TRABAJO FIN DE MASTER

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN WEB QUE INTEGRA LA METODOLOGÍA SELECT.FC PARA LA EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD SÍSMICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE **MÁSTER EN INGENIERÍA DE LA ORGANIZACIÓN**

JUNIO 2024

Lisandra Priscilla Hernández Morales

Director del Trabajo de Fin de Máster

Víctor Gómez Frías

Tutor externo

Laura Navas-Sánchez

INDUSTRIALES
ETSII | UPM

POLITÉCNICA

AGRADECIMIENTOS

Este Trabajo de Fin de Máster (TFM) ha sido posible gracias al apoyo y colaboración de diversas personas e instituciones.

En primer lugar, quiero agradecer a mis tutores, Víctor Gómez y Laura Navas-Sánchez, cuya dedicación y atención meticulosa a los detalles fueron fundamentales para la realización de este proyecto.

También deseo expresar mi gratitud al Grupo de Investigación en Ingeniería Sísmica (GIIS) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) por brindarme la oportunidad de participar en este proyecto y por proporcionarme los recursos necesarios para llevarlo a cabo. Especialmente agradezco a Belén Benito, Maribel Jimenez, Orlando Hernández-Rubio y Beatriz González por su colaboración continua durante este trabajo.

Un reconocimiento especial va dirigido a Marlon Martínez, quien me asesoró en la creación de la aplicación. Su experiencia técnica y orientación fueron fundamentales para el éxito de esta herramienta. Agradezco sinceramente su paciencia y el tiempo dedicado a compartir su amplio conocimiento conmigo.

Además, quiero agradecer el apoyo financiero proporcionado por la Plataforma para el Desarrollo Sostenible de Latinoamérica y el Caribe (Plataforma LAC) de la UPM y la Fundación Eurocaja Rural. Estas becas fueron fundamentales para hacer realidad este proyecto.

A todos los mencionados, mi más sincero agradecimiento por su invalorable contribución a este logro académico.

ABSTRACT

This Master's Thesis (TFM) is the result of a collaboration on a research project developed by the Grupo de Investigación en Ingeniería Sísmica (GIIS) at the Universidad Politécnica de Madrid (UPM). The project was funded by a grant from the Plataforma para el Desarrollo Sostenible de Latinoamérica y el Caribe (Plataforma LAC) at UPM, as well as another grant from the Fundación Eurocaja Rural in the 2023 Social Assistance Call.

The main objective was to develop a web application that implemented the Select.FC methodology proposed by GIIS to evaluate and classify seismic fragility curves. This initiative was carried out with the purpose of providing professionals in the field of seismic risk with a useful and rigorous tool to select the most suitable curves according to the specific characteristics of different geographic areas. This constitutes a contribution that facilitates seismic risk studies, which require the use of these curves to estimate potential damage to different construction types in future earthquakes.

The project extended over 27 weeks, following the agile Scrumban methodology as a framework. For the development of the application, technologies such as HTML, JavaScript, and Bootstrap were used for the frontend, and C# along with the .NET Framework for the backend. The development environment used was Visual Studio 2022, and database management was carried out using SQL Server 2019.

The main results obtained from this development include: first, a functional web application that integrates the Select.FC methodology for the evaluation and classification of fragility curves, and an SQL database for storing and managing fragility curve data and evaluation results. Second, the creation of algorithms for the automatic calculation of final scores and the classification of fragility curves, as well as the generation of detailed reports that reflect the evaluation results, with the ability to download these reports as Excel files. And finally, a detailed user manual providing step-by-step instructions for using the application, supplemented by a video tutorial for visual guidance.

In addition to meeting the academic objectives of the TFM, this work aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs). Specifically, it positively contributed to SDGs 9 (Industry, Innovation, and Infrastructure), 11 (Sustainable Cities and Communities), 13 (Climate Action), and 17 (Partnerships for the Goals), as detailed further in the project impact assessment.

KEYWORDS

Seismic risk, Vulnerability, Fragility curves, Select.FC methodology, Web applications, Web architecture, Frontend, Backend, Database, Technology, Development.

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Máster (TFM) es el resultado de una colaboración en un proyecto de investigación desarrollado por el Grupo de Investigación en Ingeniería Sísmica (GIIS) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), financiada con una beca otorgada por la Plataforma para el Desarrollo Sostenible de Latinoamérica y el Caribe (Plataforma LAC) de la UPM y otra beca financiada por la Fundación Eurocaja Rural en la Convocatoria de Ayudas Sociales 2023.

El objetivo principal consistió en desarrollar una aplicación web que implementara la metodología Select.FC propuesta por GIIS, para evaluar y clasificar curvas de fragilidad sísmica. Esta iniciativa se llevó a cabo con el propósito de proporcionar a los profesionales del campo del riesgo sísmico una herramienta útil y rigurosa para seleccionar las curvas más adecuadas según las características específicas de distintas zonas geográficas. Esto supone una contribución que facilita los estudios de riesgo sísmico que requieren el uso de dichas curvas para estimar el daño potencial en diferentes tipologías constructivas ante sismos futuros.

El proyecto se extendió a lo largo de 27 semanas, siguiendo la metodología ágil Scrumban como marco de trabajo. Para el desarrollo de la aplicación, se emplearon tecnologías como HTML, JavaScript y Bootstrap para el *frontend*, y C# junto con .NET Framework para el *backend*. El entorno de desarrollo utilizado fue Visual Studio 2022, y la gestión de la base de datos se realizó mediante SQL Server 2019.

Los principales resultados obtenidos de este desarrollo incluyen: primero, una aplicación web funcional que integra la metodología Select.FC para la evaluación y clasificación de curvas de fragilidad, y una base de datos SQL para el almacenamiento y gestión de datos de curvas de fragilidad y resultados de evaluaciones. Segundo, la creación de algoritmos para el cálculo automático de puntajes finales y la clasificación de las curvas de fragilidad, así como la generación de informes detallados que reflejan los resultados de las evaluaciones, con la capacidad de descargar estos informes en archivos Excel. Y finalmente, un manual de usuario detallado que proporciona instrucciones paso a paso para utilizar la aplicación, complementado con un video tutorial para orientación visual.

Además de cumplir con los objetivos académicos del TFM, este trabajo se encuentra en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Específicamente, contribuyó positivamente a los ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), 13 (Acción por el Clima) y 17 (Alianzas para Lograr los Objetivos), como se detalla más adelante en la evaluación del impacto del proyecto.

PALABRAS CLAVES

Riesgo sísmico, Vulnerabilidad, Curvas de fragilidad, Metodología Select.FC, Aplicaciones web, Arquitectura web, *Frontend*, *Backend*, Base de datos, Tecnología, Desarrollo.

CÓDIGOS UNESCO

120300	CIENCIA DE LOS ORDENADORES
120311	SOFTWARE
120312	BASES DE DATOS
120318	DISEÑO Y COMPONENTES DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN
120323	LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN
250705	SISMOLOGÍA Y PROSPECCIÓN SÍSMICA
331000	TECNOLOGÍA INDUSTRIAL
332903	ORGANIZACIÓN COMUNITARIA

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 12

1.1. Contexto y justificación del proyecto 12

1.2. Objetivos 13

1.3. Metodología 14

1.4. Fases del proyecto 15

1.5. Contenido de la memoria 16

CAPÍTULO 2. MARCO TEORÍCO 18

2.1. Conceptos clave 18

2.1.1. Riesgo 18

2.1.2. Peligrosidad (H) 19

2.1.3. Exposición (E) 20

2.1.4. Vulnerabilidad (V) 20

2.2. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica 20

2.2.1. Vulnerabilidad de elementos estructurales 21

2.2.2. Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica 21

2.3. Curvas de fragilidad 23

2.4. Metodología Select.FC 24

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE NECESIDADES Y REQUISITOS 28

3.1. Descripción del cliente 28

3.2. Análisis del problema 29

3.3. Alcance del proyecto 30

3.4. Requerimientos funcionales y no funcionales 31

3.5. Cronograma 33

3.6. Presupuesto 34

CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL PROYECTO 36

4.1. Impacto del proyecto 36

4.2. Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 38
CAPÍTULO 5. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS 41
5.1. Tecnologías utilizadas 41
5.1.1. Descripción de tecnologías en el frontend 42
5.1.2. Descripción de tecnologías en el backend 44
5.2. Entorno de desarrollo 46
5.3. Gestor de base de datos 46
CAPÍTULO 6. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN 49
6.1. Preparación de los datos 49
6.2. Creación de la base de datos en SQL Server 50
6.3. Arquitectura de la aplicación 59
6.4. Interfaz de usuario 62
CAPÍTULO 7. MANUAL DE USUARIO 64
7.1. Estructura y contenido del manual de usuario 64
7.2. Instrucciones detalladas para el uso de la aplicación 65
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO 72
CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA 74
CAPÍTULO 10. GLOSARIO 77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de la metodología Scrum. Fuente: Geeksforgeeks. (2024) 14

Figura 2. Ejemplo de un tablero Kanban. Fuente: Geeksforgeeks. (2024).....15

Figura 3. Fases del proyecto. Fuente: Elaboración propia. 15

Figura 4. Componentes del riesgo sísmico. Fuente: Defensa de tesis doctoral Navas-Sánchez. (2023).....19

Figura 5. Componentes de la evaluación del riesgo sísmico y las opciones para el procedimiento de evaluación de la vulnerabilidad. Modificado de: Calvi et al. (2006) 22

Figura 6. Ejemplo de representación gráfica de curvas de fragilidad para dos diferentes tipologías estructurales, como parámetro de demanda (PESH) se está usando el desplazamiento espectral (Sd). Fuente: Quiroz (2017).....23

Figura 7. Conceptualización, dimensiones y variables del índice propuesto para evaluar las curvas de fragilidad. Fuente: Navas-Sánchez et al. (2023).....25

Figura 8. Eficiencia operativa y ejemplo de aplicabilidad de las diferentes dimensiones definidas por la metodología. Fuente: Defensa de tesis doctoral Navas-Sánchez. (2023)....27

Figura 9. Hoja de cálculo de evaluación previo a la aplicación web. Fuente: Elaboración propia. 29

Figura 10. Hoja de cálculo de evaluación previo a la aplicación web. Fuente: Elaboración propia. 30

Figura 11. Diagrama de flujo de proceso de navegación. Fuente: Elaboración propia. 32

Figura 12. Partes interesadas del proyecto. Fuente: Elaboración propia. 36

Figura 13. Contribución a los ODS. Fuente: SDG Impact Assessment. (2024).....38

Figura 14. Interacción entre el frontend y el backend. Fuente: Ayala (2021).....41

Figura 15. Estructura básica de un documento HTML. Fuente: Elaboración propia.....43

Figura 16. Ejemplo de un código JavaScript. Fuente: Elaboración propia. 43

Figura 17. Ejemplo de componentes y plantillas. Fuente: Bootstrap. (2024).....44

Figura 18. Ejemplo de un código C#. Fuente: Elaboración propia 45

Figura 19. Ejemplo base de datos relacional. Fuente: Geeksforgeeks. (2023) 47

Figura 20. Ejemplo de código SQL que ilustra las cláusulas básicas para la consulta de datos en una base de datos relacional. Fuente: Elaboración propia. 48

Figura 21. Información de las curvas de fragilidad. Fuente: Elaboración propia. 49

Figura 22. Variables preevaluadas. Fuente: Elaboración propia. 50

Figura 23. Base de datos de las curvas de fragilidad. Fuente: Elaboración propia. 50

Figura 24. Diagrama entidad-relación. Fuente: Elaboración propia. 51

Figura 25. Arquitectura de una aplicación web. Fuente: KaraPardaz. (2020).....59

Figura 26. Flujo de interacciones en el patrón MVC (Modelo-Vista-Controlador). Fuente: Elaboración propia 60

Figura 27. Entorno de desarrollo de la aplicación. Fuente:Elaboración propia.....60

Figura 28. Patrón MVC de la aplicación. Fuente:Elaboración propia 61

Figura 29. Menú principal. Fuente: Elaboración propia.....62

Figura 30. Manual de usuario de la aplicación. Fuente: Elaboración propia 62

Figura 31. Pantalla de video tutorial. Fuente: Elaboración propia. 63

Figura 32. Pantalla para evaluar curvas de fragilidad. Fuente: Elaboración propia. 65

Figura 33. Pantalla filtros. Fuente: Elaboración propia.....66

Figura 34. Pantalla filtrar. Fuente: Elaboración propia. 66

Figura 35. Pantalla de curvas de fragilidad. Fuente: Elaboración propia. 67

Figura 36. Pantalla evaluar. Fuente: Elaboración propia.....67

Figura 37. Pantalla guardar evaluación. Fuente: Elaboración propia 68

Figura 38. Pantalla minimizar información. Fuente: Elaboración propia.....68

Figura 39. Pantalla exportar resultados. Fuente: Elaboración propia. 69

Figura 40. Mensaje en pantalla. Fuente: Elaboración propia. 69

Figura 41. Hoja "Evaluación". Fuente: Elaboración propia.....70

Figura 42. Puntajes. Fuente: Elaboración propia. 70

Figura 43. Selección final. Fuente: Elaboración propia. 71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Peso de las variables. Fuente: Elaboración propia.....25

Tabla 2. Requisitos funcionales. Fuente: Elaboración propia.....31

Tabla 3. Requisitos no funcionales. Fuente: Elaboración propia.....33

Tabla 4. Cronograma de actividades. Elaboración propia.....33

Tabla 5. Diagrama de Gantt. Fuente: Elaboración propia 34

Tabla 6. Presupuesto del proyecto. Fuente: Elaboración propia. 35

Tabla 7. Presupuesto estimado de honorarios para el desarrollo de una aplicación web. Fuente: Elaboración propia 35

Tabla 8. Diferencia entre frontend y backend. Fuente: Elaboración propia. 42

Tabla 9. Cláusulas SQL más comunes. Fuente: Microsoft. (2016).....47

Tabla 10. Cálculo de los puntajes. Fuente: Elaboración propia.....56

Tabla 11. Cumplimiento de los requisitos funcionales. Fuente: Elaboración propia.....72

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto y justificación del proyecto

Un terremoto de magnitud 6.8 sacudió Marrakech a las 23:11 horas del 8 de septiembre de 2023, hora local. El epicentro se localizó en la cordillera del Alto Atlas, aproximadamente a 72 kilómetros al suroeste de Marrakech *(González-Rodrigo et al., 2024)*. Este evento ha sido catalogado como el segundo terremoto más mortífero en el norte de África desde al menos 1900, según datos de Emergency Disasters Database (EM-DAT), dejando ciudades y pueblos rurales devastados, y ocasionando la trágica muerte de casi 3,000 personas, así como unas 2,500 heridas *(Orie & Picheta, 2023).*

La magnitud de este terremoto sin duda influyó significativamente en las pérdidas humanas y la destrucción de las comunidades. Sin embargo, la devastación fue resultado de una combinación de factores, entre los cuales destaca que muchos edificios de la región no estaban diseñados para soportar un sismo de tal magnitud *(Andrews, 2023)*. Wendy Bohon, geóloga especializada en terremotos y divulgadora científica, señala que "Este es otro devastador recordatorio de que los terremotos en sí no matan a la gente, lo hacen los edificios".

Todo esto, subraya la importancia de realizar estudios precisos de riesgo sísmico para estimar anticipadamente las posibles pérdidas y contribuir a reducirlas. Estas estimaciones son fundamentales para la gestión pública y la administración de infraestructuras en áreas propensas a terremotos. Además, son cruciales para diversos actores, incluyendo planificadores urbanos y regionales, economistas a nivel nacional e internacional, propietarios y gestores de edificios e infraestructuras, aseguradoras y reaseguradoras, así como autoridades de protección civil y servicios de emergencia, y aquellos responsables de la redacción de normativas y códigos de construcción *(Coburn y Spence, 2002)*. Su relevancia radica en su capacidad para influir en decisiones que pueden reducir las pérdidas futuras, ya sean humanas, materiales o ambientales, y para asegurar que los códigos de construcción proporcionen una protección adecuada a un coste razonable.

En esta misma línea, *Cardona et al. (2008)* enfatiza que una evaluación apropiada de las pérdidas probables y de los costes de reconstrucción puede servir como un incentivo poderoso para que los países exploren opciones e instrumentos de planificación que les permitan gestionar eficazmente el riesgo. En última instancia, las estimaciones de riesgo sísmico permiten adoptar medidas de mitigación, es decir, medidas preventivas que se anticipen a la ocurrencia del evento y lleven a la reducción del daño cuando éste ocurra.

En este sentido, conocer la vulnerabilidad de los elementos expuestos constituye un elemento fundamental para poder estimar las pérdidas ante un determinado evento sísmico. Actualmente, una de las metodologías más utilizadas por la comunidad científica para evaluar la vulnerabilidad es el uso de curvas de fragilidad. Las curvas de fragilidad son funciones que relacionan la intensidad del terremoto con el daño esperado en función de la vulnerabilidad de los elementos expuestos. Estas curvas constituyen una poderosa herramienta estadística que proporciona una representación cuantitativa de la respuesta de una estructura o tipología estructural a una determinada intensidad sísmica. Herramienta que, adaptada a las

características constructivas locales, permiten a expertos y planificadores evaluar la vulnerabilidad estructural y priorizar acciones de mitigación.

Además, de acuerdo con *SYNER-G (2013)*, la selección adecuada de las curvas de fragilidad para los tipos de edificios comunes es un componente esencial de los modelos de evaluación de pérdidas por riesgo sísmico. Por esta razón, en el pasado reciente, algunos estudios de investigación han abordado este tema. Hasta la elaboración de Select.FC, las contribuciones anteriores proponían una serie de variables que influían en la adecuación de las curvas de fragilidad a los diferentes estudios de caso, pero presentaban sistemas de clasificación o valoración más cualitativos que cuantitativos.

La metodología Select.FC, creada por el GIIS y publicada en la prestigiosa revista internacional Earthquake Spectra en 2023 *(Navas-Sánchez et al., 2023)*, organiza de una forma práctica todas las variables involucradas según la literatura y les asigna puntuaciones. Esto permite que la aplicación de la metodología proporcione al investigador un índice cuantitativo y multidimensional para clasificar las curvas de fragilidad según su adecuación al estudio de caso, un resultado para el cual no existía una metodología disponible hasta ahora.

Por todo ello, el desarrollo de una herramienta automatizada que implemente esta metodología, facilitando su aplicación y haciéndola accesible a nivel global, representa un avance significativo en el campo de la ingeniería sísmica. Esta necesidad es lo que motiva la realización de este proyecto. En el marco teórico de este trabajo, se profundizará en la metodología Select.FC, la cual sirve como base teórica para su desarrollo.

1.2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar una aplicación web que implemente la metodología Select.FC para evaluar y clasificar curvas de fragilidad, con el propósito de proporcionar a investigadores y profesionales interesados en el estudio o gestión del riesgo sísmico, una herramienta que permita determinar la idoneidad de estas curvas en una región o localidad específica. Para lograr esto, es necesario:

- Diseñar y crear una base de datos SQL que almacene las curvas de fragilidad previamente evaluadas por el Grupo de Investigación en Ingeniería Sísmica (GIIS), así como los datos relacionados necesarios para su evaluación.
- Desarrollar una aplicación web intuitiva y de fácil acceso que integre la base de datos creada y permita a los usuarios filtrar la información de acuerdo con sus preferencias.
- Automatizar el cálculo de los puntajes finales de las dimensiones y subdimensiones del índice de las curvas de fragilidad, facilitando así la valoración de la idoneidad de dichas curvas para las aplicaciones a las que van dirigidas.
- Proporcionar la clasificación de las curvas de fragilidad basada en los puntajes calculados.
- Integrar una función en la aplicación que genere informes en formato Excel con los resultados de las evaluaciones.

- Elaborar un manual de usuario detallado que ayude a los usuarios a usar la aplicación correctamente, con instrucciones paso a paso.

1.3. Metodología

Para este trabajo, se implementó la metodología Scrumban, un marco de trabajo híbrido que combina las mejores prácticas de Scrum y Kanban en la gestión de proyectos. Scrum facilita la colaboración en equipos interdisciplinarios para alcanzar metas de manera iterativa e incremental *(Schwaber & Sutherland, 2020)*, mientras que Kanban ayuda a visualizar los flujos de trabajo y gestionar la carga laboral eficientemente. En consecuencia, Scrumban destaca como una tendencia en la gestión moderna de proyectos, ofreciendo flexibilidad y adaptabilidad a diversos contextos y requisitos laborales *(Leffingwell, 2011)*.

En el contexto de este proyecto, se realizaron adaptaciones a la metodología para adecuarla a las necesidades particulares del mismo. Por ejemplo, dado que el proyecto fue realizado por una sola persona, algunas prácticas de la metodología, como las reuniones diarias de Scrum, no se llevaron a cabo.

El marco de trabajo principal fue Scrum, que proporcionó una estructura para la planificación y ejecución del trabajo. Esta metodología se eligió porque permite entregas parciales y regulares del producto final, desarrolladas en *sprints*. Los *sprints* son períodos de tiempo específicos, generalmente de 1 a 4 semanas, durante los cuales el equipo se enfoca en completar un conjunto de tareas *(Schwaber & Sutherland, 2020)*. Las prácticas de la metodología empleadas en el proyecto, ilustradas en la *Figura 1*, se describen a continuación.

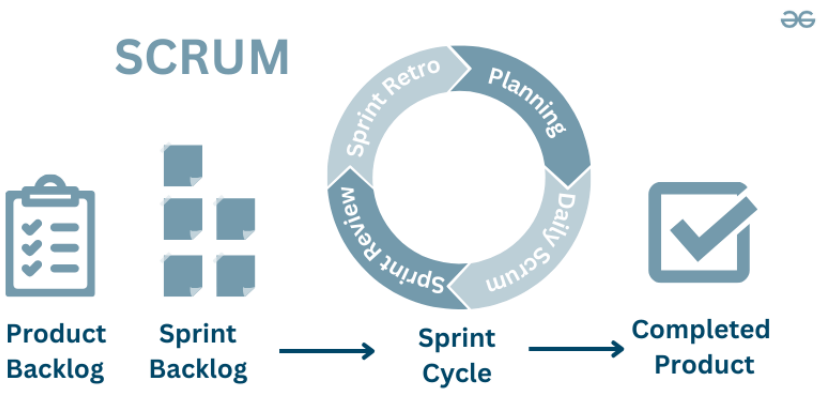


Figura 1. Proceso de la metodología Scrum. Fuente: Geeksforgeeks. (2024)

1. **Creación del *product backlog*:** Se comenzó identificando y priorizando todas las funcionalidades esperadas para el producto final.

2. **Reunión de planificación del *sprint*:** Antes de cada sprint, se seleccionaron las tareas a abordar del *product backlog* y se comprometieron a completar durante ese sprint, formando así el *sprint backlog*.

3. **Ejecución del *sprint*:** Durante cada sprint de 3 semanas, se trabajó en las tareas definidas en el *sprint backlog*, desarrollando y entregando incrementos del producto.

4. **Reunión de revisión del *sprint*:** Al final de cada *sprint*, se presentó el trabajo completado a las partes interesadas, se recopilaron comentarios y se realizaron ajustes según fuera necesario.

5. **Retrospectiva del *sprint*:** Se llevó a cabo una retrospectiva para analizar el proceso, identificar áreas de mejora y definir acciones concretas para implementar esas mejoras en el próximo *sprint*.

Además, se optó por Kanban debido a su capacidad para proporcionar una visualización clara del estado del proyecto, las prioridades y los posibles cuellos de botella. Con Kanban, se logró una representación visual precisa en un tablero de las tareas pendientes, el trabajo en curso y lo que ya se había completado. La *Figura 2* ilustra un ejemplo de un tablero Kanban:

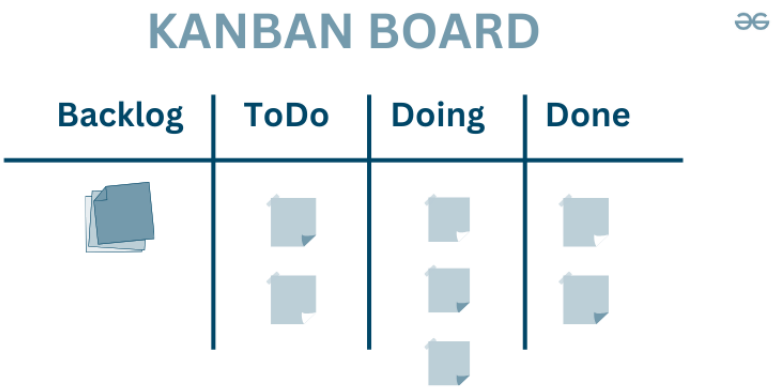


Figura 2. Ejemplo de un tablero Kanban. Fuente: Geeksforgeeks. (2024)

1.4. Fases del proyecto

El proyecto abarcó cinco fases, que se muestran en la *Figura 3*.

Figura 3. Fases del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

En la fase de conceptualización, se definió el propósito y la visión del desarrollo de la aplicación. El objetivo principal fue determinar el valor añadido que la aplicación proporcionaría a la comunidad científica y a los profesionales del campo de riesgo sísmico, desarrollando una solución tecnológica que facilitara el uso de la metodología Select.FC. En esta fase, también se estableció el alcance del proyecto.

Posteriormente, en la fase de definición, se detallaron las funcionalidades de la aplicación, abarcando tanto los requisitos funcionales como los no funcionales. Se definió el proceso que el usuario debía seguir para navegar dentro de la aplicación, buscando que fuera lo más

intuitivo y ágil posible. También se especificó el tiempo estimado de desarrollo, la complejidad de la programación y las tecnologías a emplear. Además, se incluyeron consideraciones sobre la seguridad, la escalabilidad y la compatibilidad con diferentes dispositivos y sistemas operativos.

Tras haber establecido las características y objetivos del proyecto, se procedió a la fase de diseño. En este punto, se diseñó la estructura de la base de datos que sería el motor principal de la aplicación. Esto incluyó la definición de las entidades, relaciones y características necesarias para almacenar y administrar los datos que la aplicación necesita. Además, se elaboraron los diagramas de arquitectura del sistema y de flujo de datos, y se diseñaron las interfaces de usuario para garantizar una experiencia de usuario intuitiva. También se diseñó el formato del archivo de Excel que el usuario podría descargar al finalizar su evaluación.

Continuando con el proceso, en la fase de desarrollo de la aplicación, se procedió a la creación de la base de datos y a la implementación de la aplicación en sí misma. Esto implicó la codificación de la lógica de negocio, el diseño y desarrollo de la interfaz de usuario, así como la integración con la base de datos previamente diseñada. Para asegurar la escalabilidad, seguridad y rendimiento de la aplicación, se siguieron meticulosamente las mejores prácticas de desarrollo de software, abarcando desde la elección de arquitecturas adecuadas hasta la implementación de estándares de codificación robustos.

Finalmente, en la fase de validación, se llevaron a cabo pruebas con el cliente para asegurar que la aplicación cumpliera con los requisitos y expectativas establecidos. Estas pruebas incluyeron tanto pruebas funcionales como pruebas de rendimiento para garantizar que la aplicación funcionara correctamente en diferentes escenarios y condiciones. Además, se recopiló la retroalimentación del cliente para identificar posibles mejoras y ajustes finales antes de la entrega oficial.

1.5. Contenido de la memoria

El contenido de este trabajo está estructurado en diez capítulos. Tras este primer capítulo de introducción, en el capítulo 2 se establece la base conceptual necesaria para entender la importancia del proyecto. Se introducen y definen conceptos clave como el riesgo, la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad sísmica. Además, se exploran las diferentes metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica y se presentan las curvas de fragilidad. Asimismo, se detalla la metodología implementada por la aplicación desarrollada, Select.FC.

A continuación, en el capítulo 3, se lleva a cabo un análisis detallado de las necesidades y requisitos del cliente. Se describe al cliente y se analiza el problema que se pretende resolver con el proyecto. Además, se define el alcance del proyecto, incluyendo los requerimientos funcionales y no funcionales, así como el cronograma y el presupuesto asignado. Este análisis asegura que el proyecto esté alineado con las expectativas y necesidades del cliente.

Seguidamente, en el capítulo 4, se examina el impacto del proyecto y su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En este apartado se analizan los beneficios del proyecto en términos sociales, ambientales, legales y éticos, resaltando su relevancia y el potencial impacto positivo en las comunidades.

Posteriormente, en el capítulo 5, se detallan las tecnologías seleccionadas para el desarrollo del proyecto. Aquí se describen las tecnologías utilizadas tanto en el frontend como en el backend, la gestión de la base de datos y el entorno de desarrollo. Esta sección proporciona una visión técnica clara y justificada de las herramientas y plataformas elegidas, explicando su adecuación y ventajas para el proyecto.

En el capítulo 6 se describe el proceso de desarrollo de la aplicación. Se abordan aspectos como la preparación de los datos, la creación de la base de datos en SQL Server, la arquitectura de la aplicación y el diseño de la interfaz de usuario.

A continuación, en el capítulo 7, se presenta el manual de usuario de la aplicación desarrollada. En este capítulo se estructura y se describe el contenido del manual, ofreciendo instrucciones detalladas para la utilización de la aplicación. Este manual tiene como objetivo facilitar la comprensión y uso de la aplicación por parte de los usuarios finales.

En el capítulo 8 se resumen los principales hallazgos y logros del proyecto. En este apartado se reflexiona sobre los resultados obtenidos y se proponen futuras líneas de trabajo que podrían ampliar y mejorar el proyecto actual. Las conclusiones proporcionan una evaluación crítica del trabajo realizado y sugieren direcciones para investigaciones y desarrollos futuros.

Finalmente, en el capítulo 9 se presenta la bibliografía y en el capítulo 10 se incluye el glosario de las dimensiones, subdimensiones y variables que componen la metodología Select.FC.

CAPÍTULO 2. MARCO TEORÍCO

2.1. Conceptos clave

Este trabajo se enmarca en el campo del riesgo sísmico. Por lo tanto, a continuación, se presentan algunos conceptos clave para comprender la utilidad y finalidad de la aplicación desarrollada.

2.1.1. Riesgo

El riesgo ante cualquier fenómeno natural puede definirse como la expectativa de pérdidas futuras asociadas a elementos en riesgo durante un período específico. Cuando el fenómeno es la posible ocurrencia de un terremoto, se habla de riesgo sísmico. Este concepto puede aplicarse a diversos contextos, como edificios, asentamientos, poblaciones humanas o actividades económicas, y medirse en términos de pérdidas económicas esperadas, número de vidas perdidas o grado de daño físico a la propiedad *(Coburn & Spence, 2002; UNDRO, 1979)*.

Según esta perspectiva, el riesgo sísmico puede calcularse de forma determinista, asociado a un escenario sísmico concreto (un terremoto de una determinada magnitud en una zona específica) o de forma probabilista, considerando factores como la severidad y la frecuencia de los eventos sísmicos. Al mismo tiempo puede expresarse en términos absolutos, dando el número de edificaciones que previsiblemente experimentarán cada grado de daño, personas heridas o muertas, pérdidas materiales, etc.; o bien en términos relativos expresando las perdidas porcentualmente.

Quirós (2017) amplía esta visión al definir el riesgo sísmico como la función de probabilidad de pérdidas derivadas de los daños a un elemento o conjunto de elementos (por ejemplo, una ciudad) como consecuencia de la acción de terremotos. En otras palabras, se enmarcan en el riesgo sísmico las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como resultado del fallo de estructuras cuya capacidad resistente fue o será excedida por los esfuerzos estructurales derivados de la acción de un terremoto. El riesgo se estima mediante la convolución entre la peligrosidad, asociada a las características geológicas y sísmicas; la vulnerabilidad, asociada a las tipologías constructivas y sus capacidades resistentes, y la exposición, que corresponde al número de elementos en riesgo. Las consecuencias pueden ser de tipo físico, económico, financiero, social, humano, etc.

La evaluación del riesgo (R) puede llevarse a cabo mediante la siguiente fórmula general:

$$R = H \otimes E \otimes V$$

Donde:

- H, se refiere a peligrosidad, peligro o amenaza (*hazard,* en inglés)
- E, es la exposición o elementos en riesgo
- V, es la vulnerabilidad

Para ilustrar esta fórmula, se presenta la *Figura 4*:

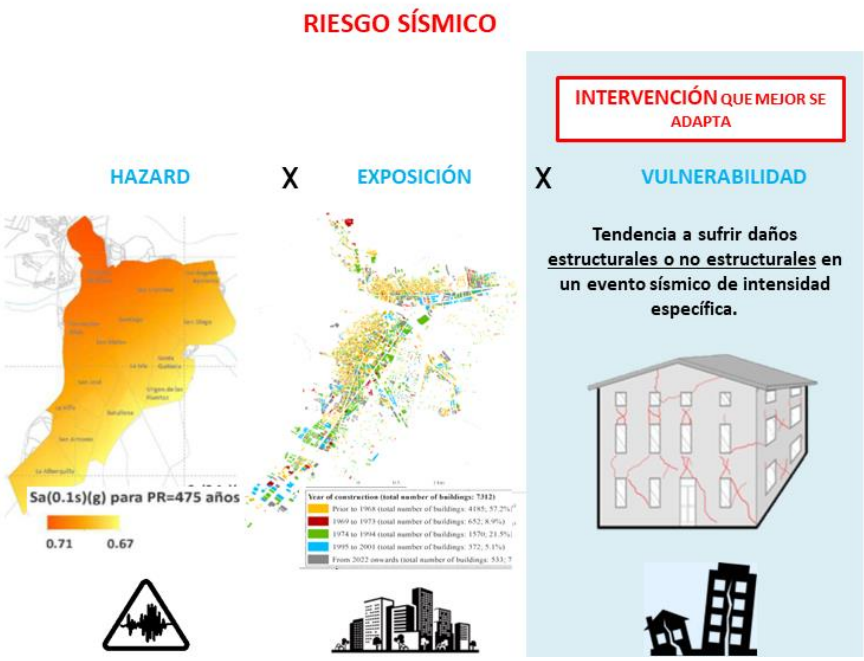


Figura 4. Componentes del riesgo sísmico. Fuente: Defensa de tesis doctoral Navas-Sánchez. (2023)

2.1.2. Peligrosidad (H)

La peligrosidad (en inglés Hazard), conocida también como peligro o amenaza, se describe como la probabilidad de que ocurra un evento potencialmente catastrófico dentro de un cierto lapso en una ubicación específica *(UNDRO, 1979)*. En el contexto de este estudio, la peligrosidad sísmica se define como la probabilidad de que se sobrepase un umbral particular de intensidad del movimiento del suelo generado por terremotos, en un lugar específico y durante un período de tiempo determinado *(Quiróz, 2017)*.

Según el tipo de análisis que se esté realizando, el terremoto puede especificarse en términos de tamaño en el foco o de su efecto en un sitio particular. El tamaño de los terremotos se especifica más comúnmente en términos de magnitud. Cuando se considera la peligrosidad de la sacudida en el sitio de interés, las características del terremoto se expresan en términos de un parámetro de intensidad del movimiento del suelo, como la intensidad EMS o Mercalli Modificada, la aceleración máxima del suelo (PGA), o algún otro parámetro característico del movimiento *(Coburn & Spence, 2002)* como por ejemplo: velocidad máxima del suelo (PGV), desplazamiento máximo del terreno (PGD), aceleración espectral, Sa(T), desplazamiento espectral Sd(T), etc. *(Navas-Sánchez et al., 2023).*

El presente trabajo se centrará en la peligrosidad de la sacudida en el sitio de interés, ya que el parámetro representativo de dicho movimiento es el utilizado como la variable independiente de las curvas de fragilidad para evaluar la vulnerabilidad estructural de los elementos expuestos.

2.1.3. Exposición (E)

Se conoce como exposición el número de elementos en riesgo en el conjunto de la población, que pueden ser los edificios y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta a una amenaza (peligrosidad o peligro) en un área determinada *(Barbat et al., 2005, UNDRO, 1979)*. En nuestro caso nos referimos a elementos expuestos a la amenaza sísmica.

Los valores de exposición de los "activos en riesgo", y el número de habitantes en riesgo, se obtienen de fuentes secundarias de datos disponibles, como bases de datos existentes o mediante la aplicación de procedimientos simplificados basados en información macroeconómica y social general. Esto incluye datos como la densidad de población, estadísticas de construcción, catastro u otra información más específica *(Cardona et al., 2008)*.

2.1.4. Vulnerabilidad (V)

La vulnerabilidad sísmica se refiere a la tendencia a sufrir daño de un elemento o conjunto de elementos ante un terremoto de una determinada intensidad. Es decir, la vulnerabilidad determina el grado de pérdidas esperadas para un elemento o conjunto de elementos en riesgo debido a un nivel específico de peligrosidad. Se expresa en una cierta escala que suele definir clases de vulnerabilidad, en función de las características constructivas y de su capacidad de resistencia ante el sismo. En España y en casi toda Europa se utiliza la Escala Macrosísmica Europea, EMS-98, que define 6 clases de vulnerabilidad, desde la A (más vulnerable) hasta la F (menos vulnerable).

Estrictamente centrándonos en edificios e infraestructura, en la vulnerabilidad se cuantifica el daño causado en cada tipo de activo por la ocurrencia de un evento de cierta intensidad *(Miranda, 1999)*. En este sentido, la clasificación de los activos se basa en la combinación de los materiales de construcción, el tipo de edificio (por ejemplo, la combinación de muros y cubierta), el uso del edificio, el número de pisos y la edad *(Cardona et al., 2008)*. La herramienta estadística más empleada actualmente para caracterizar la vulnerabilidad sísmica de las tipologías constructivas de las distintas zonas son las curvas de fragilidad.

Por último, cabe mencionar que la vulnerabilidad de los elementos expuestos es el parámetro en el que la intervención humana es más eficaz, ya que la peligrosidad está determinada por las condiciones sismotectónicas y condiciones locales de la zona de estudio.

2.2. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica

Para obtener estimaciones precisas del riesgo sísmico, es esencial evaluar primero la vulnerabilidad sísmica de los elementos expuestos. Esta evaluación, específica para cada edificación, es un proceso complejo y laborioso *(Safina, 2002)*. La definición de vulnerabilidad sísmica incluye términos como afectación y daño, que deben ser claramente definidos. La afectación se refiere a la perturbación funcional de una instalación y está relacionada con la vulnerabilidad funcional. El daño, por otro lado, se refiere al deterioro físico de los elementos de una edificación, conocido como grado de daño, que varía de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total)

(Yépez, 1996; Safina, 2002). Dicho daño sísmico puede ser estructural o no estructural, dependiendo si el elemento forma parte del sistema resistente de la edificación.

2.2.1. Vulnerabilidad de elementos estructurales

La vulnerabilidad estructural está asociada a los componentes estructurales que forman parte del sistema resistente de la edificación y abarca el deterioro físico de estos elementos debido a un sismo. Este tipo de vulnerabilidad ha sido tradicionalmente el foco principal de los investigadores *(Safina, 2002)*. El nivel de daño estructural depende tanto del comportamiento global como local de la estructura, incluyendo la calidad de los materiales, las características de los elementos estructurales, su configuración y las cargas actuantes. La naturaleza y grado de daño estructural pueden describirse en términos cualitativos o cuantitativos, siendo crucial para determinar el nivel de deterioro y la proximidad al colapso estructural, una situación límite que compromete la estabilidad del sistema *(Safina, 2002)*.

Hoy en día, tanto la metodología Select. FC como la aplicación desarrollada en este trabajo se enfocan únicamente en aspectos relacionados a la vulnerabilidad estructural, aunque ambas son lo suficientemente flexibles como para incluir la evaluación de elementos no estructurales en futuras líneas de investigación.

2.2.2. Metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica

El inicio de un estudio sobre vulnerabilidad sísmica implica determinar su naturaleza y el alcance que tendrá, lo cual está condicionado por diversos factores. Estos incluyen el tipo de daño que se desea evaluar, el nivel de peligro sísmico presente en la zona, así como la disponibilidad de información sobre las estructuras y los datos relacionados con los daños observados durante eventos sísmicos anteriores en el área de interés. Una vez que estos elementos han sido establecidos, se puede proceder con la evaluación de la vulnerabilidad, lo cual implica definir de manera precisa la acción sísmica y la capacidad estructural de las edificaciones involucradas *(Bonett, 2003)*.

Diversos autores proponen una variedad de metodologías y técnicas para evaluar la vulnerabilidad sísmica de diferentes tipos de instalaciones *(Caicedo et al., 1994)*. Estas técnicas dependen de varios factores clave, como la naturaleza y el propósito del estudio, la disponibilidad de información, las características del elemento en estudio, la metodología de evaluación empleada, el resultado esperado y el destinatario de la información.

La elección de una metodología específica está estrechamente relacionada con la escala del análisis y las características de los elementos bajo estudio. Por ejemplo, el análisis del riesgo sísmico de elementos individuales como edificios, puentes o presas suele basarse en evaluaciones deterministas de la vulnerabilidad. En contraste, el análisis del riesgo sísmico de sistemas territoriales o categorías de elementos como tipos de edificios o infraestructuras críticas se basa generalmente en enfoques probabilistas. Estos enfoques permiten aplicaciones regionales del modelo a diferentes escalas y pueden integrarse y analizarse mediante sistemas de información geográfica *(EC-SERGISAI, 1998)*.

Los investigadores en Ingeniería Sísmica han propuesto varios esquemas de clasificación para organizar los métodos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, con el fin de anticipar el daño por un terremoto con menos incertidumbre. Estas propuestas difieren debido a la

variada dependencia de factores como el propósito de la evaluación, la calidad de los datos disponibles, las características de los edificios evaluados, la escala de análisis, los criterios metodológicos, la fiabilidad de los resultados y la utilidad para los usuarios finales. Estudios, como los de *Bonett (2003), Safina (2002) y Vicente et al. (2011)*, detallan clasificaciones importantes desarrolladas por *Corsanego y Petrini (1990) y Dolce et al. (1994)*. Con posterioridad, *Calvi et al. (2006)* introdujeron un enfoque innovador para caracterizar las metodologías de análisis de vulnerabilidad sísmica. (*Herrera et al., 2013*).

Según *Calvi et al. (2006)*, los métodos de evaluación de la vulnerabilidad propuestos en el pasado para su aplicación en la estimación de pérdidas pueden clasificarse en dos categorías principales: empíricos y analíticos. Ambas categorías tienen la posibilidad de ser empleadas en enfoques híbridos, como se ilustra en la *Figura 5*.

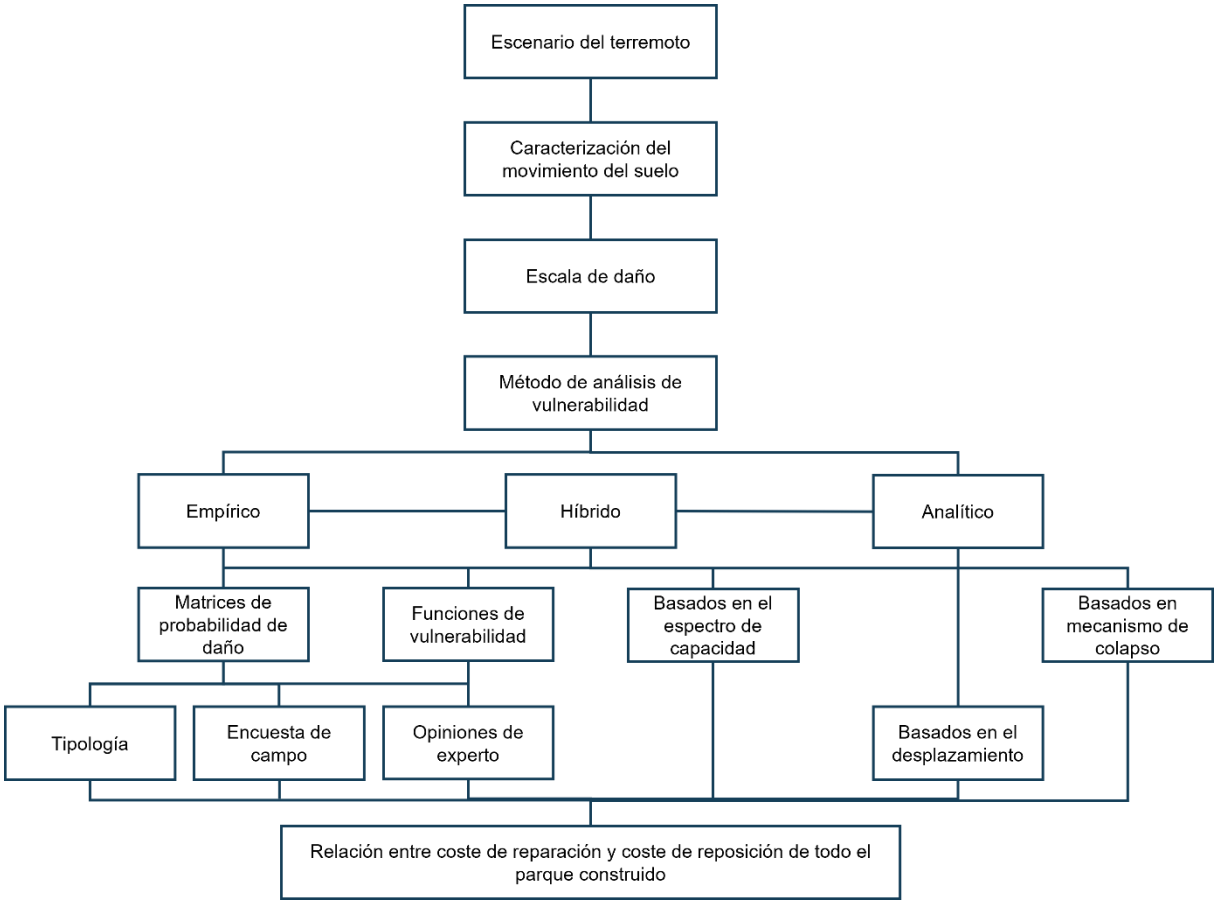


Figura 5. Componentes de la evaluación del riesgo sísmico y las opciones para el procedimiento de evaluación de la vulnerabilidad. Modificado de: Calvi et al. (2006)

Los procedimientos empíricos se basan en estadísticas de daño observados con posterioridad a los terremotos, mientras que los analíticos se relacionan con las propiedades mecánicas y los estados límite de los edificios, como la capacidad de desplazamiento entre pisos (*Calvi et al., 2006)*. Tanto a través de métodos empíricos como analíticos, es necesario introducir curvas de fragilidad, que relacionan la intensidad del movimiento que representa la peligrosidad, con la clase de vulnerabilidad expuesta, para finalmente estimar el grado de daño esperado. Las curvas de fragilidad vienen a ser funciones que relacionan las tres variables peligrosidad-vulnerabilidad-daño y son imprescindibles en todo estudio de riesgo sísmico. Estas curvas constituyen el foco principal del presente trabajo.

2.3. Curvas de fragilidad

Las curvas de fragilidad son funciones de daño de los edificios (generalmente, expresadas como funciones de distribución acumuladas log-normales) que relacionan la probabilidad que tiene un edificio o tipología constructiva de presentar, o superar, un estado de daño para un parámetro de movimiento de entrada que representa la peligrosidad del lugar de estudio. Este parámetro de movimiento se conoce también como demanda sísmica *(FEMA, 2001),* y pude ser, por ejemplo, PGA, aceleración espectral, desplazamiento espectral, etc.

Las curvas de fragilidad se proponen generalmente para cada clase de vulnerabilidad, representando en abscisas el parámetro de movimiento o demanda sísmica (peligrosidad) y en ordenadas la probabilidad de alcanzar diferentes grados de daño. La *Figura 6* proporciona dos ejemplos de curvas de fragilidad para cuatro diferentes estados de daño de dos tipologías estructurales.

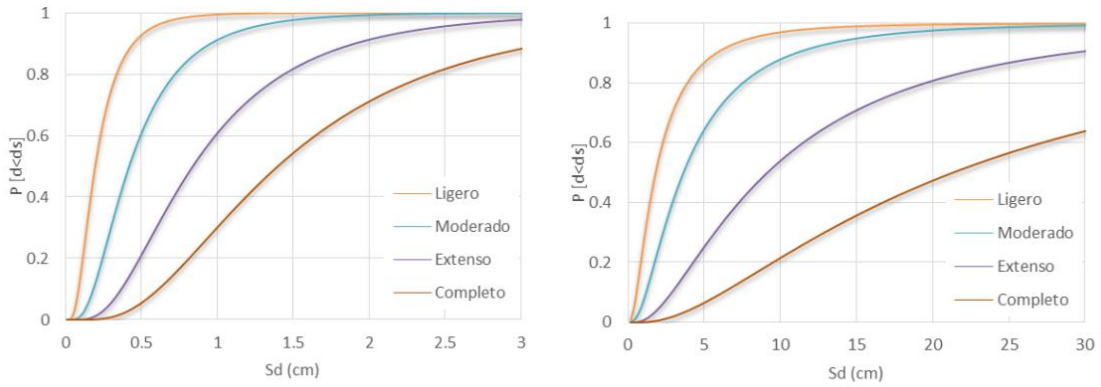


Figura 6. Ejemplo de representación gráfica de curvas de fragilidad para dos diferentes tipologías estructurales, como parámetro de demanda (PESH) se está usando el desplazamiento espectral (Sd). Fuente: Quiroz (2017)

Cada curva de fragilidad está definida por un valor mediano del parámetro de demanda PESH (ya sea desplazamiento espectral, aceleración espectral, PGA o PGD) que corresponde al umbral del estado de daño, y por la variabilidad asociada a ese estado de daño, que se caracteriza mediante el valor de la distribución *(FEMA, 2001)*. De esta manera, cada curva de fragilidad puede caracterizar el nivel de daño alcanzado por una tipología de edificación en particular ante una intensidad sísmica parametrizada.

De tal manera que cada curva de fragilidad caracteriza a un tipo de edificación en particular. Sin embargo, una fuente importante de incertidumbre en los estudios de riesgo sísmico es, por lo general, la selección de las curvas de fragilidad (FC) para cada tipo de edificio, *(Rossetto et al., 2014; Navas-Sánchez et al., 2023)*. Una buena elección de las curvas de fragilidad más adecuadas para una determinada tipología constructiva o clase de vulnerabilidad es esencial para obtener resultados fiables de riesgo. Para abordar esta tarea, *Navas-Sánchez et al. (2023)* proponen la metodología Select.FC, la cual constituye el punto de partida del presente trabajo.

2.4. Metodología Select.FC

Select.FC es una metodología basada en un índice multivariable que permite evaluar y clasificar las curvas según su adecuación. Se compone de los siguientes pasos:

1. **Identificación y caracterización de tipologías de edificios**

   En este primer paso, se identifican y caracterizan las tipologías de edificios que son objeto de estudio. Es crucial comprender las características estructurales y geográficas de estos edificios para realizar una evaluación precisa de las curvas de fragilidad.

2. **Búsqueda exhaustiva de curvas de fragilidad**

   A continuación, se lleva a cabo una búsqueda exhaustiva de curvas de fragilidad en la literatura científica disponible. Esta búsqueda incluye proyectos de investigación, artículos científicos, tesis académicas y ponencias en conferencias. Se da prioridad a aquellas curvas que caracterizan edificios similares a los identificados en el área de estudio. Se consideran solo las que compartan el mismo material estructural y rango de alturas.

3. **Clasificación de curvas según índice de calificación**

   Una vez recopiladas las curvas de fragilidad relevantes, se procede a clasificarlas -clases de A a F, siendo A la más idónea- según un índice multidimensional ponderado que se describe en detalle más adelante y que constituye la base de la metodología. Dicho índice evalúa un conjunto de variables agrupadas en dimensiones clave para determinar la idoneidad de las curvas de fragilidad. En base a los resultados del índice, se procede a la clasificación, la cual proporciona una lista ordenada de acuerdo con la clase de cada una de las curvas, que facilita la selección final de las curvas más adecuadas para la zona de estudio.

Con estos pasos claros y estructurados, los profesionales del riesgo sísmico pueden llevar a cabo una evaluación rigurosa de las curvas de fragilidad existentes y seleccionar aquellas que mejor se adapten a sus necesidades específicas. Además, permite estimar el grado de incertidumbre introducido en estudio riesgo durante el paso de selección de curvas a aplicar para caracterizar la vulnerabilidad de las tipologías: de menor a mayor de acuerdo con las clases de la A a la F.

Las variables utilizadas por Select. FC para evaluar las curvas de fragilidad disponibles para un tipo específico de edificio fueron seleccionadas teniendo en cuenta estudios previos como los de *Maio y Tsionis (2016)*, *Rossetto et al. (2014)* y *Stone et al. (2017)*, además de otras consideradas relevantes en su elaboración y adecuación. Estas variables fueron clasificadas en tres dimensiones fundamentales que se describen más adelante: la Idoneidad Técnica, la Idoneidad para el Sistema Local y la Similitud de Clase de Edificio.

La *Figura 7* presenta un resumen visual de las dimensiones, subdimensiones y variables del índice multidimensional propuesto en Select.FC para evaluar el nivel de adecuación de las curvas de fragilidad y clasificarlas según su idoneidad para la zona de estudio:

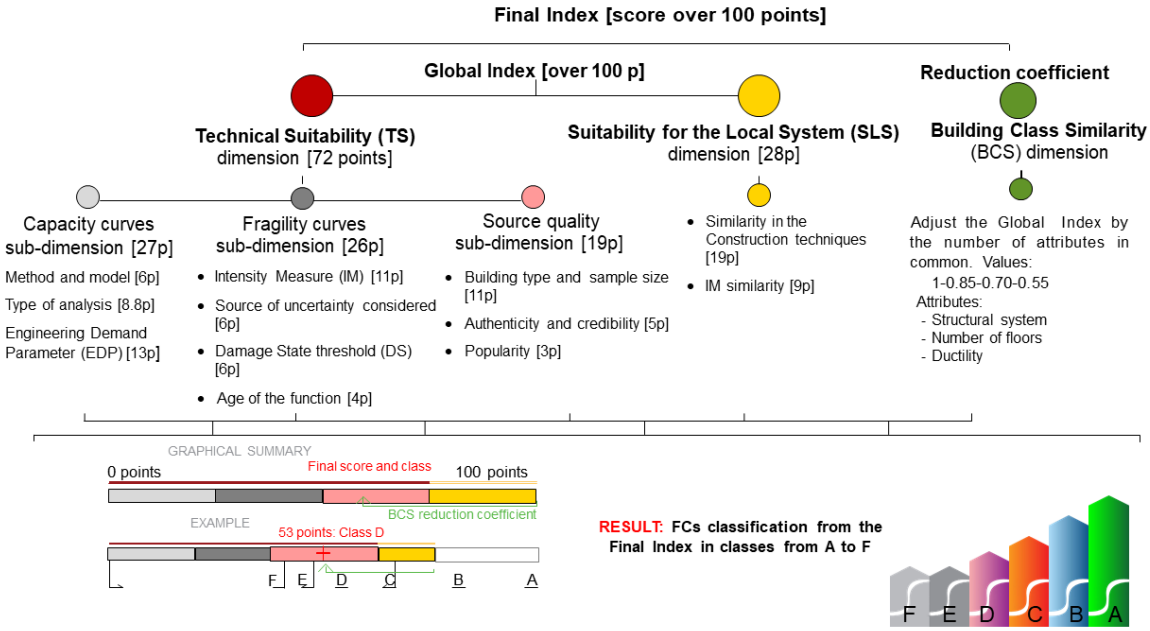


Figura 7. Conceptualización, dimensiones y variables del índice propuesto para evaluar las curvas de fragilidad. Fuente: Navas-Sánchez et al. (2023)

Asimismo, en la *Tabla 1* se detallan los pesos asignados a cada variable en función del criterio seleccionado dentro del marco propuesto en Select.FC. Estos pesos reflejan la relevancia y contribución de cada variable.

Tabla 1. Peso de las variables. Fuente: Elaboración propia.

Dimensión	Subdimensión	Variables	Peso
Índice de adecuación técnica 71.7%	**Curva de Capacidad 26.8%**	**Tipo de análisis**	**8.80%**
		Análisis dinámico no lineal	8.80%
		Análisis estático no lineal	4.40%
		Análisis simple	0.00%
		Parámetro de demanda de ingeniería	**12.50%**
		Relación de desplazamiento entre pisos	12.50%
		Desplazamiento entre pisos global	12.50%
		Desplazamiento máximo	6.20%
		Desplazamiento del techo	0.00%
		Método y modelo	**5.50%**
		Experimental 3D	5.50%
		Experimental 2D	4.40%
		Analítico 3D	3.30%
		Analítico 2D	2.20%
		Grado de libertad único combinado	1.10%
		Grado de libertad único	0.00%
	Curva de fragilidad 25.9%	**Medida de intensidad**	**10.50%**
		Aceleración espectral (Sa)	10.50%

		Desplazamiento espectral (Sd)	8.40%
		Desplazamiento máximo del terreno (PGA)	6.30%
		Medidas de intensidad discreta (MMI, EMS-98)	0.00%
		Umbrales de estado de daño	**5.70%**
		Personalizado	5.70%
		Predefinido	0.00%
		Fuentes de incertidumbre consideradas	**5.70%**
		3 fuentes	5.70%
		1 o 2 fuentes	4.10%
		Ninguna fuente considerada	0.00%
		Antigüedad de la Función	**4.00%**
		<3 años	4.00%
		3-5 años	3.40%
		5-10 años	2.70%
		10-20 años	1.30%
		Mayor	0.00%
	Calidad 19%	**Popularidad (Citaciones)**	**2.70%**
		Alta (50 o más)	2.70%
		Media (10-50)	0.90%
		Baja (<10)	0.00%
		Credibilidad	**5.10%**
		Alta	5.10%
		Media	2.60%
		Baja	0.00%
		Tipo de edificio y tamaño de la muestra	**11.20%**
		EB >10 y PR	11.20%
		PR y Muestra = 1	8.70%
		EB y Muestra = 5-10	6.20%
		EB y Muestra = 1-5	3.70%
		EB y Muestra = 1	0.00%
Adecuación al sistema local 28.3%		**Similitud en técnicas de construcción**	**19.30%**
		Del mismo país	19.30%
		De la misma subregión	14.50%
		De la misma región	9.70%
		Fuera de la región	0.00%
		Alta[a]	19.30%
		Media[a]	9.70%
		Baja[a]	0.00%
		Similitud en la medida de intensidad	**9.00%**
		Alta, misma medida de intensidad	9.00%
		Media, diferente medida de intensidad	5.40%

	Baja	0.00%

Aplicabilidad y eficiencia operativa de la metodología:

Una ventaja muy relevante que ofrece esta metodología para su empleo como base para una aplicación web radica en la practicidad a la hora de evaluar las curvas: la dimensión más costosa en términos de tiempo empleado solo tiene que ser evaluada una única vez y su puntaje ya es válido para todas las zona y sistema estructurales. En otras palabras:

- La dimensión técnica es independiente del área de estudio o del tipo de edificio analizado; es decir, depende únicamente del método utilizado para elaborar las curvas de fragilidad. Por lo tanto, una vez determinado para una curva de fragilidad específica, dicho valor es válido para cualquier estudio de riesgo sísmico. Además, esta dimensión es la que más variables incluye y la que más tiempo consume.

- La dimensión del sistema local depende únicamente de las características de la zona o área bajo estudio. Por lo tanto, el valor determinado para esta dimensión es válido para cualquier tipo de edificio dentro de esa área.

- El coeficiente reductor de similitud de clase de edificio es la única dimensión que debe ajustarse para cada tipo de edificio según sus atributos (material, sistema estructural, número de pisos y ductilidad).

En este sentido, la *Figura 8* muestra la eficiencia operativa y un ejemplo de aplicabilidad de las diferentes dimensiones definidas por la metodología.

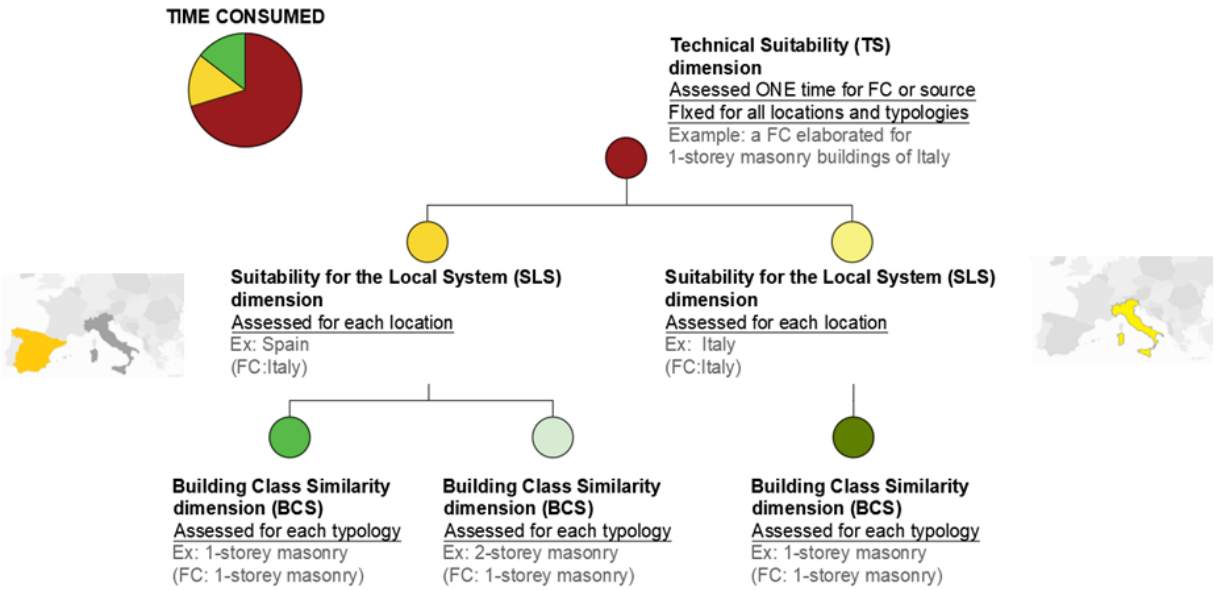


Figura 8. Eficiencia operativa y ejemplo de aplicabilidad de las diferentes dimensiones definidas por la metodología. Fuente: Defensa de tesis doctoral Navas-Sánchez. (2023)

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE NECESIDADES Y REQUISITOS

3.1. Descripción del cliente

El Grupo de Investigación en Ingeniería Sísmica (GIIS), con más de quince años de experiencia y con sede en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía de la UPM, reúne a un equipo multidisciplinario de expertos que aborda de manera integral el análisis del riesgo sísmico. Este grupo desarrolla su trabajo a través de las siguientes líneas de investigación:

- Evaluación de la Peligrosidad Sísmica y Caracterización del Movimiento del Suelo.
- Ordenación del territorio y planeamiento urbanísticos en zonas de riesgo sísmico
- Modelización de la deformación de la corteza
- Análisis de sismicidad inducida
- Evaluación del Riesgo Sísmico
- Evaluación de la exposición y la vulnerabilidad sísmica aplicando técnicas de teledetección.

El GIIS se ha consolidado como un referente en España en lo que respecta a la peligrosidad y riesgos sísmicos, así como en la caracterización sísmica de emplazamientos críticos y de especial importancia.

En cuanto a proyectos de investigación, el GIIS ha participado en:

- **Proyectos del Plan Nacional:** Los investigadores del GIIS han participado en varios Proyectos del Programa Estatal de I+D+i adjudicados en convocatorias públicas competitivas y financiados por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades del Gobierno de España.
- **Proyectos de Cooperación:** En el marco de la Agenda 2030 y con el propósito de colaborar en el ámbito de la investigación para el desarrollo, el GIIS- Grupo Geoalerta ha desarrollo numerosos proyectos de Cooperación principalmente en Centroamérica.
- **Proyectos de consultoría pública:** Los investigadores del GIIS han desarrollado estudios de peligrosidad y riesgo sísmico para la elaboración de planes de emergencia y que resultan un insumo fundamental para la adopción de políticas preventivas y medidas de mitigación.
- **Proyectos de consultoría privada:** Estos proyectos financiados por el sector privado se dirigen, en muchos casos, a suministrar información sobre peligrosidad sísmica a fin de caracterizar el movimiento esperado en determinados emplazamientos para un

diseño sísmico seguro de nuevas infraestructuras o edificaciones de especial importancia.

3.2. Análisis del problema

En el contexto previo a este proyecto, se identificaron como principales problemas:

1. **Proceso manual:** El proceso de evaluación era predominantemente manual, lo que generaba una alta carga de trabajo y aumentaba la posibilidad de errores humanos. Esta falta de automatización dificultaba la estandarización y agilidad del proceso.

2. **Centralización de datos:** Cada vez que se realizaba una evaluación, se generaba una nueva hoja de cálculo de Excel para registrar los resultados. Esta práctica fragmentaba los datos, dispersándolos en múltiples archivos. Como resultado, no existía un repositorio unificado donde almacenar y gestionar todas las evaluaciones.

3. **Complejidad en la extracción y manipulación de datos:** La estructura original del archivo de Excel no estaba diseñada para funcionar como una base de datos relacional, lo que complicaba la extracción y manipulación de la información. Esta complejidad dificultaba el análisis y la generación de informes.

4. **Falta de una herramienta tecnológica:** Antes de este trabajo, no existía una herramienta tecnológica dedicada a implementar específicamente la metodología Select.FC para la evaluación de curvas de fragilidad.

5. **Ausencia de un glosario detallado:** La falta de un glosario detallado que explicara cada una de las variables de la metodología Select.FC dificultaba la comprensión y aplicación consistente de dicha metodología.

Para ofrecer claridad sobre los problemas descritos, se muestra la *Figura 9* y la *Figura 10*.

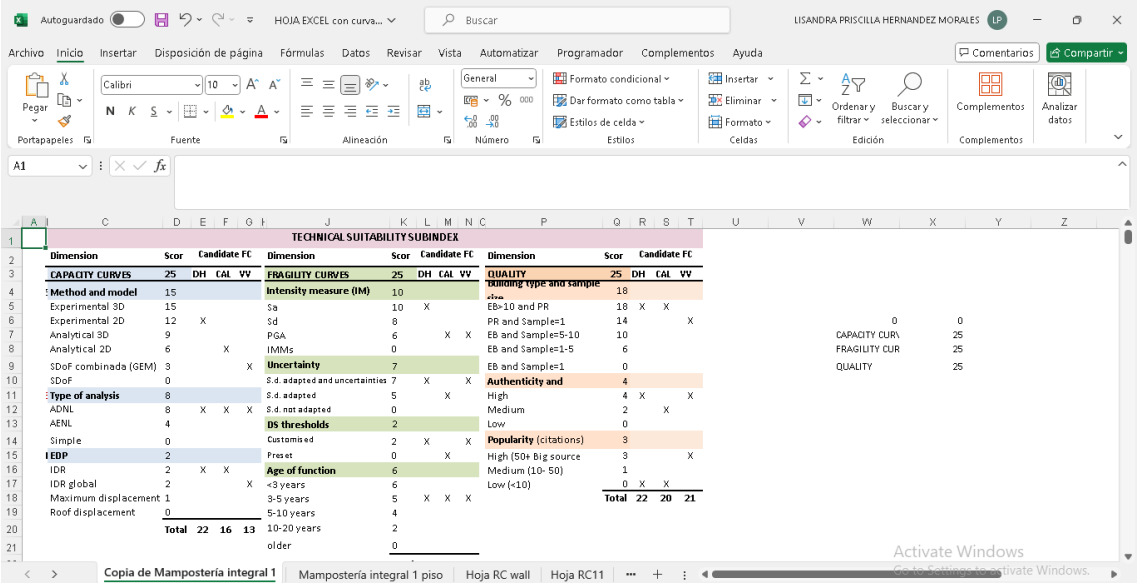


Figura 9. Hoja de cálculo de evaluación previo a la aplicación web. Fuente: Elaboración propia.

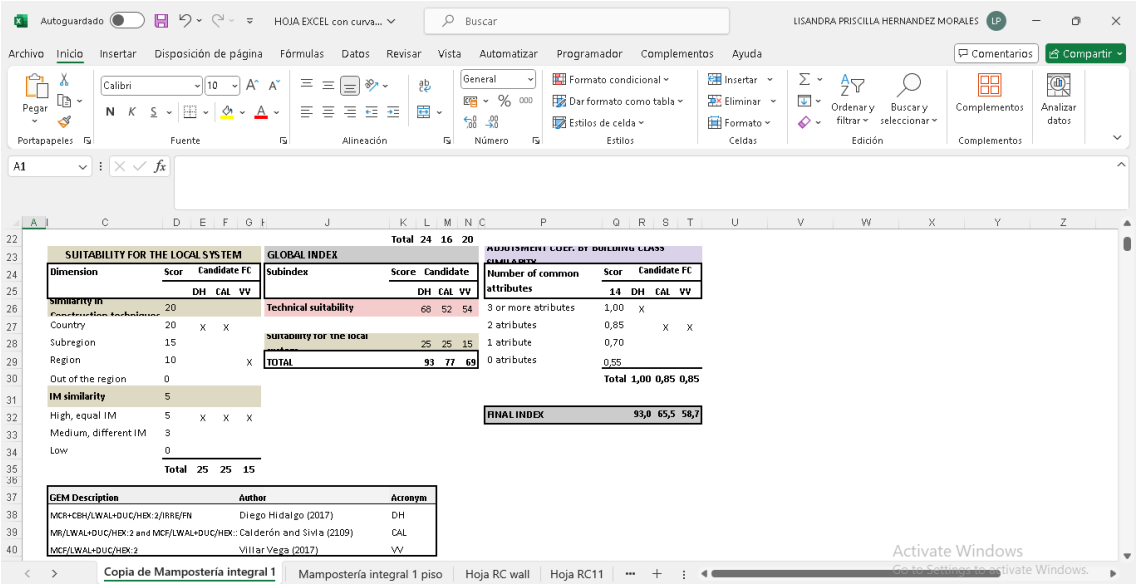


Figura 10. Hoja de cálculo de evaluación previo a la aplicación web. Fuente: Elaboración propia.

A partir de estas limitaciones, surge la necesidad de crear una aplicación que implemente la metodología Select.FC. Esta aplicación abordaría los problemas mencionados al automatizar el proceso de evaluación, centralizar y estructurar los datos, proporcionar una herramienta tecnológica dedicada y ofrecer un glosario detallado para facilitar la comprensión y aplicación de la metodología.

3.3. Alcance del proyecto

Después de identificar las necesidades del cliente, se estableció el alcance del proyecto. El alcance del proyecto incluye:

- Desarrollo de una aplicación web funcional que integre la metodología Select.FC para la evaluación de curvas de fragilidad.
- Implementación de una base de datos en SQL para almacenar y gestionar los datos de las curvas de fragilidad y los resultados de las evaluaciones.
- Desarrollo de algoritmos para el cálculo automático de puntajes finales y la clasificación de las curvas de fragilidad.
- Generación de informes detallados que reflejen los resultados de las evaluaciones, con la capacidad de descargar estos informes en archivos Excel.
- Elaboración de un manual de usuario detallado que incluya instrucciones paso a paso para utilizar la aplicación y proporcionar un video tutorial complementario para una guía visual sobre el uso de la aplicación.
- Realización de pruebas para asegurar la precisión y confiabilidad de los cálculos y la funcionalidad de la aplicación.

Fuera del alcance:

- Integración de funcionalidades para que los usuarios carguen nuevos datos de curvas de fragilidad.
- Mantenimiento y soporte técnico continuo para los usuarios de la aplicación después de la finalización del proyecto.
- Integración de la aplicación con otros sistemas externos o bases de datos no relacionadas directamente con las curvas de fragilidad.
- Distribución y publicación de la aplicación en internet.

3.4. Requerimientos funcionales y no funcionales

El desarrollo de una aplicación implica la definición clara de sus requisitos funcionales, los cuales delimitan las funciones esenciales que debe llevar a cabo para cumplir con los objetivos establecidos. A continuación, en la *Tabla 2* se describen estos requisitos, diseñados para asegurar que la aplicación sea intuitiva, esté conectada a una base de datos para la presentación de datos, y proporcione a los usuarios una variedad de funcionalidades, desde la filtración y evaluación de curvas hasta el acceso a documentación y tutoriales.

Tabla 2. Requisitos funcionales. Fuente: Elaboración propia.

Id requisito	Nombre del requisito	Descripción del requisito
REQ-01	Navegación de usuario	La aplicación debe proporcionar una navegación intuitiva y coherente, permitiendo a los usuarios desplazarse entre las diferentes secciones con facilidad y sin confusión, garantizando así una experiencia de usuario satisfactoria.
REQ-02	Interfaz intuitiva	La aplicación debe presentar una interfaz de usuario que sea fácil de usar.
REQ-03	Conexión a base de datos	La aplicación requiere estar enlazada a una base de datos para posibilitar la visualización de datos por parte del usuario.
REQ-04	Accesibilidad multiplataforma	La aplicación debe ser accesible desde cualquier dispositivo (computadoras de escritorio, laptops, tabletas, teléfonos móviles) y debe ser compatible con una variedad de tamaños de pantalla.
REQ-05	Filtrar curvas	Los usuarios deben tener la capacidad de filtrar las curvas de fragilidad según dos criterios obligatorios: el material y el rango de altura. Además, se les debe permitir aplicar hasta cuatro filtros opcionales, que incluyen el sistema estructural, la ductilidad, el país de origen y la medida de intensidad.

REQ-06	Evaluar curvas	Los usuarios deben poder evaluar las curvas de fragilidad dentro de la aplicación, utilizando la metodología Select.FC.
REQ-07	Buscar curvas	Los usuarios deben poder buscar curvas de fragilidad por palabras clave o términos específicos.
REQ-08	Cálculo automático de puntajes	La aplicación debe calcular automáticamente los puntajes finales de las subdimensiones y dimensiones del índice de fragilidad para cada curva cargada.
REQ-09	Clasificación de curvas de fragilidad	Se debe proporcionar la clasificación de las curvas de fragilidad según los puntajes calculados.
REQ-10	Generación de informes	Los usuarios deben poder descargar informes en formato Excel que contengan los resultados de las evaluaciones realizadas.
REQ-11	Consultar documentación	Los usuarios deben tener acceso al manual de usuario dentro de la aplicación.
REQ-12	Descargar manual de usuario	Los usuarios deben poder descargar el manual de usuario en formato PDF desde la aplicación para consultarlo offline.
REQ-13	Video tutorial	La aplicación debe incluir un video tutorial que proporcione una guía visual sobre el uso de la aplicación y sus principales características.

Asimismo, se definió el flujo de proceso que el usuario debe seguir para realizar las evaluaciones correspondientes. *La Figura 11* ilustra este proceso.

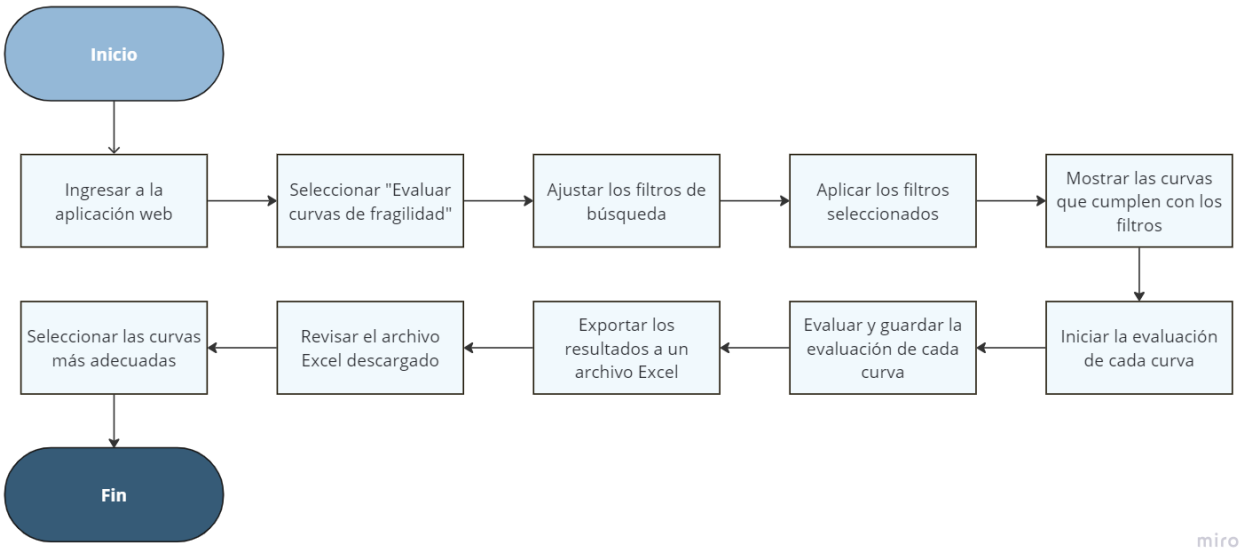


Figura 11. Diagrama de flujo de proceso de navegación. Fuente: Elaboración propia.

Además de los requisitos funcionales, se establecieron requisitos no funcionales que son esenciales para garantizar la calidad y eficiencia de la aplicación. Estos requisitos se enfocan en el rendimiento, la escalabilidad, la disponibilidad, la compatibilidad, la usabilidad y la seguridad para garantizar una experiencia de usuario satisfactoria y confiable en todos los aspectos. A continuación, en la *Tabla 3* se describen estos requisitos.

Tabla 3. Requisitos no funcionales. Fuente: Elaboración propia.

Id requisito	Nombre del requisito	Descripción del requisito
REQ-14	Rendimiento	La aplicación debe ser capaz de manejar grandes volúmenes de datos sin experimentar retrasos significativos.
REQ-15	Escalabilidad	La arquitectura de la aplicación debe ser escalable, permitiendo la incorporación de nuevas funcionalidades y manejo de más usuarios.
REQ-16	Compatibilidad	La aplicación debe ser compatible con diferentes navegadores web.
REQ-17	Seguridad de datos	Se deben implementar medidas de seguridad para proteger la confidencialidad e integridad de los datos.

3.5. Cronograma

El proyecto tuvo una duración total de 27 semanas, distribuidas en 9 sprints de 3 semanas cada uno. En la *Tabla 4* se muestra el cronograma detallado, que incluye todas las actividades planificadas.

Tabla 4. Cronograma de actividades. Elaboración propia.

ID actividad	Descripción	Fecha inicio	Fecha fin
ACT-1	Definir el propósito y la visión del desarrollo de la aplicación.	30/10/2023	19/10/2023
ACT-2	Determinar el valor añadido que la aplicación proporcionará.	30/10/2023	19/10/2023
ACT-3	Establecer alcances del proyecto.	30/10/2023	19/10/2023
ACT-4	Identificar las partes interesadas del proyecto.	30/10/2023	19/10/2023
ACT-5	Establecer los requisitos funcionales y no funcionales.	20/11/2023	10/12/2023
ACT-6	Crear el Product Backlog.	20/11/2023	10/12/2023
ACT-7	Seleccionar las herramientas de desarrollo.	20/11/2023	10/12/2023
ACT-8	Definir el proceso de navegación del usuario.	20/11/2023	10/12/2023
ACT-9	Diseñar la estructura de la base de datos y definir las entidades.	11/12/2023	31/12/2023
ACT-10	Definir la arquitectura de la aplicación web y los componentes del sistema.	11/12/2023	31/12/2023
ACT-11	Diseñar la interfaz de usuario.	11/12/2023	31/12/2023

ACT-12	Diseñar el formato y contenido del informe en Excel.	11/12/2023	31/12/2023
ACT-13	Crear la base de datos y desarrollar el modelo de datos.	01/01/2024	21/01/2024
ACT-14	Desarrollar el código de la aplicación.	22/01/2024	24/03/2024
ACT-15	Realizar pruebas unitarias.	04/03/2024	24/03/2024
ACT-16	Elaborar manual de usuario y video tutorial.	25/03/2024	14/04/2024
ACT-17	Realizar pruebas de aceptación de usuario.	15/04/2024	05/05/2024
ACT-18	Realizar ajustes finales y preparar la aplicación para la entrega oficial.	15/04/2024	05/05/2024

La *Tabla 5* presenta una visualización de los diferentes sprints del proyecto, mostrando las fases que abarcaron, desde la conceptualización hasta la validación. Cada fila representa una fase del proyecto y cada columna corresponde a un sprint específico, proporcionando una visión clara de cómo se distribuyeron las actividades a lo largo del tiempo.

Tabla 5. Diagrama de Gantt. Fuente: Elaboración propia

Fase	Fecha inicio	Fecha fin	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Conceptualización	30/10/2023	19/10/2023									
Definición	20/11/2023	10/12/2023									
Diseño	11/12/2023	31/12/2023									
Desarrollo	01/01/2024	14/04/2024									
Validación	15/04/2024	05/05/2024									

3.6. Presupuesto

Este proyecto se realizó en el marco de una beca de colaboración otorgada entre octubre y diciembre de 2023 por la Plataforma para el Desarrollo Sostenible de Latinoamérica y el Caribe (Plataforma LAC) de la UPM, como parte del compromiso de la UPM con el cumplimiento los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La Fundación Eurocaja Rural financió esta beca a través de la Convocatoria de Ayudas Sociales 2023, dirigida a instituciones dedicadas a la investigación. El monto total asignado a la beca fue de 4,000.00 €, cuyo desglose detallado se encuentra en la *Tabla 6.*

Tabla 6. Presupuesto del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Concepto	Monto
Total de recursos presupuestados (SIN IVA)	**4,000.00 €**
Retribución al becario con cargo al proyecto	**3,464.28 €**
Retribución bruta al becario	2,403.29 €
Cuota patronal ss del contrato	1, 060.99 €
Otros	**535.72 €**
Canon upm	207.86 €
Canon centro	207.86 €

Para entender mejor el alcance económico de este trabajo, es relevante considerar cuánto habría costado el proyecto si hubiera sido desarrollado por un profesional externo, como un desarrollador web junior cuyo salario medio por hora en España es de 13,11 €. En la *Tabla 7*, se presenta el coste estimado para dicho escenario.

Tabla 7. Presupuesto estimado de honorarios para el desarrollo de una aplicación web. Fuente: Elaboración propia

Descripción	Semanas	Horas por semana	Total de horas	Precio por hora (€)	Total
Desarrollador web junior	27	40	1080	13.11 €	**14,180.40 €**

Es importante señalar que este coste es una estimación del presupuesto que habría implicado contratar a un desarrollador web junior cualificado para el desarrollo de la aplicación. Sin embargo, dicho coste podría variar dependiendo del tiempo específico que el desarrollador hubiera requerido, así como de otros factores relevantes.

CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL PROYECTO

Este capítulo ofrece una visión completa de la relevancia del proyecto en múltiples ámbitos y sectores. Se identifican las partes interesadas tanto internas como externas, se abordan los aspectos sociales, ambientales, legales y éticos del proyecto, y se evalúa su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible utilizando *SDG Impact Assessment*.

4.1. Impacto del proyecto

En la *Figura 12* se presentan las partes interesadas de este proyecto, las cuales se describen a continuación:

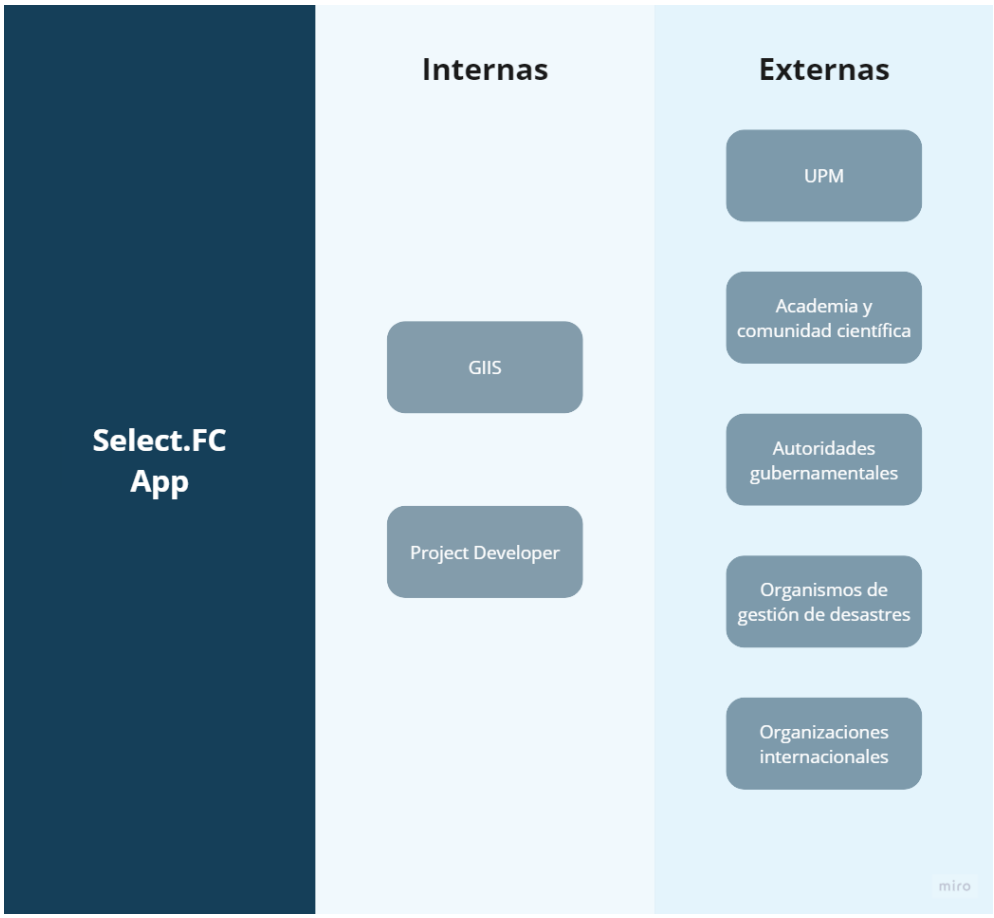


Figura 12. Partes interesadas del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

- **Grupo de Investigación en Ingeniería Sísmica (GIIS):** Son los creadores de la metodología Select.FC, en la cual se basa la aplicación, y quienes proporcionan el conocimiento técnico y científico necesario para su desarrollo y validación. Al solicitar el desarrollo de la aplicación, se benefician directamente al obtener una herramienta que facilita la implementación y difusión de su propia metodología.

- **Project Developer:** La autora del TFM, en su rol de alumna y desarrolladora del proyecto, desempeña un papel clave en el diseño, desarrollo y ejecución de la aplicación. Este proyecto no solo le brinda la oportunidad de aplicar sus conocimientos académicos en un entorno práctico, sino también de potenciar sus habilidades técnicas y de gestión de proyectos.

- **UPM:** La UPM es una institución reconocida internacionalmente por su excelencia en la enseñanza e investigación en ingeniería y ciencias aplicadas. El desarrollo de esta aplicación por una estudiante de esta universidad fortalece su reputación y demuestra su compromiso con la generación de conocimiento. Además, este trabajo contribuye a la transferencia de conocimiento del ámbito académico al empresarial, ya que el objetivo final son profesionales y empresas dedicadas al riesgo sísmico.

- **Academia y comunidad científica:** Estos actores pueden emplear la aplicación como una herramienta de investigación y enseñanza en el ámbito de la ingeniería sísmica y la gestión de desastres.

- **Autoridades gubernamentales y organismos de gestión de desastres:** La aplicación brinda a estas entidades la capacidad de llevar a cabo estudios de riesgos sísmicos más precisos, lo que les permite identificar áreas vulnerables y tomar medidas preventivas y de respuesta adecuadas.

- **Organizaciones internacionales:** Estas organizaciones pueden utilizar la aplicación como recurso para respaldar proyectos y programas relacionados con la reducción del riesgo sísmico y la gestión de desastres. Su participación en un futuro puede incluir el apoyo financiero, la promoción de la aplicación entre otras organizaciones y la colaboración en la recopilación de datos y la validación de resultados.

Además, es fundamental comprender el impacto del proyecto desde diferentes puntos de vista. Esto incluye considerar cómo afecta socialmente a las comunidades, su influencia en el medio ambiente, las repercusiones legales y regulatorias, y las dimensiones éticas relacionadas con el bienestar de las personas. A continuación, se detallan estos aspectos en los que el proyecto impacta:

- **Aspecto social:** Este proyecto tiene un impacto social directo, ya que al permitir que las autoridades y urbanistas realicen estudios de riesgo sísmico más precisos, utilizando los resultados proporcionados por la aplicación, pueden planificar y diseñar infraestructuras más seguras y resilientes ante terremotos. Al reducir el riesgo, tanto las pérdidas humanas como las económicas pueden disminuir, lo que mejora la seguridad y el bienestar de las comunidades.

- **Aspecto ambiental:** Desde una perspectiva ambiental, si las estructuras son menos vulnerables a los terremotos, es menos probable que sufran daños significativos que requieran una reconstrucción total o parcial después de un evento sísmico. La reconstrucción de infraestructuras y edificaciones tras un terremoto suele generar una gran cantidad de residuos, que van desde escombros de demolición hasta materiales de construcción descartados. Al reducir la necesidad de reconstrucción, también se reduce la cantidad de residuos generados como resultado de los daños sísmicos.

- **Aspecto legal:** En el aspecto legal, el proyecto puede tener implicaciones relacionadas con la regulación de la construcción y la seguridad de las infraestructuras. La aplicación puede influir en la formulación o actualización de normativas y leyes relacionadas con la ingeniería sísmica y la gestión de desastres, especialmente si su uso se convierte en una práctica común en el ámbito gubernamental y de planificación urbana.

- **Aspecto ético:** Desde el punto de vista ético, el proyecto se centra en la seguridad y el bienestar de las personas, lo que refleja un compromiso con valores fundamentales como la protección de la vida humana y la reducción del sufrimiento causado por desastres de origen natural.

4.2. Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Para evaluar cómo contribuye el proyecto a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se utilizó la herramienta *SDG Impact Assessment (Figura 13)*. Esta herramienta proporciona un marco detallado para analizar y clasificar los impactos de un proyecto en relación con los ODS. A continuación, se presenta la figura generada por la herramienta, la cual clasifica los impactos en cinco categorías: positivo directo, positivo indirecto, sin impacto, negativo indirecto y negativo directo. Esta clasificación proporciona una visión clara de cómo el proyecto contribuye a la agenda 2030.

Figura 13. Contribución a los ODS. Fuente: SDG Impact Assessment. (2024)

ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura

- **Meta 9.1 Desarrollar infraestructuras sostenibles, resilientes e inclusivas:**

La aplicación facilita la evaluación y selección de curvas de fragilidad, lo cual posibilita la realización de estudios de riesgo sísmico más fiables. Al proporcionar una herramienta accesible para investigadores y planificadores urbanos, se promueve la creación de infraestructuras resilientes capaces de resistir desastres naturales, así como la formulación de planes de prevención de desastres ocasionados por terremotos y la implementación de planes de emergencia más eficaces.

- **Meta 9.5 Mejorar la investigación y mejorar las tecnologías industriales:**

La aplicación contribuye a la investigación científica y mejora las capacidades tecnológicas en el campo de la ingeniería sísmica. Al simplificar la implementación de la metodología Select.FC, la aplicación fomenta la innovación y facilita el acceso a datos que pueden impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías para la evaluación de riesgo sísmico. Esto es especialmente relevante para aumentar la cantidad de trabajadores de investigación y desarrollo, así como el gasto en investigación y desarrollo en el sector sísmico.

- **Meta 9.A Facilitar el desarrollo de infraestructura sostenible para los países en desarrollo:**

Los proyectos de cooperación liderados por el GIIS han tenido un impacto significativo en Centroamérica, donde el riesgo sísmico es una preocupación importante. Al proporcionar apoyo técnico y tecnológico a los países de la región, se fortalece su capacidad para diseñar y construir infraestructuras más seguras y sostenibles. La aplicación desarrollada en este TFM desempeña un papel clave en estos esfuerzos al simplificar y agilizar el proceso de evaluación de riesgos sísmicos, lo que permite una toma de decisiones más informada y eficaz en la planificación y desarrollo de infraestructuras.

ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles

- **Meta 11.5 Reducir los efectos adversos de los desastres naturales:**

La prevención es fundamental para reducir los impactos de los desastres naturales. La aplicación proporciona una plataforma para evaluar y seleccionar curvas de fragilidad, lo que ayuda a los planificadores urbanos y autoridades a identificar y mitigar riesgos sísmicos, incluyendo la identificación de zonas vulnerables y la implementación de medidas de construcción seguras. Además de proteger vidas humanas, la aplicación contribuye a reducir pérdidas económicas al identificar y abordar las vulnerabilidades en la infraestructura existente, minimizando así las pérdidas materiales y financieras asociadas con terremotos y otros eventos sísmicos.

- **Meta 11.C Apoyar a los países menos desarrollados en la construcción sostenible y resiliente:**

La aplicación desempeña un papel importante en el apoyo a los países menos desarrollados en la construcción sostenible y resiliente, particularmente en Centroamérica. En colaboración con el GIIS, la aplicación facilita la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y la selección de medidas de construcción adecuadas en la región. Además, promueve la utilización de materiales locales y tecnologías asequibles, la transferencia de conocimientos y capacitación, y la promoción de la asistencia técnica y financiera para proyectos prioritarios que contribuyan a la construcción sostenible y resiliente en Centroamérica.

ODS 13: Acción por el Clima

- **Meta 13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los desastres relacionados con el clima:**

La aplicación contribuye directamente a la resiliencia frente a desastres naturales mediante una mejor evaluación y selección de curvas de fragilidad, esenciales para la planificación y respuesta a terremotos.

ODS 17: Alianzas para Lograr los Objetivos

- **Meta 17.6 Intercambio de conocimientos y cooperación para el acceso a la ciencia, la tecnología y la innovación:**

La aplicación impulsa la cooperación internacional y el intercambio de conocimientos al proporcionar una plataforma común para evaluar curvas de fragilidad. Facilita la colaboración entre expertos, instituciones y países, promoviendo la creación de alianzas estratégicas para desarrollar infraestructuras resilientes. Este intercambio de experiencias beneficia a las comunidades vulnerables y promueve la innovación en ingeniería sísmica a nivel global.

CAPÍTULO 5. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS

5.1. Tecnologías utilizadas

El desarrollo de aplicaciones web ha sido una tendencia constante en el mundo digital. Estas aplicaciones son programas de software diseñados para operar directamente a través de un navegador web, lo que las hace accesibles desde cualquier dispositivo con conexión a Internet, sin necesidad de descargas o instalaciones adicionales. A diferencia de las aplicaciones de escritorio tradicionales, las aplicaciones web ofrecen una mayor flexibilidad y accesibilidad, siendo alojadas en servidores remotos *(Amazon Web Services, s.f.)*.

Es importante diferenciar entre una aplicación web y un sitio web. Mientras que un sitio web proporciona contenido estático que el usuario puede ver y leer, una aplicación web permite al usuario no solo leer el contenido, sino también interactuar y manipular los datos de la página. Por ejemplo, mientras que Wikipedia o un blog personal son ejemplos de sitios web, Dropbox, Microsoft Office 365 y Gmail son ejemplos de aplicaciones web.

La creación de una aplicación web implica la combinación de diferentes tecnologías, divididas en dos grandes grupos: frontend y backend. El frontend se encarga de la experiencia del usuario, mientras que el backend, también conocido como "lado del servidor", se encarga del funcionamiento interno de la aplicación y está compuesto por el servidor, una aplicación y una base de datos, tal como se muestra en la *Figura 14*.

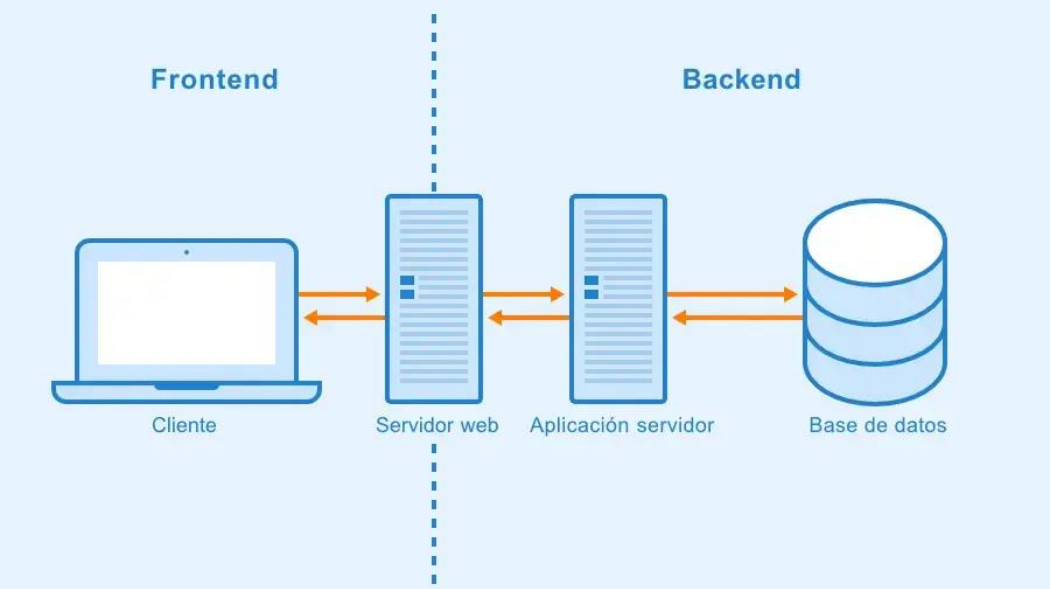


Figura 14. Interacción entre el frontend y el backend. Fuente: Ayala (2021)

Se proporciona la *Tabla 8* para clarificar las distinciones entre el frontend y el backend en el desarrollo de aplicaciones web.

Tabla 8. Diferencia entre frontend y backend. Fuente: Elaboración propia.

Frontend	Backend
Se centra en el diseño y la interactividad de la interfaz de usuario utilizando lenguajes como HTML, CSS, JavaScript, etc.	Se enfoca en la lógica y la funcionalidad de la aplicación utilizando lenguajes como PHP, Python, C#, etc.
Prioriza la experiencia del usuario.	Prioriza las necesidades de la marca.
Se centra en asegurar una buena experiencia de navegación.	Se centra en asegurar un buen rendimiento del sitio.
Optimiza la experiencia desde el lado del navegador.	Optimiza la experiencia desde el lado del servidor.
Sus resultados definen el estilo del sitio y son visibles para el usuario final.	Sus resultados dan soporte al sitio, pero no son directamente accesibles al usuario.
Recurre al diseño de contenidos como textos, imágenes o multimedia para mejorar la experiencia del usuario.	Requiere el diseño y uso de herramientas como bases de datos y hardware para gestionar la lógica y los datos de la aplicación.

5.1.1. Descripción de tecnologías en el frontend

El desarrollo del frontend de la aplicación se basó en el empleo de las siguientes tecnologías:

HTML:

HTML (Hypertext Markup Language) es el lenguaje estándar para crear páginas web. Define la estructura de una página a través de una serie de elementos que indican al navegador cómo mostrar el contenido. Estos elementos etiquetan partes del contenido como títulos, párrafos, enlaces, entre otros. El código en la *Figura 15* muestra la estructura básica de un documento HTML, donde:

- <!DOCTYPE html> indica que el documento es HTML.
- <html> es el elemento principal de una página HTML.
- <head> contiene metainformación sobre la página.
- <title> define el título de la página visible en el navegador.
- <body> contiene todo el contenido como encabezados, párrafos, imágenes, enlaces, tablas y listas.
- <h1> define un encabezado de tamaño grande.
- <p> indica un párrafo.

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
    <title>Page Title</title>
</head>
<body>

    <h1>My First Heading</h1>
    <p>My first paragraph.</p>

</body>
</html>
```

Figura 15. Estructura básica de un documento HTML. Fuente: Elaboración propia.

JavaScript:

Se utilizó JavaScript junto con HTML para añadir interactividad y dinamismo a la interfaz de usuario. JavaScript potencia la funcionalidad del HTML al permitir acciones como mostrar u ocultar elementos, validar formularios y responder a eventos del usuario, como clics y desplazamientos. Su versatilidad se evidencia en la creación de efectos visuales y en la manipulación de elementos de la página en tiempo real. El código de la *Figura 16* muestra cómo crear un mensaje emergente al hacer clic en un botón:

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="es">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <title>Ejemplo de JavaScript</title>
</head>
<body>

<button onclick="mostrarMensaje()">Haz clic aquí</button>

<script>
  function mostrarMensaje() {
    alert('¡Hola! Has hecho clic en el botón.');
  }
</script>

</body>
</html>
```

Figura 16. Ejemplo de un código JavaScript. Fuente: Elaboración propia.

Dentro del <body>, se encuentra un botón con el texto "Haz clic aquí". Este botón tiene un atributo onclick que llama a la función mostrarMensaje() al hacer clic en él. La función mostrarMensaje() está definida en un bloque de <script> en el mismo archivo HTML. Esta función utiliza alert() de JavaScript para mostrar un mensaje emergente con el texto "¡Hola! Has hecho clic en el botón."

Bootstrap:

Para garantizar un diseño web adaptable a diferentes dispositivos y tamaños de pantalla, se integró Bootstrap, un framework de código abierto que combina CSS y JavaScript. Bootstrap ofrece una colección de componentes y plantillas predefinidas que facilitan la creación de interfaces responsivas y estilizadas, ver *Figura 17*. Su uso simplifica la tarea de diseñar botones, menús de navegación, formularios y otros elementos comunes, adaptándolos automáticamente a las características del dispositivo utilizado.

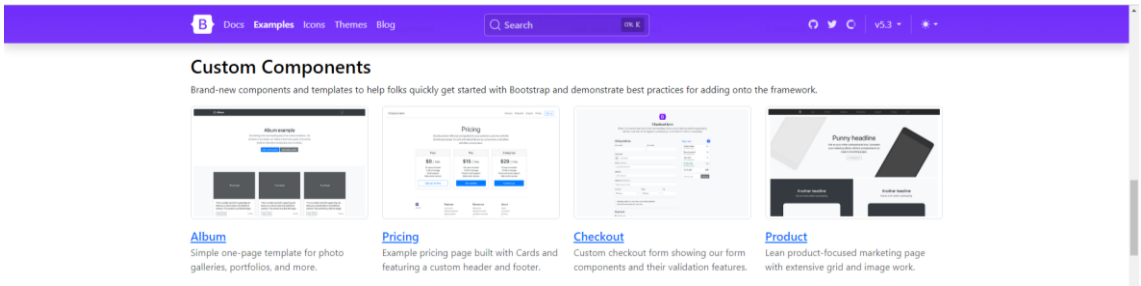


Figura 17. Ejemplo de componentes y plantillas. Fuente: Bootstrap. (2024)

5.1.2. Descripción de tecnologías en el backend

En cuanto al backend de la aplicación, se utilizaron las siguientes tecnologías:

C# (C-Sharp)

C# es un lenguaje de programación desarrollado por Microsoft que se ejecuta en el .NET Framework. Entre sus características más destacadas se encuentran su naturaleza de código abierto, su capacidad multiplataforma y su orientación a objetos. C# se emplea para desarrollar diversas aplicaciones, incluyendo aplicaciones web, de escritorio, móviles y videojuegos. Se integra eficazmente con Visual Studio y su sintaxis está diseñada para ser intuitiva y fácil de comprender. En la *Figura 18* se muestra un ejemplo de código en C# descrito a continuación:

- using System: Importa el espacio de nombres System, que proporciona funcionalidades básicas del sistema.
- namespace MiPrimerPrograma: Define un espacio de nombres llamado "MiPrimerPrograma" para organizar y agrupar clases relacionadas.
- class Program: Declara la clase "Program". En C#, el método "Main", que es el punto de entrada de una aplicación, debe estar dentro de una clase.

- static void Main(string[] args): Es el método "Main", punto de entrada de la aplicación. Es estático y pertenece a la clase en lugar de a una instancia específica. El parámetro "args" es un array de strings para recibir argumentos desde la línea de comandos.

- Console.WriteLine("¡Hola, mundo!"): Imprime "¡Hola, mundo!" en la consola. "Console" es una clase del espacio de nombres "System" que proporciona métodos para interactuar con la consola. "WriteLine" es un método que imprime texto seguido de un salto de línea.

```
using System;

// Definición del espacio de nombres y la clase
namespace MiPrimerPrograma
{
    class Program
    {
        // Método principal, punto de entrada del programa
        static void Main(string[] args)
        {
            // Cuerpo del método Main
            Console.WriteLine("¡Hola, mundo!");
            // Imprime "¡Hola, mundo!" en la consola
        }
    }
}
```

Figura 18. Ejemplo de un código C#. Fuente: Elaboración propia

.NET Framework:

Por lo que se refiere a .NET Framework, es un marco de desarrollo de software diseñado específicamente para compilar y ejecutar aplicaciones en el entorno Windows. Las aplicaciones desarrolladas en .NET Framework pueden estar escritas en C#, F# o Visual Basic. De acuerdo con *Microsoft (2023)*, el diseño de .NET Framework se centra en cumplir los siguientes objetivos:

- Proporcionar un entorno de programación orientada a objetos coherente en el que el código de los objetos se pueda almacenar y ejecutar de forma local, ejecutar de forma local pero distribuida en Internet o ejecutar de forma remota.

- Proporcionar un entorno de ejecución de código que:

  – Minimice los conflictos de implementación de software y control de versiones.

  – Fomente la ejecución segura de código, incluso del creado por terceros desconocidos o que no son de plena confianza.

  – Elimine los problemas de rendimiento de los entornos con scripts o interpretados.

- Ofrecer al desarrollador una experiencia coherente entre tipos de aplicaciones muy diferentes, como las basadas en Windows o en web.
- Basar toda la comunicación en estándares del sector para garantizar que el código basado en .NET Framework se integre con otro código.

5.2. Entorno de desarrollo

Para el desarrollo de la aplicación, se utilizó Visual Studio 2022, un entorno creado por Microsoft que facilita el proceso completo de desarrollo en una sola plataforma. Según *Microsoft (2023)*, algunas de las características destacadas de Visual Studio incluyen:

- Edición y depuración del código: Permite escribir, editar y depurar el código de manera eficiente.
- Compilación del código: Incluye compiladores que facilitan la generación de ejecutables a partir del código fuente.
- Implementación de la aplicación: Facilita la implementación y distribución de la aplicación una vez desarrollada.
- Herramientas de finalización de código: Ayuda a completar el código de manera rápida y precisa.
- Control de código fuente: Ofrece herramientas para gestionar el control de versiones del código.
- Extensiones: Permite la integración de extensiones para ampliar las funcionalidades del entorno.

La elección de Visual Studio 2022 como entorno de desarrollo se debió principalmente a su excelente integración y soporte para las tecnologías Microsoft utilizadas. Visual Studio ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) muy eficiente y bien documentado que está diseñado para trabajar con tecnologías como C#, .NET Framework y SQL Server 2019, que son todos productos principales de Microsoft.

5.3. Gestor de base de datos

En informática, una base de datos es un conjunto de datos almacenados electrónicamente en un sistema informático *(Oracle Corporation, 2020)*. Las bases de datos pueden clasificarse según su aplicación, tipo de datos y método de almacenamiento. En este proyecto, se desarrolló una base de datos SQL.

Una base de datos SQL es relacional y utiliza el lenguaje de consulta estructurado SQL. En este tipo de base de datos, los datos se organizan de forma interrelacionada y se almacenan en tablas estructuradas. Estas tablas están compuestas por filas y columnas, donde cada fila representa un registro único identificado por una clave. Las columnas contienen los atributos de los datos, y cada registro tiene un valor para cada atributo. Esta estructura facilita la creación de relaciones entre los conjuntos de datos, como se muestra en la *Figura 19*.

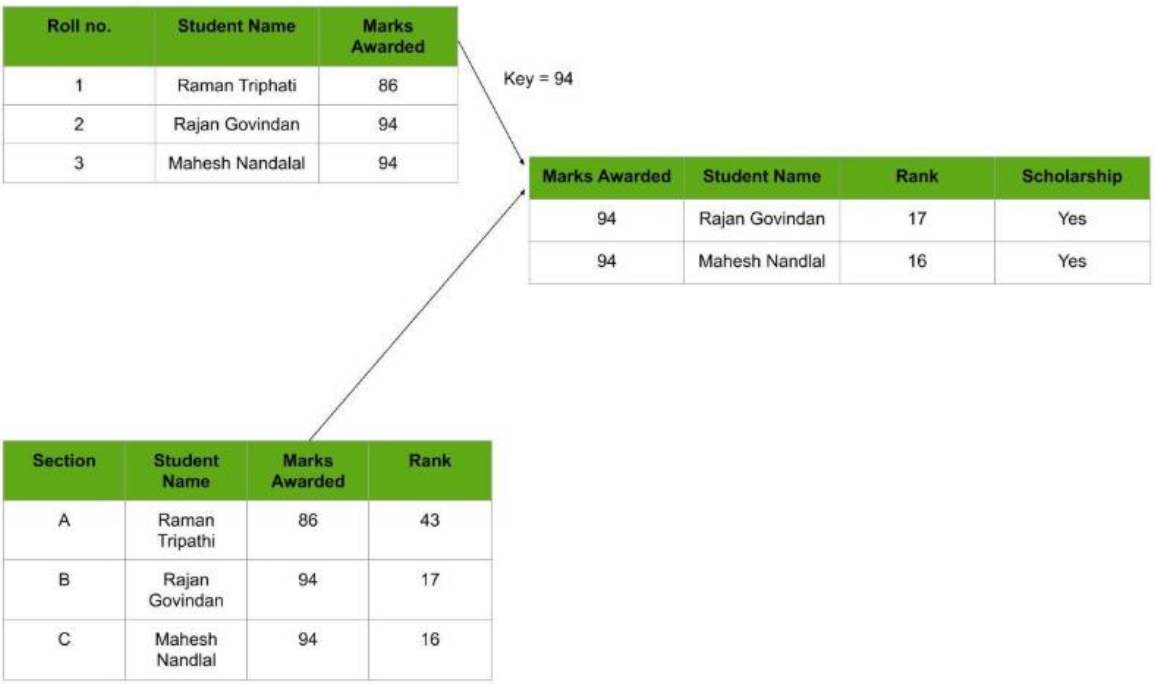


Figura 19. Ejemplo base de datos relacional. Fuente: Geeksforgeeks. (2023)

Para gestionar esta información, se utiliza un Sistema de Gestión de Bases de Datos (DBMS), que actúa como intermediario entre la base de datos y sus usuarios o programas, permitiendo recuperar, actualizar y administrar los datos. Además, el DBMS facilita la supervisión y control de las bases de datos, permitiendo operaciones administrativas como monitoreo del rendimiento, ajustes, copias de seguridad y recuperación.

En este proyecto, se empleó SQL Server 2019 como DBMS para establecer un catálogo de curvas de fragilidad preevaluadas. Desarrollado por Microsoft, SQL Server es reconocido por su robustez y seguridad en la gestión de bases de datos relacionales. Este sistema proporciona un entorno ideal para el desarrollo, implementación y administración de bases de datos, destacándose por su integración con otras herramientas de Microsoft utilizadas en el desarrollo de la aplicación web.

Para realizar consultas en una base de datos utilizando SQL, es esencial comprender las diferentes cláusulas disponibles. La *Tabla 9* resume algunas de las cláusulas más relevantes junto con sus funciones y si son requeridas u opcionales en una consulta SQL.

Tabla 9. Cláusulas SQL más comunes. Fuente: Microsoft. (2016)

Cláusula SQL	Función	Obligatorio
SELECT	Muestra una lista de los campos que contienen datos de interés.	Sí
FROM	Muestra las tablas que contienen los campos de la cláusula SELECT.	Sí

WHERE	Especifica los criterios de campo que cada registro debe cumplir para poder ser incluido en los resultados.	No
ORDER BY	Especifica la forma de ordenar los resultados.	No
GROUP BY	En una instrucción SQL que contiene funciones de agregado, muestra los campos que no se resumen en la cláusula SELECT.	Solo si están estos campos
HAVING	En una instrucción SQL que contiene funciones de agregado, especifica las condiciones que se aplican a los campos que se resumen en la instrucción SELECT.	No

La *Figura 20* muestra un ejemplo de código SQL que ilustra las cláusulas descritas anteriormente.

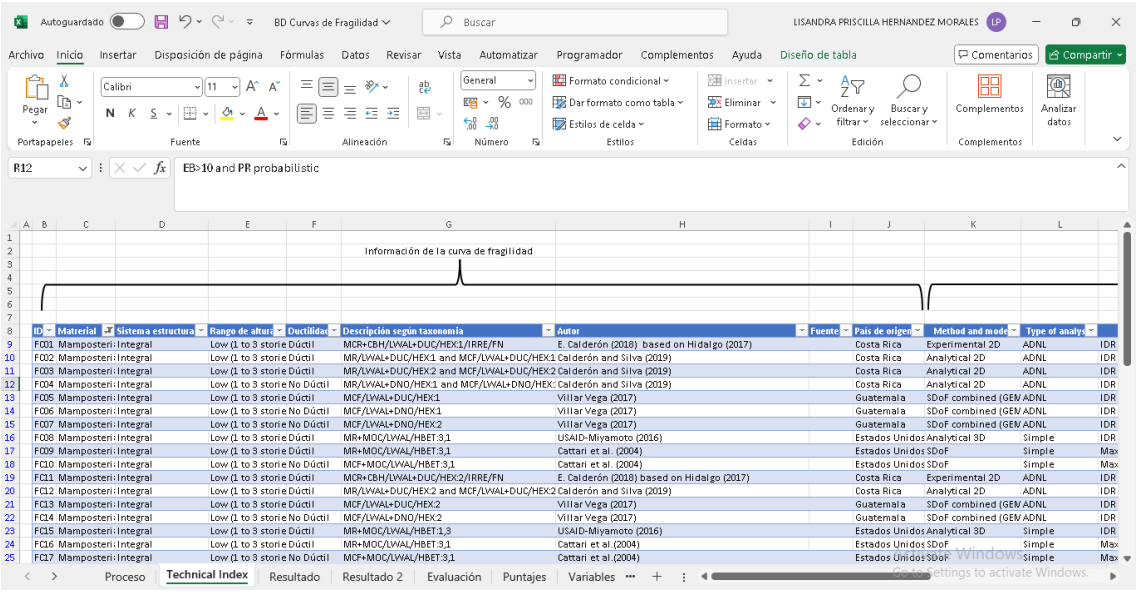
```sql
-- Seleccionar los campos 'nombre' y 'apellido' de la tabla 'usuarios'
SELECT nombre, apellido
-- Especificar la tabla de la que se van a seleccionar los campos
FROM usuarios
-- Filtrar los usuarios mayores de 18 años
WHERE edad > 18
-- Ordenar los resultados por el campo 'apellido' de manera ascendente
ORDER BY apellido ASC
-- Agrupar los resultados por el campo 'ciudad'
GROUP BY ciudad
-- Filtrar los resultados agrupados para mostrar solo las ciudades
-- cuyo promedio de edad sea mayor a 25 años
HAVING AVG(edad) > 25;
```

Figura 20. Ejemplo de código SQL que ilustra las cláusulas básicas para la consulta de datos en una base de datos relacional. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 6. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

6.1. Preparación de los datos

Para abordar las limitaciones descritas en el análisis del problema, se creó una nueva estructura de datos. Esto permitió almacenar y procesar datos de manera más eficiente. Antes de transferir los datos a SQL Server, primero se creó un archivo Excel para organizar los datos. La información en este archivo se organizó en forma tabular utilizando filas y columnas. Cada curva de fragilidad fue asignada un ID único para que pudiera ser identificada en el catálogo. El material, el sistema estructural, el rango de altura, la ductilidad, la descripción según la taxonomía, el autor, la fuente y el país de origen se incluyen en la tabla resultante, que se muestra en la *Figura 21*.



ID	Matrerial	Sistema estructura	Rango de altur	Ductilidad	Descripción según taxonomía	Autor	Fuente	País de origen	Method and mode	Type of analys	
F001	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	Dúctil	MCR+CBH/LWAL+DUC/HEX:1/IRRE/FN	E. Calderón (2018) based on Hidalgo (2017)		Costa Rica	Experimental 2D	ADNL	IDR
F002	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	Dúctil	MR/LWAL+DUC/HEX:1 and MCF/LWAL+DUC/HEX:1	Calderón and Silva (2019)		Costa Rica	Analytical 2D	ADNL	IDR
F003	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	Dúctil	MR/LWAL+DUC/HEX:2 and MCF/LWAL+DUC/HEX:2	Calderón and Silva (2019)		Costa Rica	Analytical 2D	ADNL	IDR
F004	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	No Dúctil	MR/LWAL+DNO/HEX:1 and MCF/LWAL+DNO/HEX:	Calderón and Silva (2019)		Costa Rica	Analytical 2D	ADNL	IDR
F005	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	Dúctil	MCF/LWAL+DUC/HEX:1	Villar Vega (2017)		Guatemala	SDoF combined (GEM	ADNL	IDR
F006	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	No Dúctil	MCF/LWAL+DNO/HEX:1	Villar Vega (2017)		Guatemala	SDoF combined (GEM	ADNL	IDR
F007	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	No Dúctil	MCF/LWAL+DNO/HEX:2	Villar Vega (2017)		Guatemala	SDoF combined (GEM	ADNL	IDR
F008	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	Dúctil	MR+MOC/LWAL/HBET:3,1	USAID-Miyamoto (2016)		Estados Unidos	Analytical 3D	Simple	IDR
F009	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	Dúctil	MR+MOC/LWAL/HBET:3,1	Cattari et al. (2004)		Estados Unidos	SDoF	Simple	Max
FC10	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	No Dúctil	MCF+MOC/LWAL/HBET:3,1	Cattari et al. (2004)		Estados Unidos	SDoF	Simple	Max
FC11	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	Dúctil	MCR+CBH/LWAL+DUC/HEX:2/IRRE/FN	E. Calderón (2018) based on Hidalgo (2017)		Costa Rica	Experimental 2D	ADNL	IDR
FC12	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	Dúctil	MR/LWAL+DUC/HEX:2 and MCF/LWAL+DUC/HEX:2	Calderón and Silva (2019)		Costa Rica	Analytical 2D	ADNL	IDR
FC13	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	Dúctil	MCF/LWAL+DUC/HEX:2	Villar Vega (2017)		Guatemala	SDoF combined (GEM	ADNL	IDR
FC14	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	No Dúctil	MCF/LWAL+DNO/HEX:2	Villar Vega (2017)		Guatemala	SDoF combined (GEM	ADNL	IDR
FC15	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	Dúctil	MR+MOC/LWAL/HBET:1,3	USAID-Miyamoto (2016)		Estados Unidos	Analytical 3D	Simple	IDR
FC16	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	Dúctil	MR+MOC/LWAL/HBET:3,1	Cattari et al.(2004)		Estados Unidos	SDoF	Simple	Max
FC17	Mamposteri	Integral	Low (1 to 3 storie	No Dúctil	MCF+MOC/LWAL/HBET:3,1	Cattari et al.(2004)		Estados Unidos	SDoF	Simple	Max

Figura 21. Información de las curvas de fragilidad. Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la *Figura 22*, también se agregaron columnas con las variables preevaluadas para cada curva. Estas variables incluyen “Método y modelo”, “Tipo de análisis”, “Parámetro de demanda de ingeniería”, “Medida de intensidad”, “Fuentes de incertidumbre consideradas”, “Umbrales de estado de daño”, “Antigüedad de la función”, “Tipo de edificio y tamaño de la muestra”, “Credibilidad” y “Popularidad”. Es importante señalar que las variables “Similitud en técnicas de construcción”, “Similitud en la medida de intensidad” y “Similitud en la clase de construcción” se excluyeron de esta tabla porque su evaluación corresponde al usuario final.

Gracias a esta organización, se pudo centralizar todas las evaluaciones, lo que facilitó el acceso a la información y mejoró la claridad y la rapidez en la visualización de los datos.

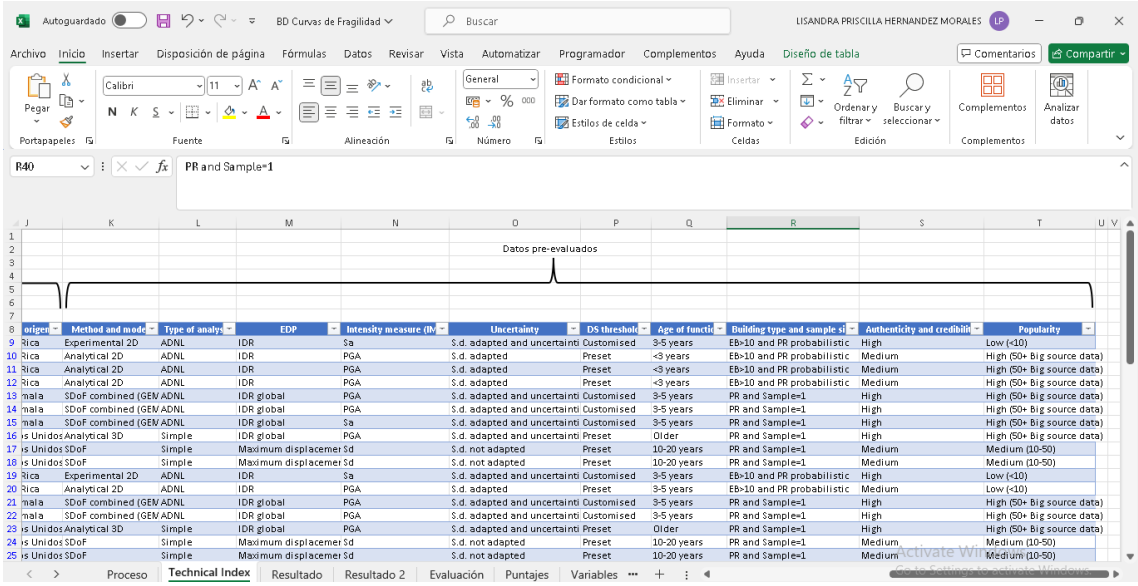


Figura 22. Variables preevaluadas. Fuente: Elaboración propia.

6.2. Creación de la base de datos en SQL Server

Tras la preparación de los datos, se creó la base de datos "BDCurvasDeFragilidad" en el entorno de SQL Server Management Studio (SSMS). La *Figura 23* muestra en detalle su configuración.

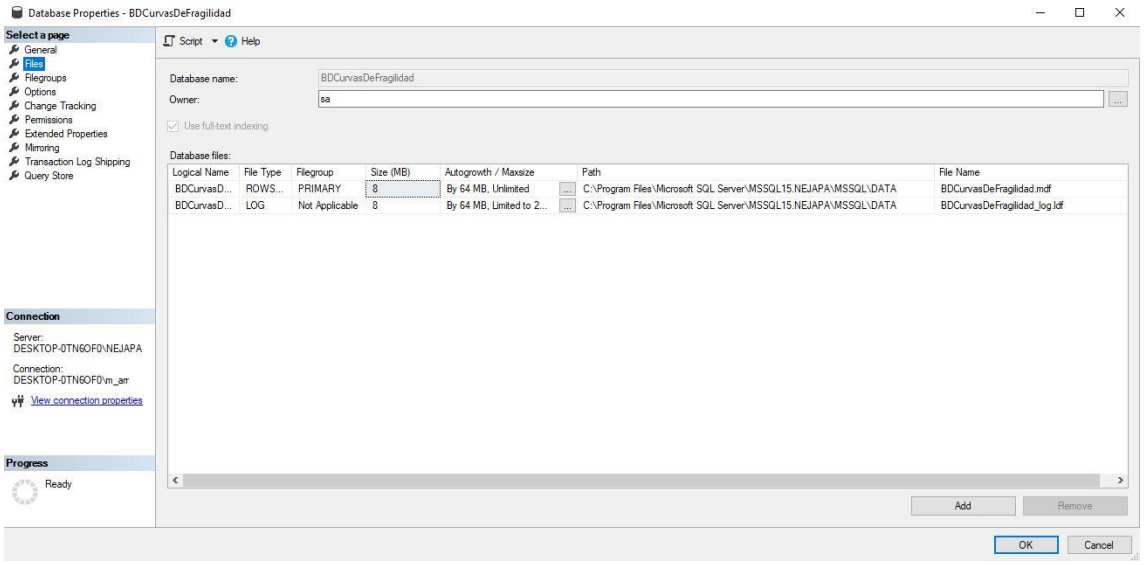


Figura 23. Base de datos de las curvas de fragilidad. Fuente: Elaboración propia.

Una vez creada la base de datos, se procedió al diseño de su estructura, la cual comprende un conjunto de 13 tablas diseñadas para almacenar y gestionar los datos necesarios para la aplicación. El diagrama entidad-relación que representa la organización y las relaciones entre estas tablas se encuentra en la *Figura 24*.

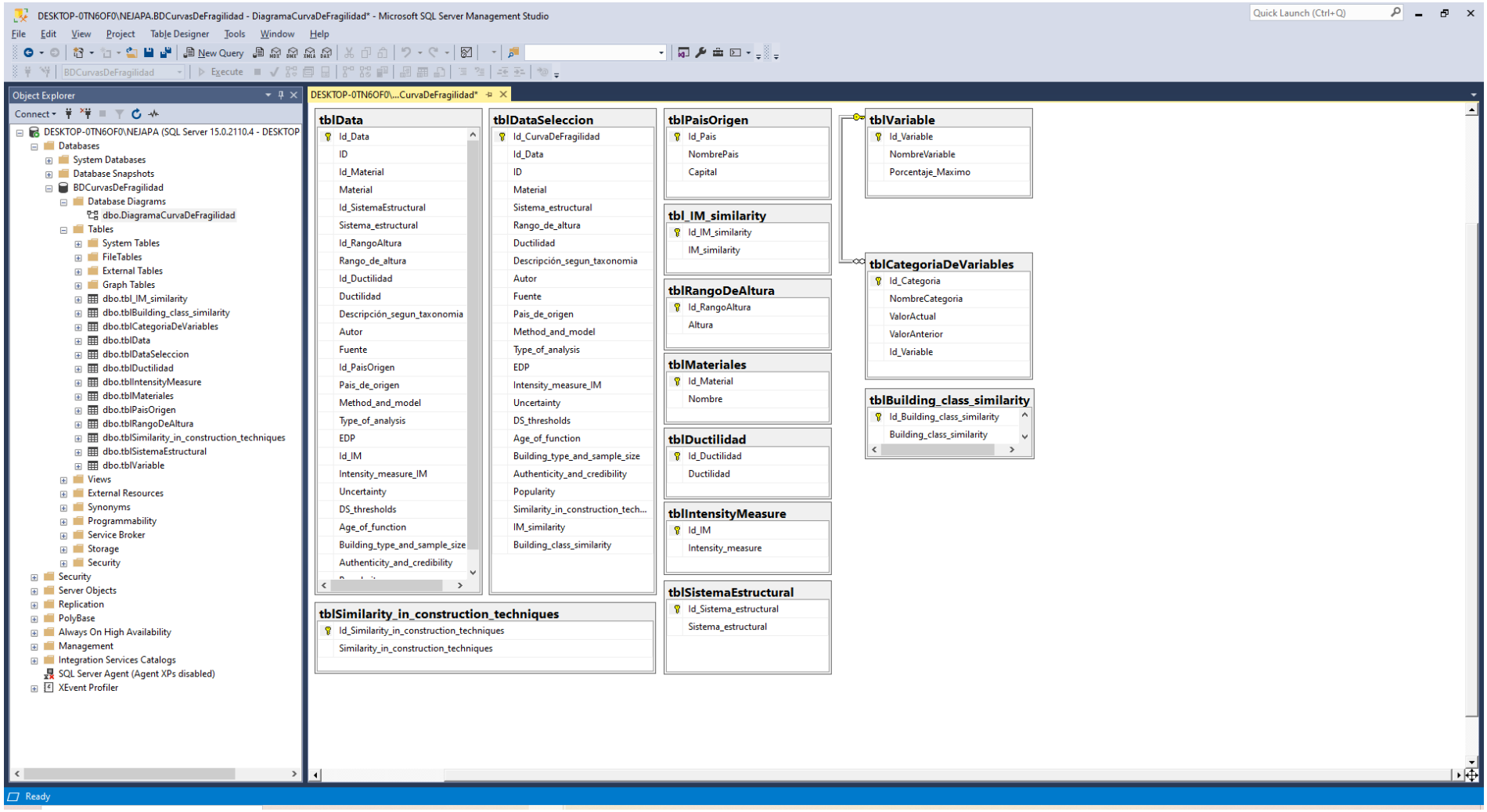


Figura 24. Diagrama entidad-relación. Fuente: Elaboración propia.

1. **Tabla *tblVariable*:**

Contiene todas las variables de la metodología Select.FC junto con sus respectivos puntajes máximos. Cada variable está asociada a un identificador único. La consulta SQL que recupera estos datos se muestra a continuación:

```
SELECT TOP (1000) [Id_Variable]
      ,[NombreVariable]
      ,[Porcentaje_Maximo]
  FROM [BDCurvasDeFragilidad].[dbo].[tblVariable]
```

2. **Tabla *tblCategoriaDeVariables*:**

Contiene las opciones de selección disponibles para cada variable; cada opción tiene un identificador único y está asociada al identificador correspondiente de la variable. La consulta SQL que recupera estos datos se muestra a continuación:

```
SELECT TOP (1000) [Id_Categoria]
      ,[NombreCategoria]
      ,[ValorActual]
      ,[ValorAnterior]
      ,[Id_Variable]
  FROM [BDCurvasDeFragilidad].[dbo].[tblCategoriaDeVariables]
```

3. **Tabla *tblData*:**

Contiene la información relacionada con cada curva de fragilidad, así como las pre-evaluaciones de las variables. Esta tabla es clave porque contiene el catálogo completo de las curvas. La consulta SQL que recupera estos datos se muestra a continuación:

```
SELECT TOP (1000) [Id_Data]
      ,[ID]
      ,[Id_Material]
      ,[Material]
      ,[Id_SistemaEstructural]
      ,[Sistema_estructural]
      ,[Id_RangoAltura]
      ,[Rango_de_altura]
      ,[Id_Ductilidad]
      ,[Ductilidad]
      ,[Descripción_segun_taxonomia]
      ,[Autor]
      ,[Fuente]
      ,[Id_PaisOrigen]
      ,[Pais_de_origen]
      ,[Method_and_model]
      ,[Type_of_analysis]
      ,[EDP]
      ,[Id_IM]
      ,[Intensity_measure_IM]
      ,[Uncertainty]
      ,[DS_thresholds]
      ,[Age_of_function]
      ,[Building_type_and_sample_size]
      ,[Authenticity_and_credibility]
      ,[Popularity]
  FROM [BDCurvasDeFragilidad].[dbo].[tblData]
```

4. **Tabla *tblDataSeleccion*:**

Almacena temporalmente los datos seleccionados por el usuario en la aplicación, los cuales serán posteriormente descargados en un archivo Excel. El código de la consulta que ejecuta esta operación es el siguiente:

```
SELECT TOP (1000) [Id_CurvaDeFragilidad]
      ,[Id_Data]
      ,[ID]
      ,[Material]
      ,[Sistema_estructural]
      ,[Rango_de_altura]
      ,[Ductilidad]
      ,[Descripción_segun_taxonomia]
      ,[Autor]
      ,[Fuente]
      ,[Pais_de_origen]
      ,[Method_and_model]
      ,[Type_of_analysis]
      ,[EDP]
      ,[Intensity_measure_IM]
      ,[Uncertainty]
      ,[DS_thresholds]
      ,[Age_of_function]
      ,[Building_type_and_sample_size]
      ,[Authenticity_and_credibility]
      ,[Popularity]
      ,[Similarity_in_construction_techniques]
      ,[IM_similarity]
      ,[Building_class_similarity]
  FROM [BDCurvasDeFragilidad].[dbo].[tblDataSeleccion]
```

5. **Tabla *tblMateriales*:**

Contiene las opciones de selección del filtro “Material”. La consulta SQL que recupera estos datos se muestra a continuación:

```
SELECT TOP (1000) [Id_Material]
      ,[Nombre]
  FROM [BDCurvasDeFragilidad].[dbo].[tblMateriales]
```

6. **Tabla *tblRangoDeAltura*:**

Contiene las opciones de selección del filtro “Rango de altura”. La consulta SQL que recupera estos datos se muestra a continuación:

```
SELECT TOP (1000) [Id_RangoAltura]
      ,[Altura]
  FROM [BDCurvasDeFragilidad].[dbo].[tblRangoDeAltura]
```

7. **Tabla *tblSistemaEstructural*:**

Contiene las opciones de selección del filtro “Sistema estructural”. La consulta SQL que recupera estos datos se muestra a continuación:

```
SELECT TOP (1000) [Id_Sistema_estructural]
      ,[Sistema_estructural]
  FROM [BDCurvasDeFragilidad].[dbo].[tblSistemaEstructural]
```

8. Tabla *tblDuctilidad*:

Contiene las opciones de selección del filtro “Ductilidad”. La consulta SQL que recupera estos datos se muestra a continuación:

```
SELECT TOP (1000) [Id_Ductilidad]
      ,[Ductilidad]
  FROM [BDCurvasDeFragilidad].[dbo].[tblDuctilidad]
```

9. Tabla *tblPaisOrigen*:

Contiene las opciones de selección del filtro “País de origen”. La consulta SQL que recupera estos datos se muestra a continuación:

```
SELECT TOP (1000) [Id_Pais]
      ,[NombrePais]
      ,[Capital]
  FROM [BDCurvasDeFragilidad].[dbo].[tblPaisOrigen]
```

10. Tabla *tblIntensityMeasure*:

Contiene las opciones de selección del filtro “Medida de intensidad”. La consulta SQL que recupera estos datos se muestra a continuación:

```
SELECT TOP (1000) [Id_IM]
      ,[Intensity_measure]
  FROM [BDCurvasDeFragilidad].[dbo].[tblIntensityMeasure]
```

11. Tabla *tblSimilarity_in_construction_techniques*:

Contiene las opciones de selección para la evaluación de la variable “Similitud en las técnicas de construcción”. La consulta SQL que recupera estos datos se muestra a continuación:

```
SELECT TOP (1000) [Id_Similarity_in_construction_techniques]
      ,[Similarity_in_construction_techniques]
  FROM [BDCurvasDeFragilidad].[dbo].[tblSimilarity_in_construction_techniques]
```

12. Tabla *tbl_IM_similarity*:

Contiene las opciones de selección para la evaluación de la variable “Similitud en medida de intensidad”. La consulta SQL que recupera estos datos se muestra a continuación:

```
SELECT TOP (1000) [Id_IM_similarity]
      ,[IM_similarity]
  FROM [BDCurvasDeFragilidad].[dbo].[tbl_IM_similarity]
```

13. Tabla *tblBuilding_class_similarity*:

Contiene las opciones de selección para la evaluación de la variable “Similitud en la clase de construcción”. La consulta SQL que recupera estos datos se muestra a continuación:

```
SELECT TOP (1000) [Id_Building_class_similarity]
      ,[Building_class_similarity]
  FROM [BDCurvasDeFragilidad].[dbo].[tblBuilding_class_similarity]
```

Además, se crearon tres stored procedures, también conocidos como procedimientos almacenados. Estos procedimientos, son fragmentos de código que se almacenan en la base de datos y se activan mediante una llamada desde la aplicación.

1. **Procedimiento *[sp_Filtro]:***

Permite a los usuarios filtrar dinámicamente los datos de la tabla tblData según los criterios establecidos por el cliente. Dos de estos criterios son obligatorios ("Material" y "Rango de altura"), mientras que otros cuatro son opcionales ("Sistema estructural", "Ductilidad", "País de origen" y "Medida de intensidad"). Este procedimiento proporciona flexibilidad en las consultas y facilita la extracción de datos específicos según las necesidades del usuario. A continuación, se muestra la consulta SQL que realiza esta operación:

```
USE [BDCurvasDeFragilidad]
GO
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
ALTER PROCEDURE [dbo].[sp_Filtro]
       -- Add the parameters for the stored procedure here
       @material int,
       @rangoAltura int,
       --Parametros opcionales
       @sistemaEstructural int = null,
       @ductilidad int = null,
       @pais int = null,
       @im int = null
AS
BEGIN
       -- SET NOCOUNT ON added to prevent extra result sets from
       -- interfering with SELECT statements.
       SET NOCOUNT ON;

    -- Insert statements for procedure here
       Select * From tblData
       Where id_Material=@material and Id_RangoAltura=@rangoAltura and
                (@sistemaEstructural is null or
Id_SistemaEstructural=@sistemaEstructural) and
                (@ductilidad is null or Id_Ductilidad=@ductilidad) and
                (@pais is null or Id_PaisOrigen=@pais) and
                (@im is null or Id_IM=@im)
END
```

2. **Procedimiento *[sp_PuntajeDeSeleccionCalificada]*:**

Automatiza el cálculo de los puntajes finales de las dimensiones y subdimensiones del índice. Además, incorpora la lógica necesaria para clasificar las curvas según la metodología Select.FC. Los cálculos que realiza se detallan en la *Tabla 10*:

Tabla 10. Cálculo de los puntajes. Fuente: Elaboración propia.

CAPACITY	= Method and model + type of analysis + EDP
FRAGILITY	= Intensity measure (IM) + Uncertainty + DS thresholds + Age of function
QUALITY	= Building type and sample size + Authenticity and Credibility + Popularity
TECHNICAL	= Capacity + Fragility + Quality
LOCAL SYSTEM	= Similarity in construction techniques + IM similarity
GLOBAL INDEX	= Technical + Local system
FINAL INDEX	= Global index * Building class similarity
CLASS	= Si Final index: • 0.85 – 1.00 = A • 0.66 – 0.85 = B • 0.56 – 0.65 = C • 0.48 – 0.55 = D • 0.41 – 0.47 = E • 0.00 – 0.40 = F

El código de la consulta que ejecuta esta operación es el siguiente:

```
USE [BDCurvasDeFragilidad]
GO
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
ALTER PROCEDURE [dbo].[sp_PuntajeDeSeleccionCalificada]
       -- Add the parameters for the stored procedure here
AS
BEGIN
       -- SET NOCOUNT ON added to prevent extra result sets from
       -- interfering with SELECT statements.
       SET NOCOUNT ON;

    -- Insert statements for procedure here
       Select *, CLASS = IIF(FINAL_INDEX>=0.86 And FINAL_INDEX<=1.00,'A',
                             IIF(FINAL_INDEX>=0.66 And FINAL_INDEX<=0.85,'B',
                             IIF(FINAL_INDEX>=0.56 And FINAL_INDEX<=0.65, 'C',
                             IIF(FINAL_INDEX>=0.48 And FINAL_INDEX<=0.55, 'D',
                             IIF(FINAL_INDEX>=0.41 And FINAL_INDEX<=0.47, 'E',
                             IIF(FINAL_INDEX>=0.35 And FINAL_INDEX<=0.40,
'F'))))))

       From(
              Select
                     d.ID,
                     v1.ValorActual As [Method and model],
                     v2.ValorActual AS [Type of analysis],
                     v3.ValorActual AS EDP_,
                     v4.ValorActual AS [Intensity measure IM],
                     v5.ValorActual AS Uncertaint,
```

```
                    v6.ValorActual AS [DS thresholds],
                    v7.ValorActual AS [Age of function],
                    v8.ValorActual As [Building type and sample size],
                    v9.ValorActual AS [Authenticity and credibility],
                    v10.ValorActual As Popularit,
                    v11.ValorActual As [Similarity in construction techniques],
                    v12.ValorActual As [IM similarity],
                    v13.ValorActual As [Building class similarity],
                    v1.ValorActual + v2.ValorActual + v3.ValorActual As
CAPACITY,
                    v4.ValorActual + v5.ValorActual + v6.ValorActual +
v7.ValorActual As FRAGILITY,
                    v8.ValorActual + v9.ValorActual + v10.ValorActual As
QUALITY,
                    TECHNICAL = v1.ValorActual + v2.ValorActual + v3.ValorActual
+ v4.ValorActual + v5.ValorActual +
                                        v6.ValorActual + v7.ValorActual +
v8.ValorActual + v9.ValorActual + v10.ValorActual,
                    LOCAL_SYSTEM = v11.ValorActual + v12.ValorActual,
                    GLOBAL_INDEX = v1.ValorActual + v2.ValorActual +
v3.ValorActual + v4.ValorActual + v5.ValorActual +
                                          v6.ValorActual + v7.ValorActual +
v8.ValorActual + v9.ValorActual + v10.ValorActual + v11.ValorActual +
v12.ValorActual,
                    FINAL_INDEX = ((v1.ValorActual + v2.ValorActual +
v3.ValorActual + v4.ValorActual + v5.ValorActual +
                                          v6.ValorActual + v7.ValorActual +
v8.ValorActual + v9.ValorActual + v10.ValorActual +
                                          v11.ValorActual + v12.ValorActual) *
v13.ValorActual)/100.00
                    From tblDataSeleccion d
                    Inner Join tblCategoriaDeVariables v1 On
d.Method_and_model=v1.NombreCategoria and v1.Id_Variable=3
                    Inner Join tblCategoriaDeVariables v2 On
d.Type_of_analysis=v2.NombreCategoria and v2.Id_Variable=1
                    Inner Join tblCategoriaDeVariables v3 On
d.EDP=v3.NombreCategoria and v3.Id_Variable=2
                    Inner Join tblCategoriaDeVariables v4 On
d.Intensity_measure_IM=v4.NombreCategoria and v4.Id_Variable=4
                    Inner Join tblCategoriaDeVariables v5 On
d.Uncertainty=v5.NombreCategoria and v5.Id_Variable=6
                    Inner Join tblCategoriaDeVariables v6 On
d.DS_thresholds=v6.NombreCategoria and v6.Id_Variable=5
                    Inner Join tblCategoriaDeVariables v7 On
d.Age_of_function=v7.NombreCategoria and v7.Id_Variable=7
                    Inner Join tblCategoriaDeVariables v8 On
d.Building_type_and_sample_size=v8.NombreCategoria and v8.Id_Variable=10
                    Inner Join tblCategoriaDeVariables v9 On
d.Authenticity_and_credibility=v9.NombreCategoria and v9.Id_Variable=9
                    Inner Join tblCategoriaDeVariables v10 On
d.Popularity=v10.NombreCategoria and v10.Id_Variable=8
                    Inner Join tblCategoriaDeVariables v11 On
d.Similarity_in_construction_techniques=v11.NombreCategoria and
v11.Id_Variable=11
                    Inner Join tblCategoriaDeVariables v12 On
d.IM_similarity=v12.NombreCategoria and v12.Id_Variable=12
                    Inner Join tblCategoriaDeVariables v13 On
d.Building_class_similarity=v13.NombreCategoria and v13.Id_Variable=13
               ) AS T1 order by T1.ID
END
```

3. Procedimiento *[sp_SeleccionCalificada]*:

Recupera la información de las curvas de fragilidad según los filtros de búsqueda especificados por el usuario. Al ejecutarlo, proporciona los detalles de cada curva junto con las preevaluaciones de las variables. El código de la consulta que ejecuta esta operación es el siguiente:

```
USE [BDCurvasDeFragilidad]
GO
SET ANSI_NULLS ON
GO
SET QUOTED_IDENTIFIER ON
GO
ALTER PROCEDURE [dbo].[sp_SeleccionCalificada]
       -- Add the parameters for the stored procedure here

AS
BEGIN
       -- SET NOCOUNT ON added to prevent extra result sets from
       -- interfering with SELECT statements.
       SET NOCOUNT ON;
    -- Insert statements for procedure here
       Select
              d.ID,
              d.Material,
              d.Sistema_estructural,
              d.Rango_de_altura,
              d.Ductilidad,
              d.Descripción_segun_taxonomia,
              d.Autor,
              d.Fuente,
              d.Pais_de_origen,
              d.Method_and_model As [Method and model],
              d.Type_of_analysis AS [Type of analysis],
              d.EDP,
              d.Intensity_measure_IM AS [Intensity measure IM],
              d.Uncertainty,
              d.DS_thresholds AS [DS thresholds],
              d.Age_of_function AS [Age of function],
              d.Building_type_and_sample_size As [Building type and sample size],
              d.Authenticity_and_credibility AS [Authenticity and credibility],
              d.Popularity,
              d.Similarity_in_construction_techniques As [Similarity in
construction techniques],
              d.IM_similarity As [IM similarity],
              d.Building_class_similarity As [Building class similarity]
       From tblDataSeleccion d
       order by d.ID
END
```

6.3. Arquitectura de la aplicación

La arquitectura de las aplicaciones web actúa como el esqueleto que proporciona forma y estructura al diseño de la aplicación. Organiza el frontend, el backend y la base de datos, garantizando que interactúen entre sí, como se muestra en la *Figura 25*. Su propósito es crear un sistema unificado y escalable que cumpla con los requisitos funcionales y no funcionales de la aplicación.

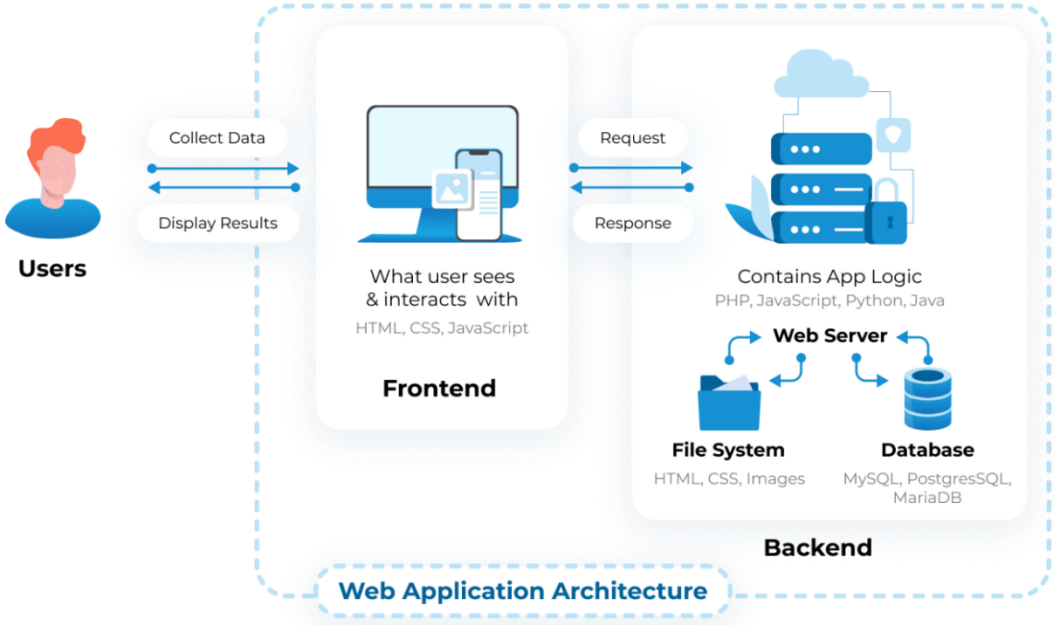


Figura 25. Arquitectura de una aplicación web. Fuente: KaraPardaz. (2020)

Para este proyecto en particular, se ha implementado el patrón de arquitectura MVC (Modelo-Vista-Controlador), que facilita la separación de los datos de la aplicación, la interfaz de usuario y la lógica de control en tres componentes principales:

1. **Modelo:** Es responsable del backend y contiene la lógica de datos, accediendo a la capa de almacenamiento de datos. Además, define las reglas de negocio y notifica a las vistas sobre los cambios en los datos.

2. **Vista:** Se encarga del frontend o la interfaz de usuario (IU). Recibe datos del modelo y los muestra al usuario, está asociada a un controlador específico y proporciona el servicio de actualización de la interfaz.

3. **Controlador:** Actúa como el cerebro de la aplicación. Recibe eventos de entrada desde la interfaz gráfica, contiene reglas de gestión de eventos del tipo "SI Evento Z, entonces Acción W" y realiza peticiones al modelo o a las vistas según sea necesario.

Se optó por el patrón MVC principalmente porque permite separar el código del frontend y del backend en componentes distintos. Esta separación simplifica la gestión y la implementación de cambios en cualquiera de los lados sin que afecten al otro. El flujo que sigue generalmente es el que se muestra en la *Figura 26*:

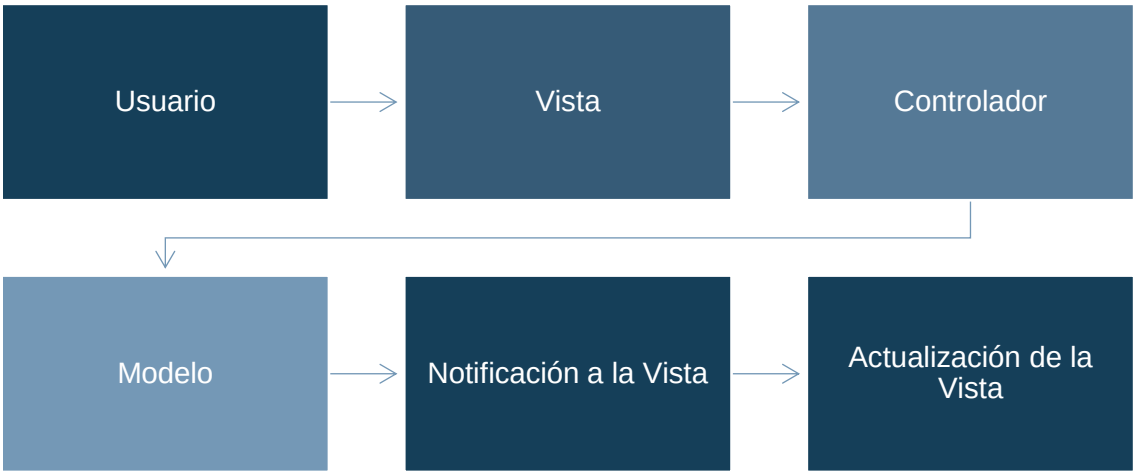


Figura 26. Flujo de interacciones en el patrón MVC (Modelo-Vista-Controlador). Fuente: Elaboración propia

El usuario realiza una acción en la interfaz de usuario (Vista). Esta acción es recibida por el controlador, el cual procesa la solicitud y envía las instrucciones correspondientes al modelo. El modelo se actualiza según las instrucciones recibidas del controlador y notifica a la vista sobre los cambios en los datos. Finalmente, la vista actualiza la interfaz de usuario para reflejar los cambios en el modelo.

Después de describir los diferentes componentes de la aplicación, es importante entender cómo se relacionan entre sí dentro del entorno de desarrollo. Para ello se muestra la *Figura 27*.

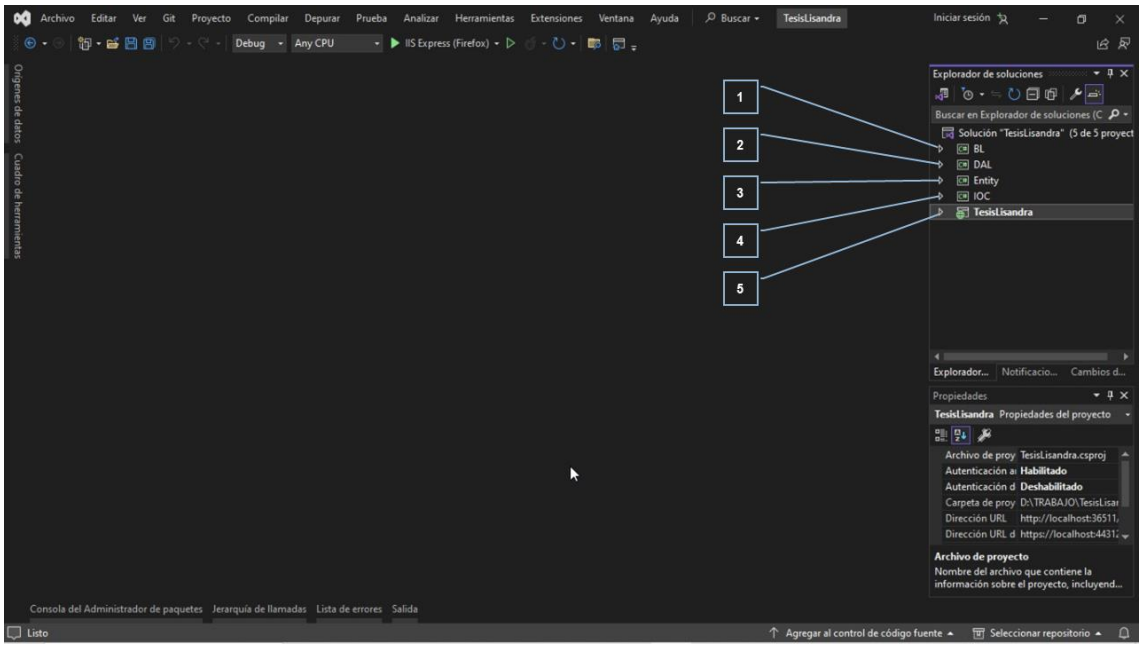


Figura 27. Entorno de desarrollo de la aplicación

1. **Capa de negocio**: En esta capa reside la lógica que dirige la ejecución de los distintos procesos automatizados en respuesta a las acciones de los usuarios en la interfaz de la aplicación.

2. **Capa de gestión de datos**: Esta capa recibe solicitudes de gestión de datos desde la capa de negocio y ejecuta los procesos necesarios para acceder y consultar los datos almacenados en la base de datos.

3. **Capa de modelo datos**: Esta capa almacena la estructura de las tablas que constituyen la base de datos de la aplicación, proporcionando una plantilla que define cómo se presentan los datos según los requisitos del usuario.

4. **Capa de inyección de dependencias:** Este patrón de diseño se utiliza para "inyectar" componentes en las clases implementadas en la aplicación. En otras palabras, en esta capa se especifica qué estructura dentro del código será responsable de utilizar cada componente. Por ejemplo, cuando se crea el componente "guardar", se define qué parte del código manejará el proceso de almacenamiento de datos.

5. **Capa de presentación:** En esta capa se encuentran programadas las interfaces o vistas que el usuario observa a través del navegador web, el controlador que las gestiona y el modelo de datos que se muestra en dichas vistas. La *Figura 28* ilustra este patrón, mostrando la estructura del Modelo-Vista-Controlador (MVC) de la aplicación.

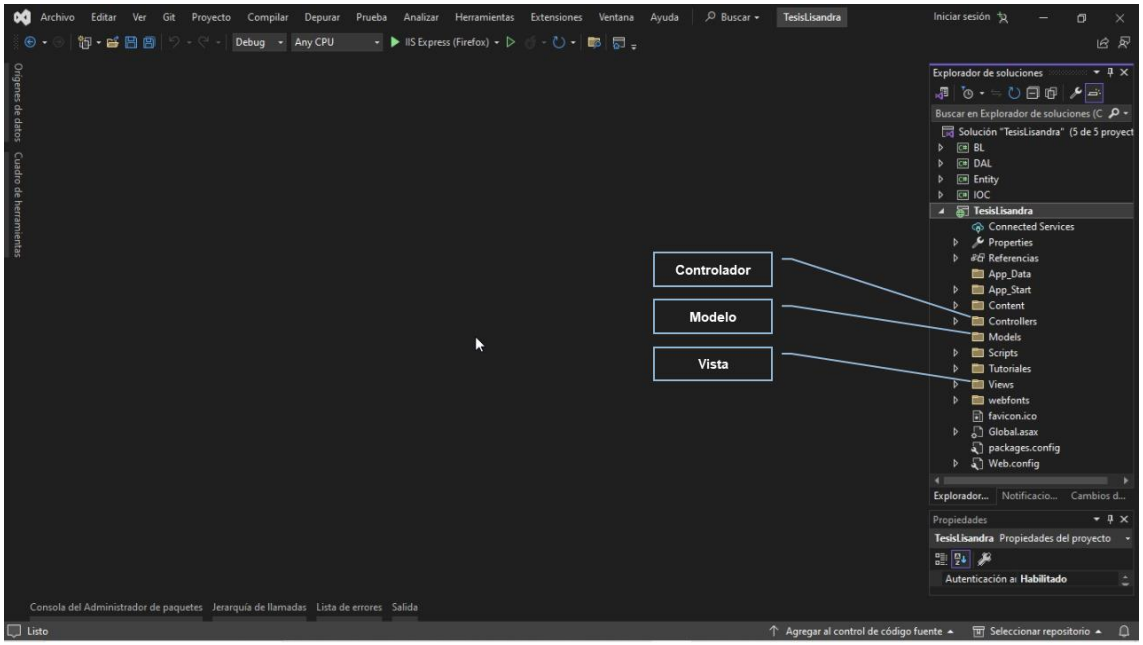


Figura 28. Patrón MVC de la aplicación. Fuente: Elaboración propia.

Debido a que la aplicación está en proceso de ser patentada, los detalles específicos sobre el código de esta se facilitarán a petición y con compromiso de confidencialidad.

6.4. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario de la aplicación está diseñada para ser intuitiva y fácil de navegar, presentando un menú principal con dos opciones que facilitan la interacción y el acceso a las funcionalidades principales:

1. **Curvas de fragilidad:** Esta opción permite a los usuarios evaluar las curvas de fragilidad. Al seleccionar esta opción, los usuarios pueden filtrar y analizar diferentes curvas de fragilidad disponibles en la base de datos de la aplicación, ver *Figura 29*.

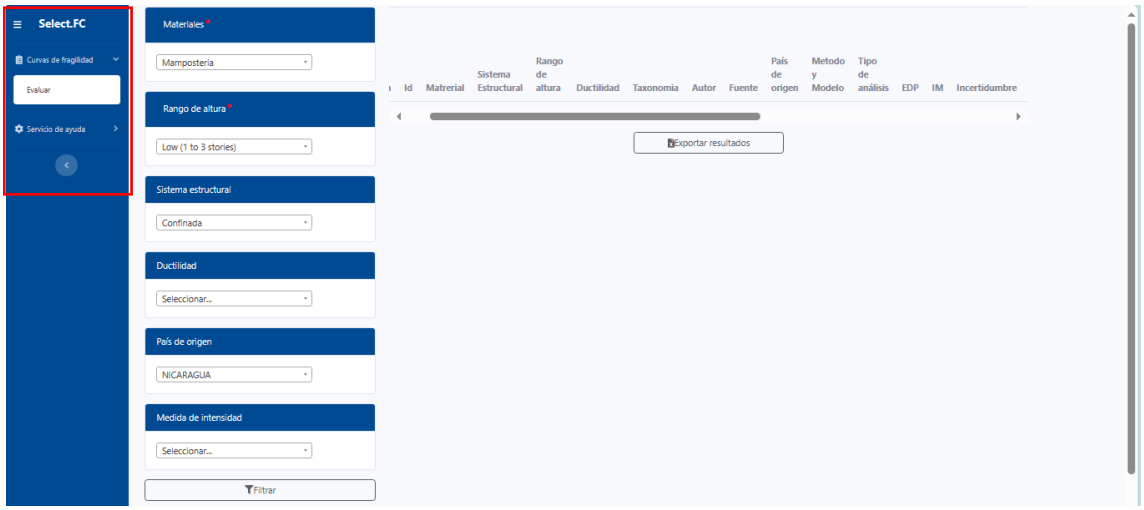


Figura 29. Menú principal. Fuente: Elaboración propia.

2. **Servicio de ayuda:** Esta opción proporciona recursos de ayuda para los usuarios. Incluye dos subsecciones:

   a. **Manual de usuario:** Aquí los usuarios pueden acceder al manual de usuario de la aplicación. Tienen la opción de leerlo directamente dentro de la aplicación o descargarlo como un archivo PDF para consultas fuera de línea, ver *Figura 30*.

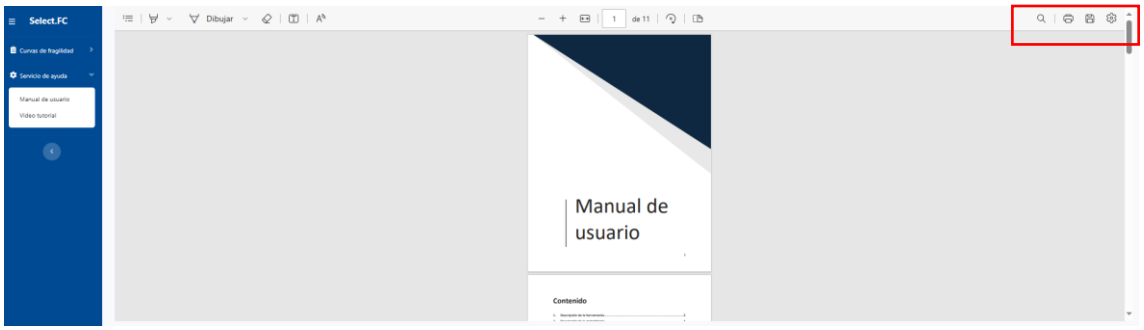


Figura 30. Manual de usuario de la aplicación. Fuente: Elaboración propia

b. **Video tutorial:** Esta sección ofrece un video tutorial explicativo sobre cómo evaluar las curvas de fragilidad dentro de la aplicación. Los usuarios pueden visualizar este video para obtener una guía paso a paso sobre el proceso de evaluación, ver *Figura 31*.

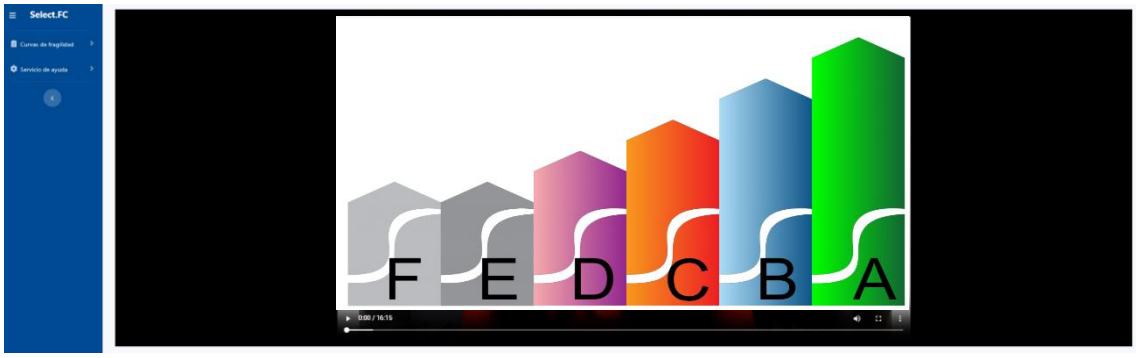


Figura 31. Pantalla de video tutorial. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 7. MANUAL DE USUARIO

7.1. Estructura y contenido del manual de usuario

El manual de usuario ha sido diseñado para proporcionar una guía detallada sobre el uso de la aplicación. Este manual está dividido en cuatro secciones principales:

1. **Descripción de la aplicación:**

En esta sección, se proporciona una visión general de la aplicación, incluyendo:

- Diseño y objetivo de la aplicación: Se describe la arquitectura general de la aplicación, su propósito y sus características principales.
- Usuarios y beneficios: Se especifican los usuarios potenciales de la aplicación y se destacan los beneficios de su utilización.
- Base de datos implementada: Se ofrece una descripción del contenido de la base de datos utilizada por la aplicación.
- Objetivos del manual: Se especifican los objetivos del manual de usuario y se detalla la información proporcionada en cada sección.
- Recursos adicionales: Incluye documentación técnica complementaria y los contactos pertinentes para más información.

2. **Metodología Select.FC:**

Se describe y explica en detalle la metodología Select.FC desarrollada por el GIIS, destacando los principios fundamentales, los pasos involucrados y las consideraciones importantes para su aplicación en el contexto de este trabajo. Esta sección proporciona una base teórica sólida para comprender el funcionamiento de la aplicación.

3. **Glosario:**

En el glosario, se presentan definiciones detalladas de las principales variables, subdimensiones y dimensiones incluidas en el índice utilizado en la aplicación. Esto permite a los usuarios familiarizarse con los términos técnicos utilizados en la aplicación y comprender su significado en el contexto de la evaluación y selección de curvas de fragilidad.

4. **Guía de usuario paso a paso:**

En esta sección, se proporciona una guía detallada sobre cómo utilizar la aplicación paso a paso. Se incluyen capturas de pantalla ilustrativas que guían al usuario a través de cada etapa del proceso, desde el inicio del proceso hasta la interpretación de los resultados. Esta guía facilita el uso efectivo de la aplicación, asegurando que los usuarios puedan aprovechar al máximo sus funcionalidades.

7.2. Instrucciones detalladas para el uso de la aplicación

En este apartado se presentan las instrucciones detalladas paso a paso para utilizar la aplicación, las cuales han sido incluidas en el manual de usuario. Esta guía está diseñada para orientar al usuario en la realización de la evaluación de las curvas de fragilidad. Cada paso se acompaña de capturas de pantalla que ilustran visualmente el proceso.

1. **Inicio del proceso:**

– Para comenzar con la evaluación de las curvas de fragilidad, se debe seleccionar la opción "Evaluar curvas de fragilidad" del menú de opciones disponible en la aplicación web, ver *Figura 32*.

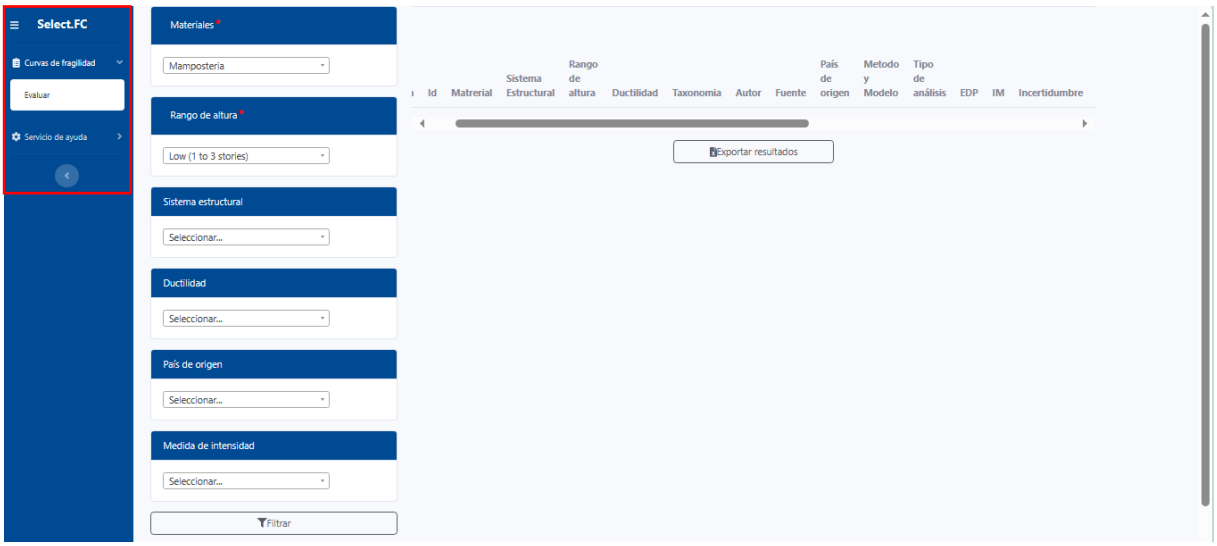


Figura 32. Pantalla para evaluar curvas de fragilidad. Fuente: Elaboración propia.

2. **Filtrado de curvas de fragilidad:**

– En la pantalla, se presentarán seis filtros para realizar la búsqueda de curvas de fragilidad en la base de datos, ver *Figura 33*. Estos filtros incluyen dos que son obligatorios, "Materiales" y "Rango de altura". Por ello, muestran una opción por defecto. Sin embargo, el usuario puede ajustar estas selecciones según sus necesidades.
– Los filtros restantes, "Sistema estructural", "Ductilidad", "País de origen" y "Medida de intensidad", son opcionales y pueden ser seleccionados según la preferencia del usuario.

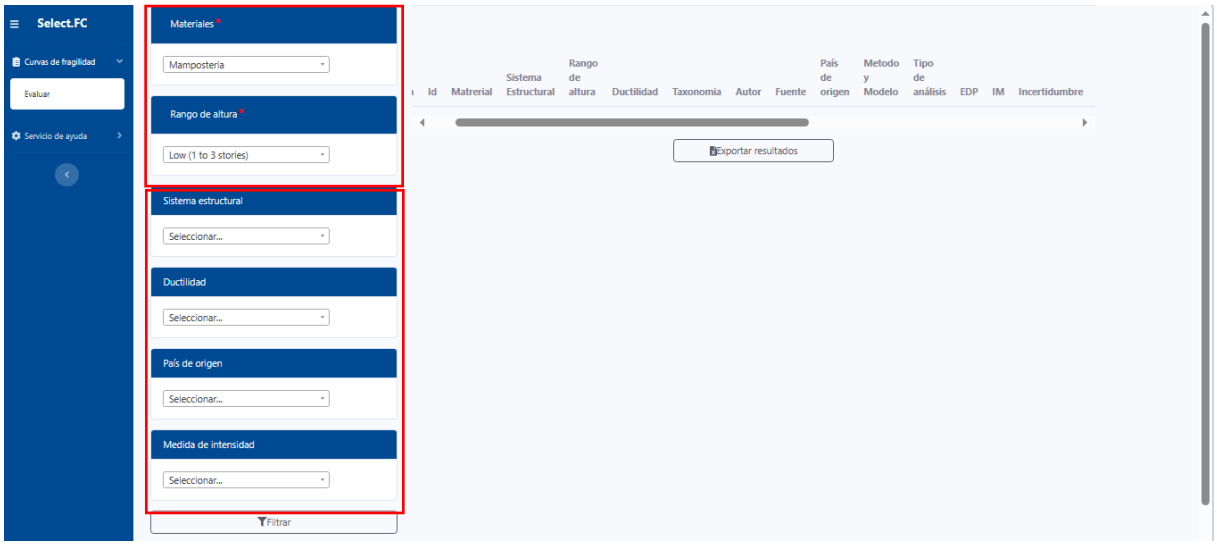


Figura 33. Pantalla filtros. Fuente: Elaboración propia.

3. Aplicación de filtros:

– Después de ajustar los filtros, se debe hacer clic en el botón "Aplicar filtro" para ver los resultados correspondientes a dicha selección, ver *Figura 34*. Es importante tener en cuenta que solo se mostrará la información con la última fecha de versión disponible en la base de datos de la aplicación.

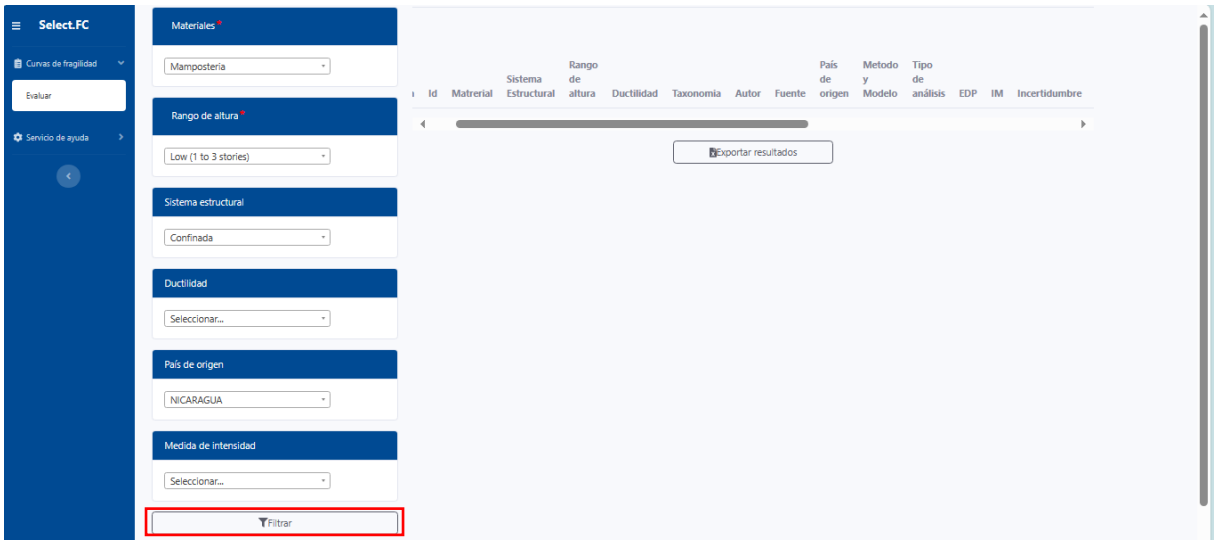


Figura 34. Pantalla filtrar. Fuente: Elaboración propia.

4. Inicio de evaluación:

– En la pantalla, se mostrarán todos los resultados que correspondan a la selección que el usuario realizó previamente, ver figura *Figura 35.*
– Para iniciar el proceso de evaluación, se debe hacer clic en el botón verde con el símbolo "+" para cada una de las curvas sucesivamente.

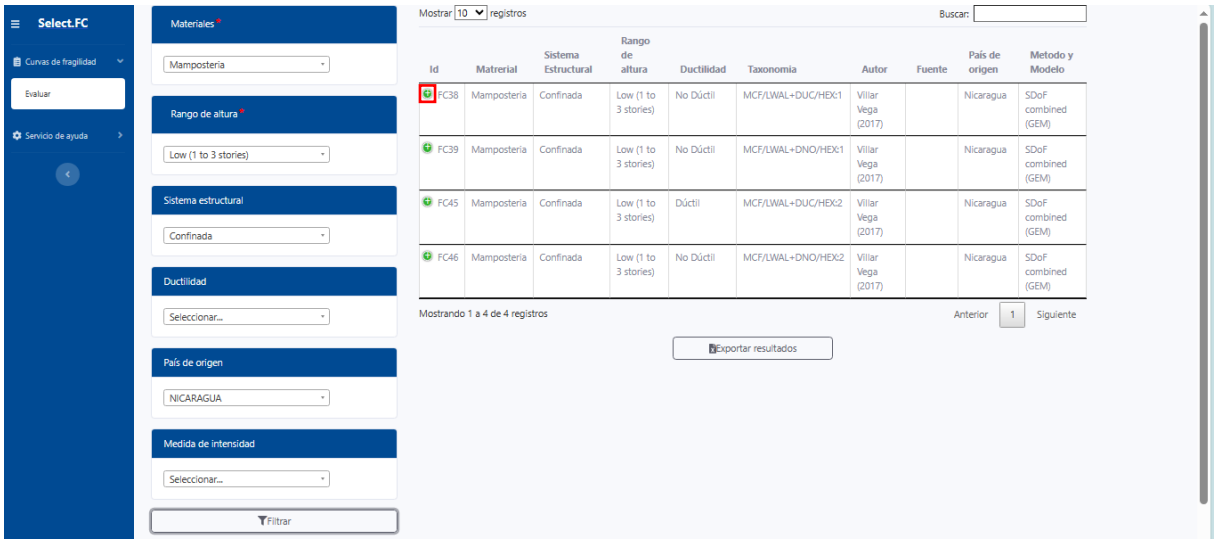


Figura 35. Pantalla de curvas de fragilidad. Fuente: Elaboración propia.

5. Calificación de curvas:

– Se debe seleccionar el botón azul con el símbolo de lápiz para evaluar la curva seleccionada, ver *Figura 36*.

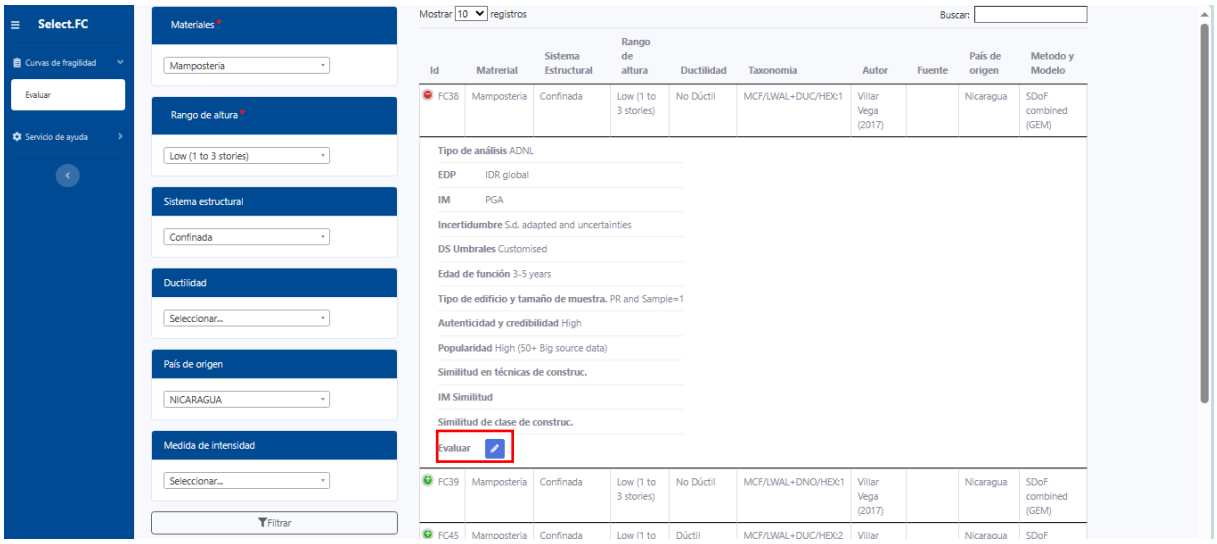


Figura 36. Pantalla evaluar. Fuente: Elaboración propia.

– En la pantalla, se encontrará información sobre los parámetros incluidos en el Índice de Adecuación Técnica de la curva, ya que estos son inherentes a la propia curva y, por tanto, no dependen del estudio de riesgo sísmico concreto para el que se quiera emplear. Asimismo, aparecen tres campos adicionales que se refieren al subíndice de Adecuación al sistema local y al coeficiente reductor denominado Similitud entre tipologías constructivas: "Similitud entre Técnicas de Construcción", "Similitud entre Medidas de Intensidad" y "Similitud entre tipologías constructivas Clase de Construcción". Se debe seleccioar las opciones que mejor se ajusten al estudio y hacer clic en "Guardar", ver *Figura 37*.

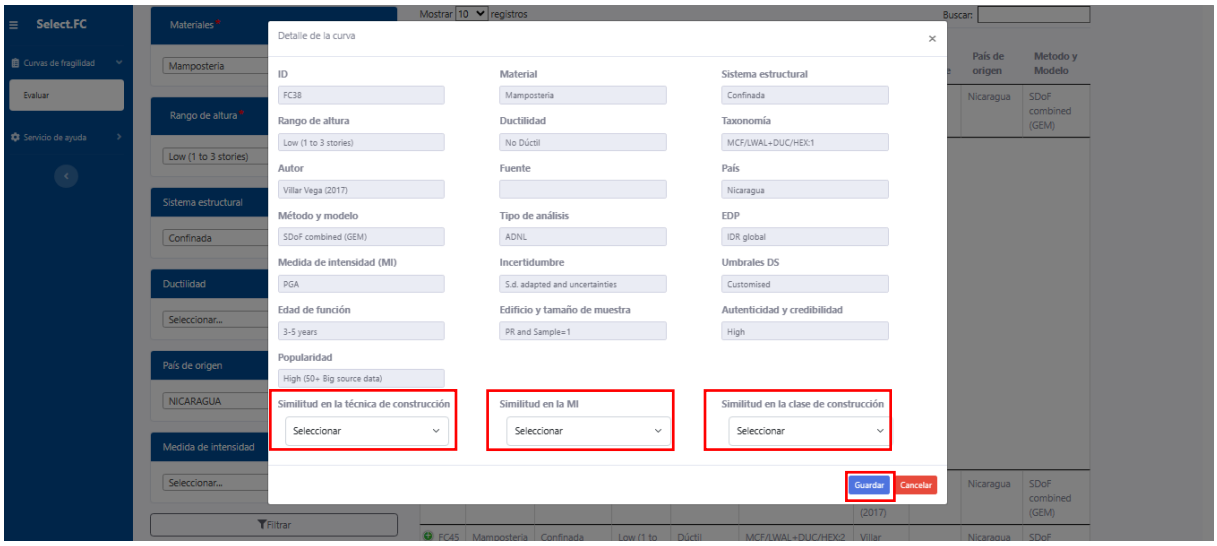


Figura 37. Pantalla guardar evaluación. Fuente: Elaboración propia

6. Gestión de curvas evaluadas:

Se recomienda minimizar la información de la curva después de guardar la evaluación. Para hacerlo, se debe hacer clic en el botón rojo con el símbolo "-", ver *Figura 38*.

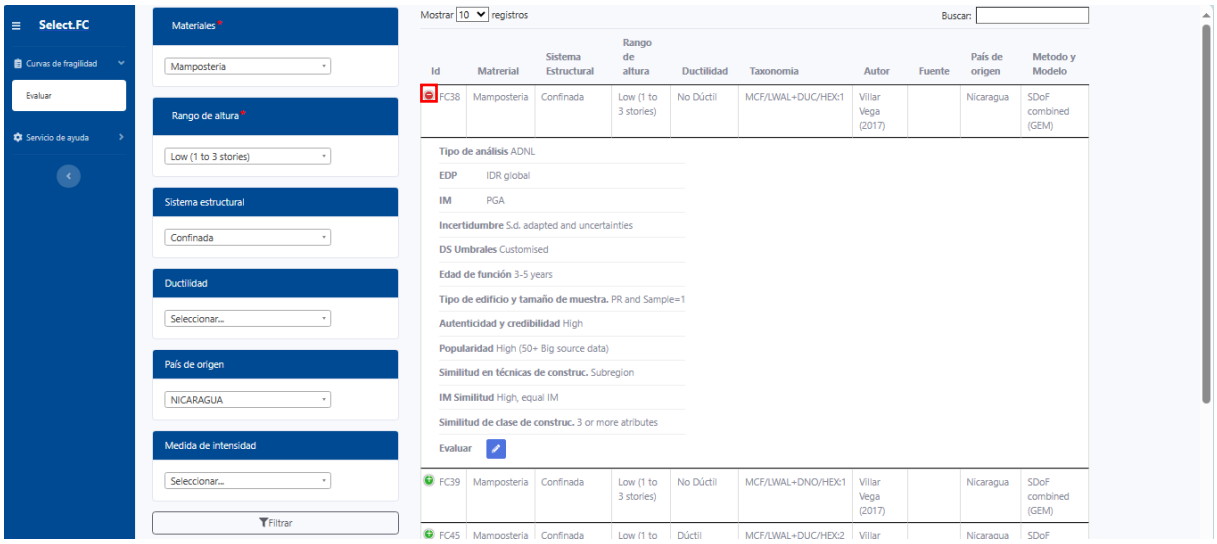


Figura 38. Pantalla minimizar información. Fuente: Elaboración propia.

7. Repetición del proceso:

– Se deben repetir los pasos del 4 al 6 para evaluar todas las curvas presentadas en pantalla.

8. Exportación de resultados:

– Una vez completada la evaluación de todas las curvas, se debe hacer clic en el botón "Exportar resultados" para obtener los resultados, ver *Figura 39*.

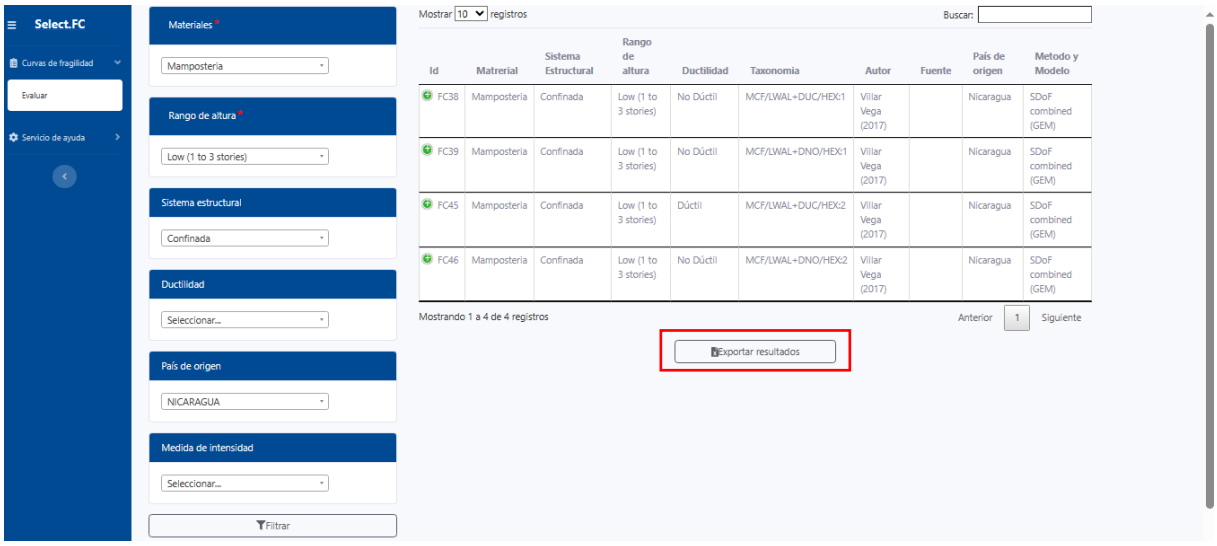


Figura 39. Pantalla exportar resultados. Fuente: Elaboración propia.

- Este comando descargará un archivo Excel con el nombre "Evaluación curvas de fragilidad". Se mostrará un mensaje en pantalla indicando que la exportación ha sido exitosa, ver *Figura 40*.

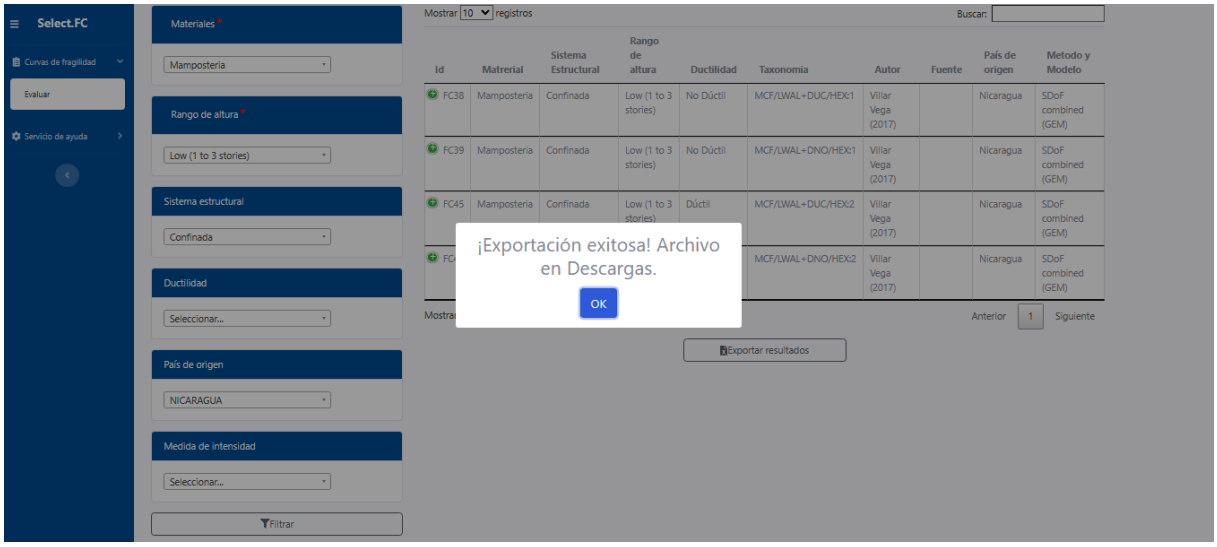
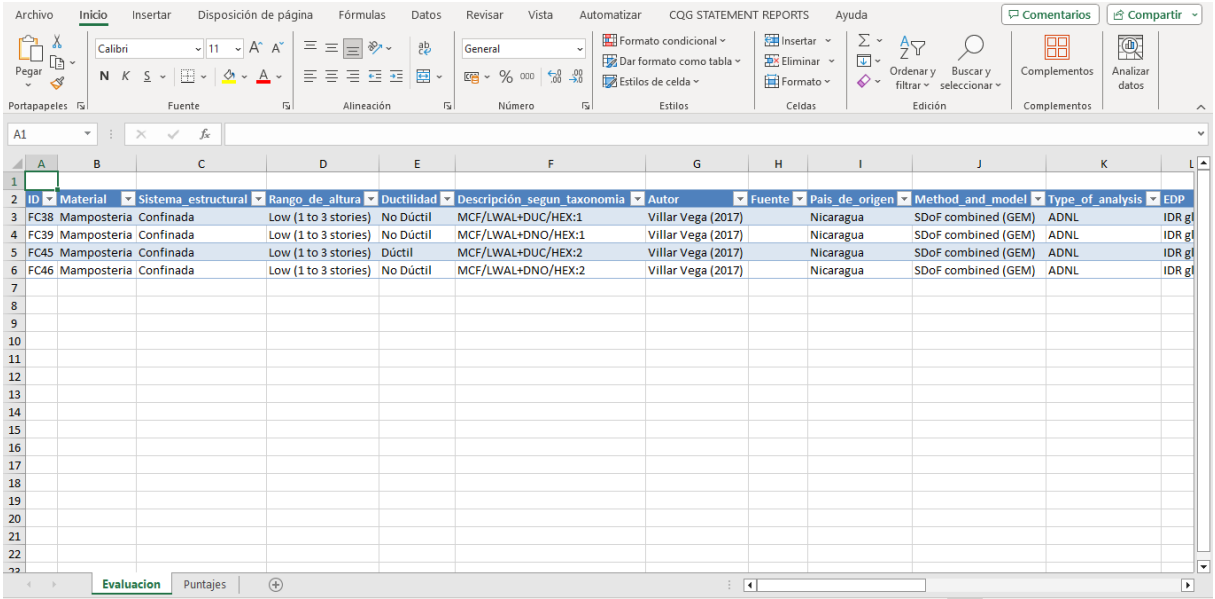


Figura 40. Mensaje en pantalla. Fuente: Elaboración propia.

9. Revisión de resultados:

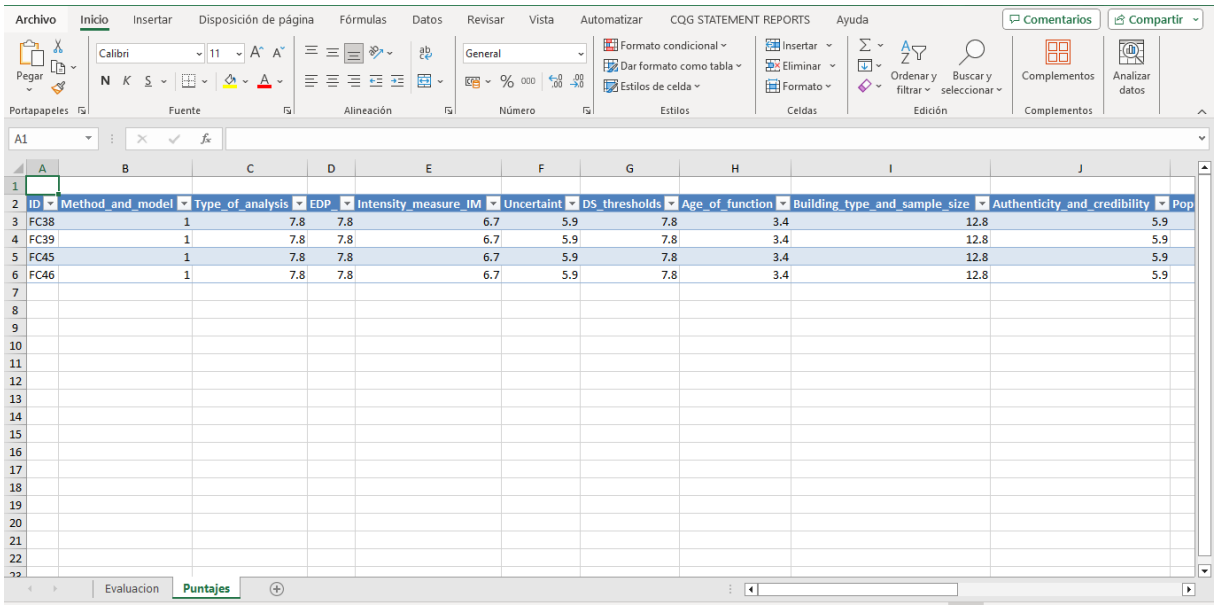
- Se debe buscar el archivo en las descargas de su ordenador y ábralo.
- El archivo contiene dos hojas: "Evaluación" y "Puntajes".
- En la hoja "Evaluación", se encontrará información sobre todas las variables involucradas en la metodología de evaluación empleada para cada una de las curvas de fragilidad, las cuales están definidas en el glosario del manual, ver *Figura 41*.



ID	Material	Sistema_estructural	Rango_de_altura	Ductilidad	Descripción_segun_taxonomia	Autor	Fuente	Pais_de_origen	Method_and_model	Type_of_analysis	EDP
FC38	Mamposteria	Confinada	Low (1 to 3 stories)	No Dúctil	MCF/LWAL+DUC/HEX:1	Villar Vega (2017)		Nicaragua	SDoF combined (GEM)	ADNL	IDR gl
FC39	Mamposteria	Confinada	Low (1 to 3 stories)	No Dúctil	MCF/LWAL+DNO/HEX:1	Villar Vega (2017)		Nicaragua	SDoF combined (GEM)	ADNL	IDR gl
FC45	Mamposteria	Confinada	Low (1 to 3 stories)	Dúctil	MCF/LWAL+DUC/HEX:2	Villar Vega (2017)		Nicaragua	SDoF combined (GEM)	ADNL	IDR gl
FC46	Mamposteria	Confinada	Low (1 to 3 stories)	No Dúctil	MCF/LWAL+DNO/HEX:2	Villar Vega (2017)		Nicaragua	SDoF combined (GEM)	ADNL	IDR gl

Figura 41. Hoja "Evaluación". Fuente: Elaboración propia.

– En la hoja "Puntajes", se proporcionan los puntajes correspondientes a cada una de estas variables, así como los puntajes finales y las clasificaciones, los cuales también están definidos en el glosario, ver *Figura 42*.



ID	Method_and_model	Type_of_analysis	EDP	Intensity_measure_IM	Uncertaint	DS_thresholds	Age_of_function	Building_type_and_sample_size	Authenticity_and_credibility	Pop
FC38	1	7.8	7.8	6.7	5.9	7.8	3.4	12.8	5.9	
FC39	1	7.8	7.8	6.7	5.9	7.8	3.4	12.8	5.9	
FC45	1	7.8	7.8	6.7	5.9	7.8	3.4	12.8	5.9	
FC46	1	7.8	7.8	6.7	5.9	7.8	3.4	12.8	5.9	

Figura 42. Puntajes. Fuente: Elaboración propia.

10. Selección de la curva de fragilidad más adecuada:

– Para seleccionar las curvas que mejor se adecuen a su estudio de riesgo sísmico, se deben utilizar los resultados de los puntajes finales y las clasificaciones. Esto implica analizar los resultados de las dos últimas columnas de la hoja "puntajes", correspondientes al "final index" y a la "clase". Estos resultados se destacan en amarillo en la *Figura 43*.

ID	Tipología evaluada	Autor	Descripción según taxonomía GEM	Building class similarity	Similarity in Construction techniques	IM similarity	Method and model	[...]	CAPACITY	FRAGILITY	QUALITY	TECHNICAL	LOCAL SYSTEM	GLOBAL INDEX	FINAL INDEX	CLASS
CF1	Mampostería integral 1 piso (ductil)	E. Calderón (2018) based on Hidalgo (2017)	MCR+CBH/LWAL+DUC/HEX:1/IRRE/FN	1.00	20	5	12	[...]	22	24	22	68	25	93.0	**93.0**	**A**
CF2	Mampostería integral 1 piso (ductil)	Calderón and Silva (2019)	MR/LWAL+DUC/HEX:1 and MCF/LWAL+DUC/HEX:1	0.85	20	5	6	[...]	16	17	23	56	25	81.0	**68.9**	**B**
CF3	Mampostería integral 1 piso (ductil)	Calderón and Silva (2019)	MR/LWAL+DUC/HEX:2 and MCF/LWAL+DUC/HEX:2	0.70	20	5	6	[...]	16	17	23	56	25	81.0	**56.7**	**C**
CF4	Mampostería integral 1 piso (ductil)	Calderón and Silva (2019)	MR/LWAL+DNO/HEX:1 and MCF/LWAL+DNO/HEX:1	0.70	20	5	6	[...]	16	17	23	56	25	81.0	**56.7**	**C**
CF5	Mampostería integral 1 piso (ductil)	Villar Vega (2017)	MCF/LWAL+DUC/HEX:1	0.85	10	5	3	[...]	13	20	21	54	15	69.0	**58.7**	**C**
CF6	Mampostería integral 1 piso (ductil)	Villar Vega (2017)	MCF/LWAL+DNO/HEX:1	0.70	10	5	3	[...]	13	20	21	54	15	69.0	**48.3**	**D**
DATA				**VARIABLES**					**RESULTS**						**CLASS**	

Figura 43. Selección final. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

Este TFM ha concluido exitosamente con el desarrollo de una aplicación web que implementa la metodología Select.FC para la evaluación y clasificación de curvas de fragilidad, dirigida a investigadores y profesionales del ámbito del riesgo sísmico. Este proyecto cumplió de manera integral con sus objetivos al proporcionar una herramienta para evaluar la idoneidad de las curvas de fragilidad en diferentes contextos geográficos y diferentes tipologías estructurales. En la *Tabla 11* se detalla cómo se han alcanzado estos objetivos mediante el cumplimiento de los requisitos funcionales establecidos desde la fase de definición del proyecto.

Tabla 11. Cumplimiento de los requisitos funcionales. Fuente: Elaboración propia.

Id requisito	Cumplimiento (Sí/No)	Descripción del cumplimiento
REQ-01	Sí	Se diseñó un flujo de proceso optimizado para asegurar una evaluación rápida y directa, minimizando la cantidad de pasos y evitando complejidades innecesarias.
REQ-02	Sí	La interfaz permite una interacción intuitiva, con descripciones emergentes que ofrecen información contextual al usuario al colocar el cursor sobre elementos específicos, mejorando así la experiencia de uso sin interrumpir la navegación.
REQ-03	Sí	La aplicación se conecta eficientemente a una base de datos en SQL Server 2019 para almacenamiento y gestión de datos.
REQ-04	Sí	Gracias a Bootstrap, la aplicación se adapta automáticamente a diversos dispositivos y tamaños de pantalla, asegurando accesibilidad desde cualquier navegador web moderno.
REQ-05	Sí	Se crearon seis tablas en la base de datos para cada criterio de filtrado, permitiendo a los usuarios aplicar hasta seis filtros diferentes para consultar y evaluar curvas de fragilidad según sus necesidades específicas.
REQ-06	Sí	Utiliza la metodología Select.FC para la evaluación y clasificación de curvas de fragilidad, facilitando la selección adecuada según las características específicas de cada región.
REQ-07	Sí	Se incorporó un campo de búsqueda que permite a los usuarios encontrar rápidamente información específica mediante palabras clave.
REQ-08	Sí	Algoritmos automatizados calculan con precisión y rapidez los puntajes de las curvas de fragilidad, asegurando resultados confiables sin intervención manual.

REQ-09	Sí	Las curvas se clasifican automáticamente según los resultados de las evaluaciones, siguiendo la metodología establecida por Select.FC para garantizar precisión y eliminar errores humanos en la categorización.
REQ-10	Sí	Permite la descarga de un archivo Excel con información técnica detallada y puntajes específicos de cada variable, facilitando el análisis posterior y presentación de resultados de manera estructurada.
REQ-11	Sí	Acceso directo al manual de usuario dentro de la aplicación para guiar a los usuarios en el uso completo y autónomo de todas las funcionalidades.
REQ-12	Sí	Ofrece un manual de usuario completo y descargable con instrucciones claras y paso a paso sobre cómo utilizar todas las funcionalidades de la aplicación, asegurando una experiencia de usuario autónoma y efectiva.
REQ-13	Sí	Se creó un tutorial en video accesible desde la aplicación, proporcionando una guía visual clara para realizar el proceso de evaluación de curvas de fragilidad.

Es importante aclarar que la aplicación es una herramienta que facilita la selección de curvas. Sin embargo, el correcto empleo y la verificación de los datos son responsabilidad del usuario.

Por otro lado, para mejorar y expandir la funcionalidad de la aplicación, se proponen las siguientes líneas de trabajo futuras:

1. **Evaluación de curvas de fragilidad propias:** Implementar una funcionalidad que permita a los usuarios evaluar sus propias curvas de fragilidad dentro de la aplicación, es decir, nuevas curvas que no están presentes en la base de datos existente. Esto permitirá a los usuarios una mayor flexibilidad y personalización en sus análisis.
2. **Ampliación de la base de datos por los usuarios:** Permitir a los usuarios alimentar la base de datos con información sobre nuevas curvas de fragilidad que no estén contempladas actualmente. Los usuarios podrán añadir datos como material, sistema estructural, rango de altura, ductilidad, descripción según taxonomía, autor, fuente, país de origen y año.
3. **Graficar las curvas de fragilidad:** Desarrollar capacidades gráficas dentro de la aplicación para visualizar las curvas de fragilidad evaluadas. Esto facilitará la interpretación y comparación de los resultados.
4. **Visualización de resultados:** Mejorar la interfaz para que los usuarios puedan no solo descargar los resultados en un archivo Excel, sino también visualizar los resultados directamente dentro de la aplicación.
5. **Integración con otros sistemas y herramientas:** Explorar la posibilidad de integrar la aplicación con otras herramientas y sistemas utilizados en la evaluación y gestión del riesgo sísmico, para crear un ecosistema más interconectado y eficiente.

CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA

Andrews, R. G. (2023, septiembre 12). Terremoto en Marruecos: ¿Por qué fue tan devastador? National Geographic. https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2023/09/terremoto-marruecos-por-que-tan-devastador

Amazon Web Services. (s.f.). ¿Qué es una aplicación web? Recuperado de https://aws.amazon.com/es/what-is/web-application/

ATC-29-1 (1998). Proceedings of seminar on seismic design, retrofit, and performance of nonstructural components. Applied Technology Council, Redwood City, California.

Barbat, H., Oller, S., & Vielma, J. C. (2005). Cálculo y diseño sismorresistente de edificios: Aplicación de la norma NCSE-02 (Monografía CIMNE IS56). Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Barcelona, España.

Bonet, R. (2003). Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. [Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña].

Bosch, J. (s.f.). Curso de HTML. Recuperado de https://www.uv.es/jbosch/PDF/Curso%20de%20HTML.pdf

Caicedo, C., Barbat, A.H., & Canas, J.A. (1994). Vulnerabilidad sísmica de edificios. Monografía IS-6. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), Barcelona.

Calvi, G., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J., Restrepo, L., & Crowley, H. (2006). Development of Seismic Vulnerability Assessment Methodologies over the Past 30 Years. ISET Journal of Earthquake Technology, 43(3), 75-104. DOI: 10.1007/BF02914314.

Cardona, O.D. (1999). Vulnerabilidad sísmica de hospitales - Fundamentos para ingenieros y arquitectos. Monografías de Ingeniería Sísmica, CIMNE IS-32. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona.

Cardona, O., Ordaz, M., Arámbula, S., Yamin, L., Mahul, O., Ghesquiere, F., & Marulanda, M. (2008). Modelación de pérdidas por terremoto con fines de protección financiera. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/268395550_MODELACION_DE_PERDIDAS_POR_TERREMOTO_CON_FINES_DE_PROTECCION_FINANCIERA

Coburn, A., & Spence, R. (2002). Earthquake Risk Modelling. In A. Coburn & R. Spence (Eds.), Earthquake Protection (2nd ed., pp. 311-352). John Wiley & Sons.

Corsanego, A., & Petrini, V. (1990). Seismic vulnerability of buildings. In Proceedings of the SEISMED 3. Trieste, Italia.

Dolce, M., Kappos, A., Zuccaro, G., & Coburn, A. (1994). Report of the EAEE working group 3: vulnerability and risk analysis. Technical Report, 10th European Conference on

Earthquake Engineering. Vienna, 4, 3049–3077.

EC-SERGISAI (1998). SEismic Risk evaluation through integrated use of Geographical Information Systems and Artificial Intelligence techniques. Final Report. EC-Project SERGISAI. Contract Number ENV4-CT96-0279. European Commision. Directorade General XII for Science, Research and Development.

Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2001). Hazus-MH 2.1: Technical Manual. Washington, DC: FEMA.

GeeksforGeeks. (2023). Types of databases. Recuperado de https://www.geeksforgeeks.org/types-of-databases/

GeeksforGeeks. (2024). What is Scrumban? Recuperado de https://www.geeksforgeeks.org/what-is-scrumban/

González-Rodrigo, B., Navas-Sánchez, L., Rejas-Ayuga, J. G., Hernández-Rubio, O., & Benito, M. B. (2024). Preliminary Geospatial and In Situ Reconnaissance of the 8 September 2023 Moroccan Atlas Earthquake Damage. *Buildings, 14*, 693. https://doi.org/10.3390/buildings14030693

Herrera, G.R., Vielma, J.C., Barbat, A.H., & Pujades, L. (2013). Estado del conocimiento sobre metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificios. Revista Ingeniería y Sociedad, 8(1), 7-8. http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/index1.htm

Intelivita. (2023). Types of web applications. Recuperado de https://www.intelivita.com/blog/types-of-web-applications/#:~:text=A%20web%20application%20is%20a,(like%20PHP%20or%20ASP).

Maio, R., & Tsionis, G. (2016). Seismic fragility curves for the European building stock: Review and evaluation of analytical fragility curves. Ispra, Italy. DOI: 10.2788/586263.

Microsoft. (n.d.). Access SQL: Conceptos básicos, vocabulario y sintaxis. Recuperado de https://support.microsoft.com/es-es/topic/access-sql-conceptos-b%C3%A1sicos-vocabulario-y-sintaxis-444d0303-cde1-424e-9a74-e8dc3e460671

Microsoft. (2023). .NET Framework: Información general. Recuperado de https://learn.microsoft.com/es-es/dotnet/framework/get-started/overview

Microsoft. (2023). What is Visual Studio. Recuperado de https://learn.microsoft.com/en-us/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2022

Miranda, E. (1999). Approximate Seismic Lateral Deformation Demands in Multistory Buildings. Journal of Structural Engineering, 125(4), 417-425.

Navas-Sánchez, L., Jiménez-Martínez, M., González-Rodrigo, B., Hernández-Rubio, O., Dávila-Migoya, L. D., Orta-Rial, B., & Hidalgo-Leiva, D. (2023). A methodology to assess and select seismic fragility curves: Application to the case of Costa Rica. Earthquake Spectra, 39(3), 1380-1409.

OPS. (1993). Mitigación de desastres en las instalaciones de salud. Evaluación y reducción de la vulnerabilidad física y funcional (cuatro volúmenes). Organización Panamericana de la Salud. Washington, D.C.

Oracle. (2020). What is a database? Recuperado de https://www.oracle.com/database/what-is-database/

Quirós, L.E. (2017). Modelizaciones y análisis de sensibilidad en la evaluación integral del riesgo sísmico a escala urbana. Aplicación a la ciudad de Lorca. [Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid].

Rossetto, T., D'Ayala, D., & Meslem, A. (2014). Evaluation of existing fragility curves. In K. Pitilakis, H. Crowley, & A. Kaynia (Eds.), SYNER-G: Typology Definition and Fragility Functions for Physical Elements at Seismic Risk (pp. 47–93). Dordrecht: Springer. DOI: 10.1007/978-94-007-7872-6_3.

Safina, S. (2002). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico. [Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona].

Saint Leo University. (2024). ¿Cuáles son las diferencias entre sitio web y aplicación web? Recuperado de https://worldcampus.saintleo.edu/noticias/cuales-son-las-diferencias-entre-sitio-web-y-aplicacion-web#:~:text=El%20contenido%20de%20un%20sitio,a%20los%20usuarios%20manipular%20datos.

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). La Guía Definitiva de Scrum: Las Reglas del Juego. Creative Commons. Obtenido de https://scrumguides.org/download.html

Stone, H., Gunasekera, R., & Ishizawa, O. (2017). On the use of existing seismic fragility and vulnerability. In Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering-WCEE, Santiago de Chile, 2017, pp. 9–13. Available at: https://www.wcee.nicee.org/wcee/article/16WCEE/WCEE2017-2092.pdf.

UNDRO (1979). Natural Disasters and Vulnerability Analysis, Report of Experts Group Meeting, Geneva.

Vicente, R., Parodi, S., Lagomarsino, S., Varum, H., & Mendes, J. (2011). Seismic vulnerability and risk assessment: case study of the historic city centre of Coimbra, Portugal. Bulletin of Earth quake Engineering, 9, 1067-1096.

W3Schools. (n.d.). HTML Introduction. Recuperado de https://www.w3schools.com/html/html_intro.asp

Wexsus - West Sweden Nexus for Sustainable Development. (2024). SDG Impact Assesment Tool. Obtenido de https://sdgimpactassessmenttool.org/

Yépez, F. (1996). Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de estructuras aplicando técnicas de simulación. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, UPC, Barcelona, España].

CAPÍTULO 10. GLOSARIO

En este capítulo se presenta el glosario incluido en el manual de usuario, el cual contiene las definiciones de las dimensiones, subdimensiones y variables de la metodología Select.FC mencionadas en la *Tabla 1*.

Índice de adecuación técnica: Este índice evalúa la idoneidad técnica de las curvas de fragilidad en relación con la zona de estudio.

- **Curva de capacidad:** Este subdimensión engloba un conjunto de variables que describen las características de la curva de capacidad utilizada para derivar la curva de fragilidad que está siendo evaluada. Las curvas de capacidad relacionan la demanda sísmica parametrizada con la respuesta del sistema.
    - **Tipos de análisis:** Hace referencia a los enfoques utilizados para evaluar la respuesta sísmica de una estructura. Involucran el modelado del comportamiento de las estructuras ante eventos sísmicos, permitiendo comprender cómo se comportarán y responderán ante situaciones de sismo. Se consideran las siguientes opciones: Análisis dinámico no lineal; Análisis dinámico no lineal; Análisis simple…
        - **Análisis dinámico no lineal:** Es un método que permite evaluar la respuesta de una estructura frente a cargas sísmicas a lo largo del tiempo. Este enfoque considera la posible no linealidad tanto en los materiales como en la configuración de la estructura.
        - **Análisis estático no lineal:** Comúnmente conocido como "Pushover", es un método de evaluación que aplica cargas estáticas incrementales a una estructura para estudiar su respuesta frente a cargas sísmicas. A diferencia del análisis dinámico no lineal, en el análisis estático no lineal, se calculan los valores máximos de cualquier respuesta de la edificación, en lugar de considerar su historia a lo largo del tiempo.
        - **Análisis simple:** Se refiere a técnicas de análisis simplificadas que se utilizan para obtener estimaciones de la respuesta estructural ante ciertas cargas. Estas técnicas ofrecen una visión general del comportamiento estructural sin la necesidad de realizar cálculos complejos.
    - **Parámetro de demanda de ingeniería:** Medida utilizada para cuantificar la demanda sísmica a la que una estructura puede estar expuesta durante un evento sísmico.
        - **Relación de desplazamiento entre pisos:** Relación entre los desplazamientos relativos de dos pisos adyacentes en una estructura.

        - **Desplazamiento global entre pisos:** Es el desplazamiento relativo máximo que se produce entre todos los pisos de una estructura durante un evento sísmico.
        - **Desplazamiento máximo:** Es el mayor desplazamiento que experimenta una estructura durante un evento sísmico.
        - **Desplazamiento de cubierta:** Es el movimiento experimentado por la parte superior o cubierta de un edificio o estructura durante un evento sísmico.
    - **Método y modelo:** Variable referida a los métodos y modelos empleados en el análisis estructural realizado para definir la respuesta sísmica de una estructura o tipología estructural.
        - **Experimental 3D:** Método que consiste en realizar una prueba física en la que una estructura analizada es sometida a cargas sísmicas en para evaluar su comportamiento.
        - **Experimental 2D:** Método en el que se realiza una prueba física en la que una estructura es simplificada a dos dimensiones para el análisis de su comportamiento. Por ejemplo, pórticos planos o muros aislados
        - **Analítico 3D:** Método en el que la evaluación de la respuesta sísmica de una estructura se realiza utilizando modelos matemáticos tridimensionales.
        - **Analítico 2D:** Método en el que la evaluación de la respuesta sísmica de una estructura se realiza utilizando modelos matemáticos bidimensionales.
        - **Grado de libertad único combinado:** Se trata de un modelo simplificado utilizado en el análisis sísmico, el cual combina múltiples modos de vibración en un solo modo para simplificar el análisis.
        - **Grado de libertad único:** Es un modelo simplificado que considera solo un modo de vibración, el más relevante, en el análisis sísmico, simplificando aún más la evaluación de la respuesta sísmica de una estructura.
- **Curva de fragilidad:** Esta subdimensión incluye un conjunto de variables que capturan características propias que se consideran relevantes de la curva de fragilidad evaluada. Una curva de fragilidad es una función que describe la probabilidad de daño de una estructura en función de la demanda sísmica.
    - **Medida de intensidad:** Una medida que cuantifica la intensidad del movimiento sísmico.

        - **Aceleración espectral:** La máxima aceleración registrada en la respuesta de una estructura durante un evento sísmico tras realizar una conversión a un sistema equivalente de un solo grado de libertad.
        - **Desplazamiento espectral:** El desplazamiento máximo registrado en la respuesta de una estructura durante un evento sísmico tras realizar una conversión a un sistema equivalente de un solo grado de libertad.
        - **Desplazamiento máximo del terreno (PGA):** La máxima amplitud de movimiento registrada en la superficie del suelo durante un terremoto.
        - **Medidas de intensidad discreta (MMI, EMS-98):** Una medida modificada de la intensidad sísmica basada en la escala de Mercalli.
    - **Umbrales de estado de daño:** Los niveles de daño aceptables que una estructura puede experimentar sin comprometer su integridad durante un terremoto.
        - **Personalizado:** Umbrales de daño daptados o ajustados específicamente a las necesidades o características de una estructura.
        - **Predefinido:** Umbrales de daño establecidos de antemano o predeterminado sin ajustes adicionales.
    - **Fuentes de incertidumbre consideradas:** Esta variable hace referencia a la cantidad de fuentes de incertidumbre generalmente asociadas con el desarrollo de una curva de fragilidad que se han considerado y que pueden agruparse en tres: (i) incertidumbre en la demanda sísmica considerada, (ii) variabilidad en las propiedades del modelo estructural (incertidumbres que surgen por considerar ciertos edificios o asociadas con la curva de capacidad, también denominada en inglés: “building-to-building uncertainty”), (iii) incertidumbre en la definición de los umbrales de daño.
    - **Antigüedad de la función:** Hace referencia a los años de antigüedad de la función (o concretamente del estudio que propone la curva de fragilidad evaluada), lo que sugiere que a medida que esta antigüedad aumenta, es probable que sea menos adecuada para análisis de vulnerabilidad y riesgo sísmico más actuales.
- **Calidad:** Factores que describen la calidad y características de la fuente de los datos.
    - **Popularidad:** La popularidad o grado de aceptación general de una fuente de datos se puede aproximar utilizando el número de citas en Google Scholar como medida de referencia.
    - **Autenticidad:** Grado de confiabilidad y veracidad de la información proporcionada.

        - **Autenticidad alta:** Información altamente confiable y verificada.
        - **Autenticidad media:** Información confiable, pero puede requerir ciertas verificaciones.
        - **Autenticidad baja:** Información con un grado de confiabilidad menor y puede requerir una verificación más rigurosa.
    - **Tipo de edificio y tamaño de la muestra:** Clasificación de los edificios según su estructura y tamaño.

Adecuación al sistema local: En esta dimensión se evalúa la pertinencia y relevancia de la fuente de datos para el sistema local de interés.

- **Similitud en técnicas de construcción:** Implica evaluar la idoneidad de la curva de fragilidad para las condiciones específicas de la ubicación geográfica donde se pretende aplicar.
- **Similitud en medida de intensidad:** Implica comparar las medidas de intensidad sísmica utilizadas para la curva de fragilidad en relación con la utilizada en los mapas de peligrosidad de la zona. Alta indica que las medidas de intensidad son iguales, por lo que no habrá que realizar conversiones para aplicar las curvas de fragilidad; media indica que son diferentes, pero que en la conversión no se introduce demasiada incertidumbre; y baja señala una diferencia significativa en las medidas, lo cual implica que en la conversión se perderá información o se introducirá una incertidumbre significativa.

Similitud en la clase de construcción: En esta dimensión se analiza si los atributos de la estructura sobre la cual se fundamenta la curva de fragilidad son semejantes a los atributos de la estructura a la que se desea aplicar dicha curva para evaluar el riesgo sísmico. Para esta dimensión se propone un coeficiente que determina si la curva de fragilidad es adecuada y relevante para la estructura y el contexto específico en el que se va a utilizar. Entre estos atributos se incluyen el sistema resistente a cargas laterales, el número de pisos, la ductilidad, el año de construcción y el cumplimiento de la normativa sísmica.