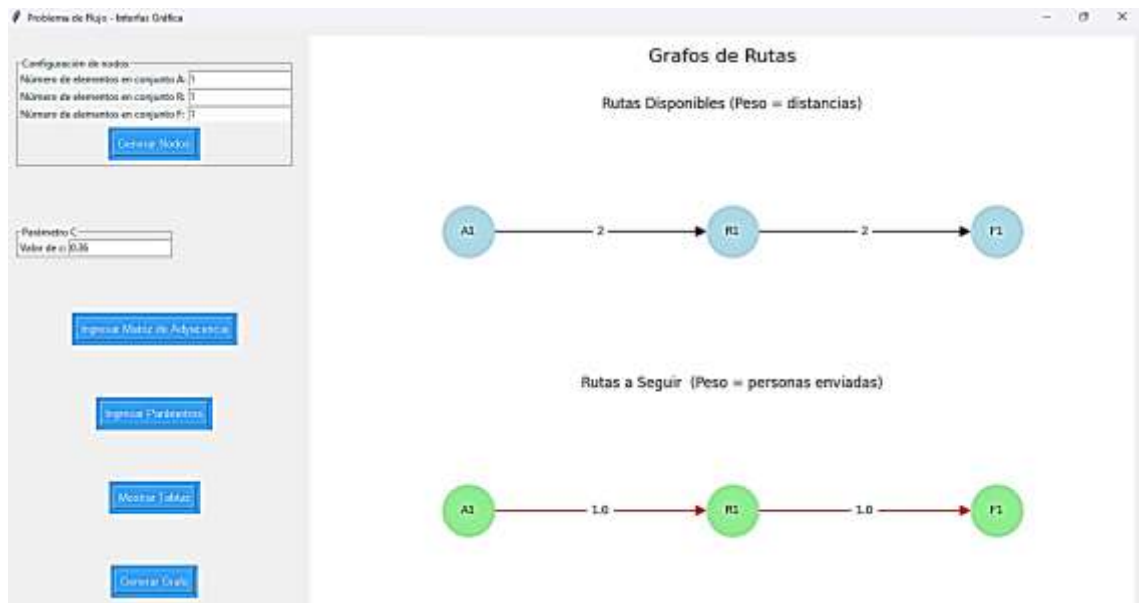


Figura 74. Pantalla de flujo, donde ya se realizó el cálculo y se generó los grafos

4.2. DISCUSIÓN

El cambio climático y su impacto en las emergencias.

El cambio climático actualmente ha intensificado la frecuencia y severidad de eventos naturales, esto ha generado desafíos adicionales en la gestión de emergencias. Este fenómeno no solo afecta a los diversos eventos de desastres naturales, sino que también complica la planificación y respuesta ante estas situaciones. La presente investigación aborda lo que son estas necesidades mediante un enfoque matemático – computacional, orientado a optimizar la evacuación de personas vulnerables, proporcionando soluciones específicas para escenarios de incertidumbre relacionados con el cambio climático y permitiendo integrar información de forma dinámica.

Uso de modelos matemáticos para tomar decisiones ante emergencias causadas por catástrofes naturales.

Los modelos matemáticos son una herramienta fundamental para tomar decisiones en situaciones críticas, debido a que estos permiten ingresar múltiples variables y restricciones en un marco lógico, además de su capacidad de ingresar grandes volúmenes de datos y generar soluciones óptimas en tiempo limitado. En este contexto se ha logrado tomar varios puntos importantes como son:

- La optimización de recursos: en este estudio se han considerado diversas variables para minimizar tiempos de respuesta y riesgos asociados.
- Simulación de escenarios: permite tratar diferentes situaciones basadas en variaciones de factores clave (sensibilidad).

Como podemos observar en la figura 75, nos muestra cómo el realizar cambios en un parámetro, en este caso la probabilidad de ocurrencia de un escenario afecta a los resultados obtenidos de la función objetivo. Además, podemos interpretar que al tener una mayor ocurrencia de un escenario 2 el valor de Z^* llega a su punto mínimo, en cambio cuando la ocurrencia de los 3 escenarios no supera ninguna la probabilidad media, el valor de Z^* aumenta.

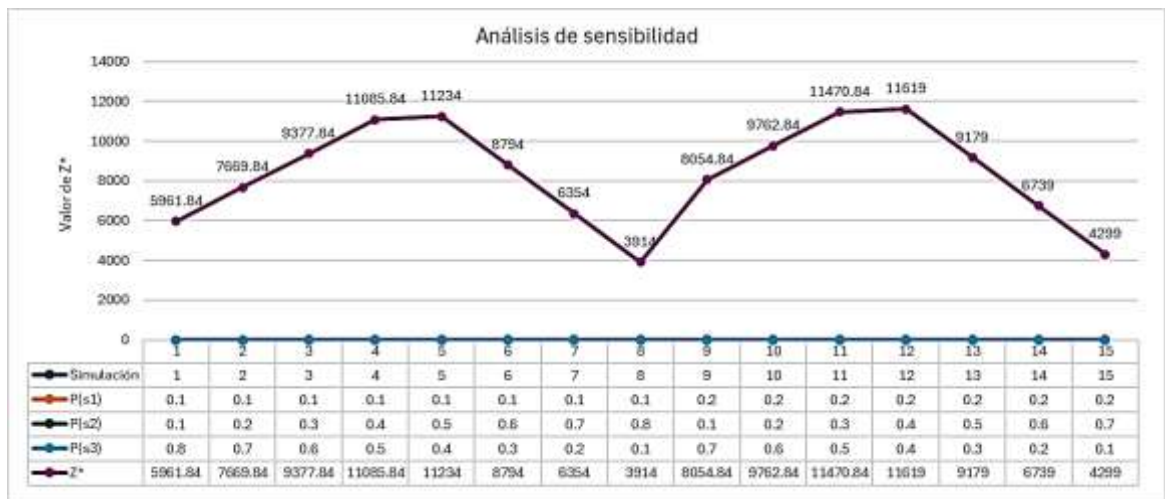


Figura 75. Análisis de sensibilidad

Estos enfoques demuestran que los modelos matemáticos permiten una toma de decisiones más informada y asertiva.

Uso de las Tics para resolver problemas de decisión complejos

Las Tics complementan los modelos matemáticos al presentarnos una infraestructura para realizar el procesamiento y visualización. El uso de estas permite el ingreso de datos en tiempo real y permite realizar simulaciones de los escenarios.

A continuación, vamos a demostrar como la propuesta del sistema nos da los resultados de una simulación de datos como se puede observar en la figura 76 en la configuración de flujo de red. En esta configuración de red se ha desarrollado con la muestra obtenida de la población teniendo en cuenta que son 3 localidades vulnerables como lo son Chical, Maldonado y Tufiño, y se trabajó con la muestra de población obtenida la cual fue de 369 personas y con 4 centros de refugio, dándonos como resultados los datos que se pueden observar en la figura 76, en este caso el valor del costo total de evacuación de la solución óptima fue de 5622.84 dólares.

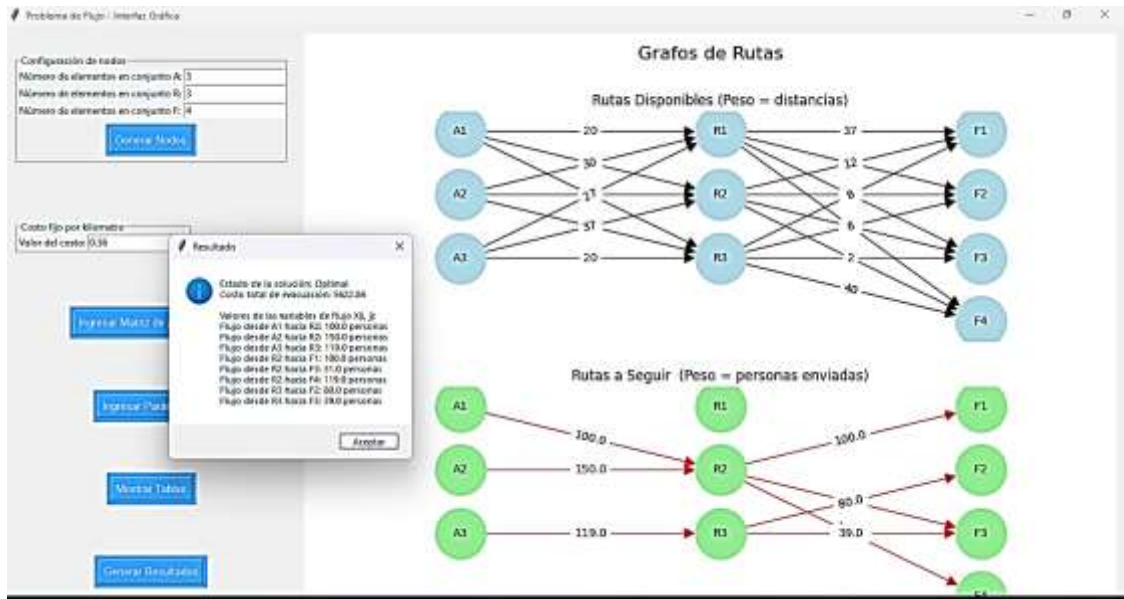


Figura 76. Simulación Configuración de red

En la simulación de escenarios, se trabajó con la muestra obtenida de 369 personas, así mismo con 4 centros seguros y 3 estados de alerta, como se puede visualizar en la figura 77, hemos obtenido los resultados de evacuación en el cual se da a interpretar que se ha hecho la utilización del centro seguro 4, y que en esta simulación contamos con personas no evacuadas en un escenario 3 de las localidades 1 y 2, y que se ha evacuado en exceso a personas en el escenario 1 desde las localidades 1, 2 y 3, también se evacuaron en exceso en el escenario 2 desde la localidad 2 y 3, en esta simulación se obtuvo una solución óptima con un costo de 12806.61 dólares.

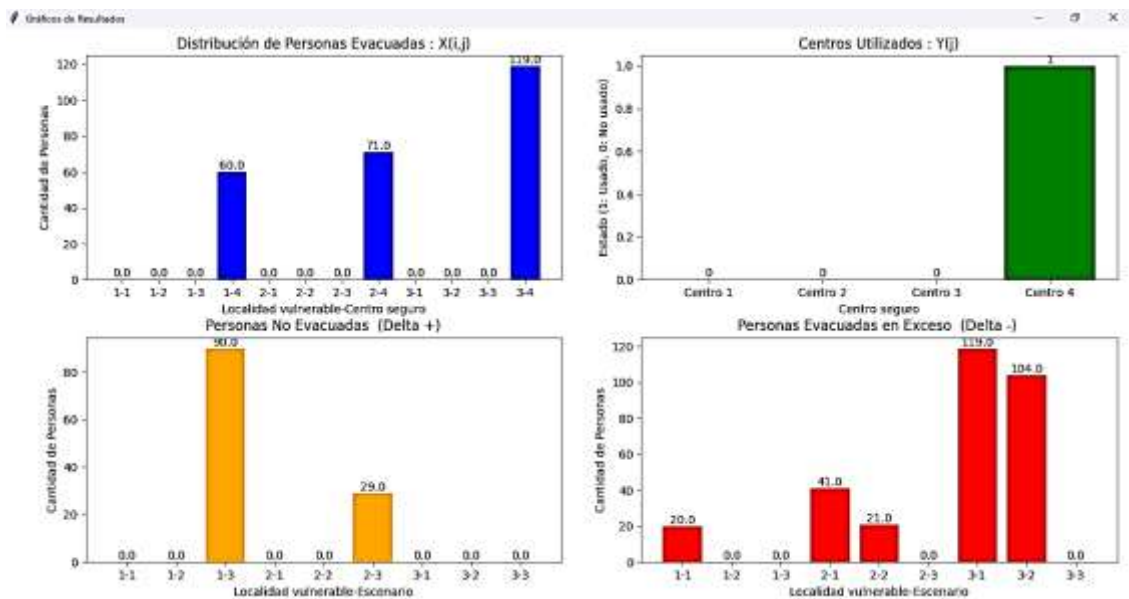


Figura 77. Simulación de escenarios

A partir de la investigación realizada, se ha diseñado una solución tecnológica para la evacuación de personal vulnerable en una emergencia de erupción volcánica severa, dicha solución se presenta como una aplicación de escritorio.

La revisión y fundamentación bibliográfica de métodos, conceptos y metodologías en base a artículos científicos, documentación y libros que se desarrolló en el capítulo II, ha permitido dar cumplimiento al primer objetivo específico de la investigación. Es así como se ha demostrado que con las simulaciones que se trabajan en la solución tecnológica se da a conocer, que mediante métodos como la optimización estocástica se puede tratar la toma de decisiones en condición de incertidumbre, lo cual coincide con Mikosch et al. (2011), quienes indican que la optimización estocástica es una rama de la investigación de operaciones que trata la toma de decisiones.

El desarrollo del modelo matemático del problema de evacuación realizado en el capítulo III como parte de los métodos utilizados, ha consolidado la capacidad de representar de manera formal y precisa los aspectos clave del evento catastrófico, dando así solución a nuestro segundo objetivo específico.

La propuesta tecnológica desarrollada que se presenta en el trabajo de integración curricular ha considerado las bondades de la ingeniería del software, esta se encuentra presente como parte de los resultados de la investigación, en la cual demuestra el proceso llevado a cabo basándose en las fases de la metodología tradicional de software RUP (Figura 78).

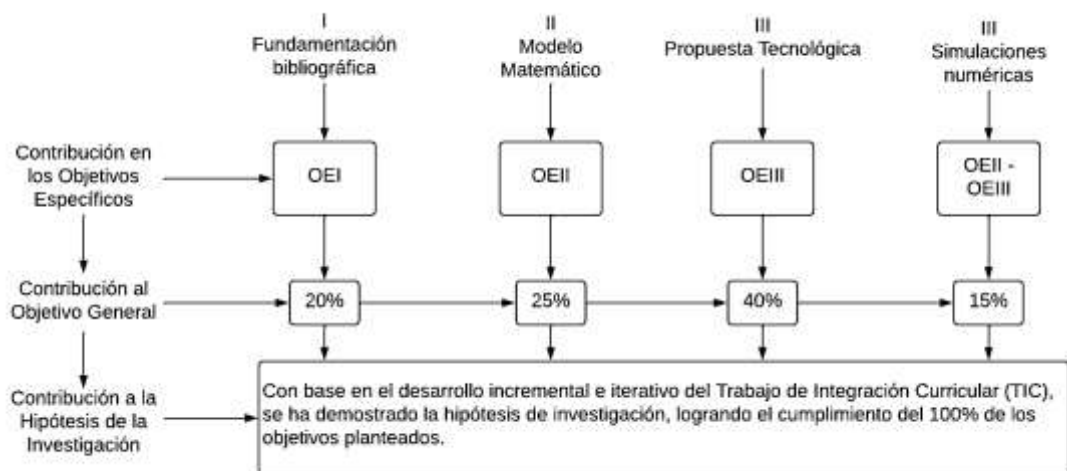


Figura 78. Esquema de cumplimiento de la Hipótesis de la Investigación

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La presente investigación consolida una solución práctica al problema de la evacuación de personal vulnerable ante emergencias causadas por posibles erupciones volcánicas en sus distintos escenarios de alerta, mediante un enfoque matemático – computacional en donde se aplica el enfoque de modelado matemático estocástico y la programación orientada a objetos bajo los principios de la ingeniería de software.
- Se realizó un análisis detallado de los diversos enfoques y tendencias en el campo de las Tics, su relación con la modelación matemática y el impacto en la solución de problemas de emergencias relacionadas con la actividad volcánica a una escala macro, meso y micro.
- Se construyen dos modelos matemáticos, el primero; responde a un problema nominal de flujo de evacuación para una configuración de red determinada y el segundo responde al mismo problema, pero considerando escenarios probables y una variante estocástica del mismo.
- Se plantea un modelo de ingeniería de software basado en la metodología tradicional RUP de IBM, en dónde se consolidan los modelos de negocio, objetos y actividades en una primera instancia, así como, un modelo del sistema, secuencia y colaboración, lo cual facilitó el proceso de fase de inicio, fase de elaboración, fase de construcción y la fase de transición de la solución tecnológica.
- Se utilizó como sistema de gestión de base de datos a MONGO DB el cual es una base de datos no relacional, este permite adaptarse rápidamente a cambios en la estructura de datos o manejar cantidad masiva de información de baja latencia. Su diseño basado en documentos, pares clave – valor aseguró un rendimiento óptimo, además de facilitar la escalabilidad en escenarios complejos y que están en constante evolución.
- La implementación de un modelo de toma de decisiones en un sistema matemático – computacional es decisiva para optimizar la respuesta a

emergencias. Dicho modelo permite decisiones rápidas y fundamentadas, protegiendo vidas humanas y minimizando costos. Además, su capacidad para incorporar aprendizajes de eventos pasados fortalece a futuras simulaciones y predicciones.

- El aporte a los Objetivos de Desarrollo sostenible se ha encontrado en:
ODS 9 (Infraestructuras resilientes): La solución planteada fomenta innovación y resiliencia en la gestión de emergencias, fortaleciendo la capacidad de localidades para enfrentar riesgos.
ODS 11 (Ciudades sostenibles): Mejora la capacidad de respuesta de las autoridades, promoviendo localidades más seguras y sostenibles.
ODS 13 (Cambio climático): Aunque no se puede evitar o prevenir eventos volcánicos, facilita la mitigación de sus efectos mediante evacuaciones más eficientes, disminuyendo el impacto humano y ambiental.
- La solución tecnológica favorece la coordinación entre instituciones, mediante los reportes que genera reduciendo tiempos de decisión y mejorando la eficacia de respuesta.
- Esta investigación cuenta con diversos aportes como son los económicos ya que una planificación eficiente reduce costos asociados a la evacuación. Ambientales debido a que una evacuación efectiva previene la pérdida de biodiversidad y protege áreas naturales, una evacuación ordenada minimiza impactos ambientales, metodológicos gracias a que la identificación de personas vulnerables requiere una metodología que considere factores como ubicación, movilidad, capacidad de centros, esto asegura una evacuación efectiva para garantizar su salud y prácticos ofreciendo herramientas útiles para la toma de decisiones.
- La sinergia entre el modelo matemático y el sistema computacional permitió simulaciones y análisis efectivos. El modelo aporta con las ecuaciones y relaciones, mientras que el sistema aplica dichos conceptos y genera los resultados prácticos y accionables.
- Se simularon casos cercanos a la realidad teniendo en cuenta datos obtenidos del (Censo Ecuador, 2022) obteniéndose resultados que demuestran que el uso de la solución tecnológica dada resuelve problemas de decisión complejos.

5.2. RECOMENDACIONES

- Implementar módulos que contengan aprendizaje automático y otros enfoques de robustez no dependientes de la probabilidad de los escenarios, sino que contemplen incertidumbres en la transportación, en las características económico – demográficas de las poblaciones vulnerables con enfoques tales como la optimización borrosa, la optimización robusta el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo.
- Ampliar el estudio a otros fenómenos de la región, tales como, lluvias intensas, deslaves, desbordamiento de presas y otros en los cuales la solución propuesta podría ser útil para la previsión y seguridad de las personas vulnerables.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altay, N., & Green, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475–493. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.05.016>
- American Psychological Association. (2020). Lenguajes de programación. En *Diccionario de tecnología de la información* (p. 214). Editorial Médica Panamericana.
- Bobadilla, J. E. P. (2010). Ingeniería de software enfoque practico 7ed Pressman.PDF. *University of Connecticut, 7ma*, 1–810. https://www.academia.edu/44401579/Ingenieria_de_software_enfoque_practico_7ed_Pressman_PDF
- Boghossian, P. (2020). What the Sokal Hoax Outght to Teach Us: The pernicious consequences and internal contradictions of 'postmodernist' relativism. In *Arguing About Knowledge* (pp. 553-560). Routledge.
- Carro, R. (2014). *Investigación de operaciones en administración*. 533. <https://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/2180/>
- Chacón, J. C. R. (2006). *APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RUP PARA EL DESARROLLO RÁPIDO DE APLICACIONES BASADO EN EL ESTÁNDAR J2EE*.
- Censo Ecuador. (2022). *Censo Ecuador*. <https://www.censoecuador.gob.ec/>
- Ebmeier, S. K., Elliott, J. R., Nocquet, J. M., Biggs, J., Mothes, P., Jarrín, P., Yépez, M., Aguaiza, S., Lundgren, P., & Samsonov, S. V. (2016). Shallow earthquake inhibits unrest near Chiles–Cerro Negro volcanoes, Ecuador–Colombian border. *Earth and Planetary Science Letters*, 450, 283–291. <https://doi.org/10.1016/J.EPSL.2016.06.046>
- Escuela Superior Politécnica del Ejército. (2016). Modelo. Recuperado el 29 de marzo de 2023, de <https://www.espe.edu.ec/>
- Erupciones Volcánicas – Secretaría de Gestión de Riesgos. (2020). Gob.ec. Retrieved March 24, 2023, from <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/erupciones-volcanicas/>
- Fernández-Fernández, Y., Allende-Alonso, S. M., Miranda-Pérez, R., & Bouza-Allende, G. (2023). TWO-STAGE EVACUATION MODEL CONSIDERING UNCERTAINTY OF STORM TRACKS IN THE CARIBBEAN. In *International Journal of Applied Engineering & Technology Copyrights @ Roman Science Publications Ins* (Vol. 5, Issue S6).

- Forte, P., Rodríguez, L., Patricia, M., Paz, J., Caballero García, L., Segura, Y. A., Bustos, E., Perales Moya, C., Espinoza, E., Vallejo, S., & Agosto, M. (2021). Monitoreo volcánico en América Latina: un paso adelante. <https://wovo.iavceivolcano.org/observatories>
- Fuzzy Sets, Decision Making, and Expert Systems - Hans-Jürgen Zimmermann. (1987). Retrieved April 19, 2023, from https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=66rwpVEgLY0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=Fuzzy+sets,+decision+making,+and+expert+systems.&ots=NcXloJ-tWn&sig=Hwk_LBty0f44IEBBvdZ_7MxOYho&redir_esc=y#v=onepage&q=Fuzzy%20sets%2C%20decision%20making%2C%20and%20expert%20systems.&f=false
- Gamez, M. J. (2022). Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Gob, C. (2022). SIMULACRO DE EVACUACIÓN ANTE POSIBLE ERUPCIÓN DEL COMPLEJO VOLCÁNICO CHILES Y CERRO NEGRO - GOBERNACIÓN CARCHI. GOBERNACIÓN CARCHI. <https://gobnacioncarchi.gob.ec/2022/08/10/simulacro-de-evacuacion-ante-posible-erupcion-del-complejo-volcanico-chiles-y-cerro-negro/>
- Hernández Sampieri, Roberto., Fernández Collado, Carlos., & Baptista Lucio, Pilar. (2006). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2010). *INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES*.
- Inga M. Torres, P., & Karim Paz, I. (2019). *MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA UNA INVESTIGACIÓN*.
- JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology -Basic and general concepts and associated terms (VIM) 3rd edition 2008 version with minor corrections Vocabulaire international de métrologie -Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM) 3 e édition. (2012). https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_200_2012.pdf
- Laura, R. (2004). *Una introducción a los modelos deterministas y estocásticos*.
- Lazzari -Emilio, L. L., Machado -Rodolfo, A. M., & Pérez, H. (2006). *LOS CONJUNTOS BORROSOS: UNA INTRODUCCION*.
- López-Vargas, J. C., & Cárdenas-Aguirre, D. M. (2017). Gestión de la logística humanitaria en las etapas previas al desastre: revisión sistemática de la literatura. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7(2), 203–216. <https://doi.org/10.19053/20278306.v7.n2.2017.6094>
- Migani, S., Vera, C., & Lund, M. I. (2018). *NoSQL: MODELOS DE DATOS Y SISTEMAS DE GESTIÓN DE BASES DE DATOS*.
- Mikosch, T. V, Resnick, S. I., & Robinson, S. M. (2011). *Springer Series in Operations Research and Financial Engineering*. <http://www.springer.com/series/3182>

OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. (2019). Paho.org. <https://www.paho.org/es>

Organización Internacional para las Migraciones (OIM). (2020). Guía para la logística humanitaria en la mitigación de desastres. Recuperado de https://rosanjose.iom.int/sites/default/files/publicaciones/Logistica_Humanitaria_en_la_Mitigacion_de_Desastres.pdf

Palma, R. R. (2017). *Toma de Decisiones*.

Pérez, F. (2013). *Enfoque estocástico de la incertidumbre en la selección de carteras de proyectos*.

Putirka, K. D. (2008). Thermometers and barometers for volcanic systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 69, 61–120. <https://doi.org/10.2138/rmg.2008.69.3>

Ramos, A. (2016). *OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA*.

Ruiz, J. (2020). *Aceleración de programas Python mediante Cython*. <https://repositorio.uam.es/handle/10486/693302>

Salas, H. G. (2017). *PROGRAMACIÓN LINEAL APLICADA*. www.ecoediciones.com

Santana-Robles, F., Granillo-Macias, R., Armas-Alvarez, B., & Beltrán Rodríguez, Z. (2023). Modelos matemáticos para la evacuación de personas en la cadena de suministro humanitaria: una revisión. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de La Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 10(19), 48–60. <https://doi.org/10.29057/escs.v10i19.9902>

Shmueli, G., Bruce, P. C., Yahav, I., Patel, N. R. (Nitin R., & Lichtendahl, K. C. (2018). *Data mining for business analytics: concepts, techniques, and applications in R*.

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

Van Wassenhove, L. N. (2006). Blackett memorial lecture humanitarian aid logistics: Supply chain management in high gear. *Journal of the Operational Research Society*, 57(5), 475–489. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602125>

Volcán Cotopaxi - Instituto Geofísico - EPN. (2023). Edu.ec. Retrieved March 29, 2023, from <https://www.igepep.edu.ec/mapas/amenaza-volcanica/mapa-volcan-cotopaxi.html>.

Volcán Ubinas: a un año de la explosión volcánica más grande registrada en el Perú en el siglo XXI. (2019). Gob.pe. Retrieved March 25, 2023, from <https://www.gob.pe/institucion/igp/noticias/212417-volcan-ubinas-a-un-ano-de-la-explasion-volcanica-mas-grande-registrada-en-el-peru-en-el-siglo-xxi>

York Oxford, N., Diego, S., Francisco, S., Sydney, S., & Ross, S. M. (2014). *Introduction to Probability Models Eleventh Edition*. <http://elsevier.com/>

Zapata, C. A. (2022). Optimización robusta de portafolios: conjuntos de incertidumbre y contrapartes robustas. *ODEON*, 20, 93–121.
<https://doi.org/10.18601/17941113.n20.04>

VII. ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI

FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE COMPUTACIÓN

ACTA

DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR


ESTUDIANTE:	Narváez Quenda Jefferson Iván	CÉDULA DE IDENTIDAD:	0450047750
PERIODO ACADÉMICO:	2024B		
PRESIDENTE TRIBUNAL	MSC. Milton Gabriel Del Horno Mosquera	DOCENTE TUTOR:	MSC. Yaimany Fernandez Fernandez
DOCENTE:	MSC. Samuel Benjamin Lascana Rivera		
TEMA DEL TIC:	"Sistema matemático - computacional en la evacuación de personal vulnerable ante una emergencia de erupción volcánica severa"		

No.	CATEGORÍA	Evaluación cuantitativa	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	9.10	
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	9.10	
3	METODOLOGIA	9.10	
4	RESULTADOS	8.67	se solicita que el programa este funcional desde el servidor de SMART DATALAB
5	DISCUSIÓN	9.10	
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	9.10	
7	DEFENSA, ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	8.30	utilizar vocabulario técnico
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	9.10	

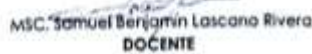
Obteniendo una nota de: **9.00** Por lo tanto, **APRUEBA** ; debiendo el o los investigadores acatar el siguiente artículo

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el informe final del TIC con observaciones.- Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.

Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcán el **martes, 17 de diciembre de 2024**


 MSC. Milton Gabriel Del Horno Mosquera
PRESIDENTE TRIBUNAL


 MSC. Yaimany Fernandez Fernandez
DOCENTE TUTOR


 MSC. Samuel Benjamin Lascana Rivera
DOCENTE

Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN AND NATIVE LANGUAGE CENTER

Informe sobre el Abstract de Artículo Científico o
Investigación.

Autoras: Narváez Quendi Jefferson Iván

Fecha de recepción del abstract: 19 de diciembre de 2024

Fecha de entrega del informe: 24 de diciembre de 2024

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9, por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MA. Martha Viveros
Docente responsable del
CIDEN

Anexo 3. Carta de incorporación



Tulcán, 21 de abril de 2023

Msc. Carlitos Guano

DIRECTOR DE LA CARRERA DE COMPUTACIÓN

Presente. -

De mi consideración:

Por medio del presente se deja constancia de la necesidad que tiene el proyecto de investigación SMART DATA LAB en la creación de "Sistema matemático - computacional para la evacuación de personal vulnerable ante una emergencia de erupción volcánica severa" el cual debe ser desarrollado en el periodo académico PAO 2023 A – 2023 B, en tal sentido el estudiante Jefferson Iván Narváez Quendi con número de cedula 0450047758 se ha comprometido a realizar el presente proyecto de tesis, es lo que puedo manifestar en honor a la verdad.

Atentamente,

Msc. Samuel Lascano

Anexo 4. Carta compromiso



**Universidad Politécnica
Estatal del Carchi**
Educamos para transformar el mundo



Tulcán, 21 de abril de 2023

Msc. Samuel Lascano Rivera

DIRECTOR DEL PROYECTO

Smart Data Lab

Presente. -

De mi consideración:

Por la presente, agradezco la confianza depositada en mi persona para poder realizar la creación de "Sistema matemático - computacional para la evacuación de personal vulnerable ante una emergencia de erupción volcánica severa" el cual debe ser desarrollado en el periodo académico PAO 2023 A - 2023 B. a la vez expreso el compromiso de conocer las responsabilidades que implica este proyecto de investigación.

Por lo que me comprometo a:

- Respetar y cumplir las normativas internas del laboratorio.
- No divulgar la información de la institución por ningún tipo o mecanismo.
- Guardar el decoro adecuado de mi comportamiento en el interior del laboratorio y durante el tiempo que dure el proyecto de investigación.
- Llevar durante el proyecto el adecuado uso de vestimenta acorde con la formalidad que requiere este laboratorio.
- Utilizar los recursos de la institución exclusivamente para las tareas encomendadas a mi persona.
- Asistir puntualmente a las horas programadas para trabajar en el proyecto.

Además, dejo constancia que:

- Comprendo que este proyecto de investigación no involucra ningún compromiso de contrato laboral durante o después de haber culminado el proceso del proyecto a realizar.
- Comprendo que este proyecto de investigación no genera obligaciones patronales de ningún tipo y por lo tanto no puedo reclamarlas de ninguna forma o bajo ningún argumento.

Atentamente.

Jefferson Iván Narváez Quendi

C.I. 0450047758

**ESTUDIANTE DE LA CARRERA DE CIENCIAS EN LA COMPUTACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI**