Requerimientos del sistema y matriz de sostenibilidad

Movilidad Inteligente Kennedy

1. Requerimientos del sistema

Los requerimientos se clasifican en funcionales (RF), los cuales describen lo que el sistema debe hace y los no funcionales (RNF), que definen los atributos de calidad. En este caso, la prioridad se establece en alta, media o baja según lo critico que es para el objetivo del proyecto. Cada requerimiento incluye un criterio de aceptación verificable que permite validar su cumplimiento durante las pruebas.

1.1 Requerimientos funcionales

Tabla 1

Requerimientos funcionales del sistema

ID	Nombre	Descripción	Prioridad	Criterio de aceptación
RF-01	**Autenticación y registro**	Permite el registro e inicio de sesión de usuarios mediante credenciales, con emisión de token y cookies HttpOnly.	Alta	El usuario inicia sesión y recibe una sesión válida; credenciales inválidas son rechazadas.
RF-02	**Control de acceso por roles**	Diferencia los roles admin y ciudadano y restringe funciones en doble capa: backend (HTTP 403) y frontend (oculta y bloquea rutas).	Alta	Un ciudadano no accede a funciones de admin ni por interfaz ni por llamada directa a la API.
RF-03	**Mapa principal**	Muestra accidentes históricos, zonas de riesgo y reportes ciudadanos en tiempo real, con agrupamiento (clustering) de marcadores.	Alta	El mapa carga las tres capas y agrupa marcadores cercanos sin degradar el rendimiento.
RF-04	**Creación de reportes ciudadanos**	Permite crear reportes (hueco, accidente, trancón, zona insegura, obra) con coordenada GPS, hora, categoría y foto opcional validada.	Alta	Un reporte válido se almacena con su ubicación,

ID	Nombre	Descripción	Prioridad	Criterio de aceptación
				hora y categoría; una foto no válida es rechazada.
RF-05	**Validación y vigencia de reportes**	Confirma reportes por cercanía de otros usuarios (radio 200 m, ventana 30 min) y expira los reportes automáticamente.	Media	Un reporte confirmado eleva su confiabilidad; un reporte vencido deja de mostrarse.
RF-06	**Rutas seguras**	Geocodifica direcciones de Bogotá y calcula hasta 3 rutas alternativas con análisis de riesgo por segmento y alertas de reportes sobre la ruta.	Alta	El sistema entrega rutas reales por calles con su nivel de riesgo y alertas asociadas.
RF-07	**Soporte multimodal**	Calcula rutas para carro, moto, bicicleta, a pie y bus/SITP.	Media	Cada modo devuelve una ruta coherente con sus restricciones.
RF-08	**Predicción de riesgo**	Estima el nivel de riesgo ponderando accidentalidad histórica, gravedad y reportes activos.	Alta	El motor devuelve un índice de riesgo por zona y franja horaria.
RF-09	**Dashboard de estadísticas (admin)**	Presenta gráficos e indicadores de accidentalidad y reportes, accesibles solo para el rol admin.	Media	El admin visualiza gráficos actualizados; el ciudadano no accede al dashboard.
RF-10	**Exportación de reportes (admin)**	Exporta información en formatos PDF y Excel, restringido al rol admin.	Media	El admin descarga archivos

ID	Nombre	Descripción	Prioridad	Criterio de aceptación
				PDF/Excel con los datos seleccionados.
RF-11	**Visualización de zonas de inseguridad**	Muestra zonas de riesgo construidas a partir de los datos de hurtos por zona/municipio.	Media	La capa de inseguridad se superpone correctamente sobre el mapa.
RF-12	**Interfaz responsive y tema**	Funciona en escritorio y móvil con modo claro/oscuro.	Media	La interfaz se adapta a distintos tamaños de pantalla y conserva la preferencia de tema.

Nota. Elaboración propia con base en las funcionalidades implementadas del sistema.

1.2 Requerimientos no funcionales

Tabla 2
Requerimientos no funcionales del sistema

ID	Atributo	Descripción	Verificación
RNF-01	**Seguridad**	Cookies HttpOnly, SameSite=Strict y Secure en producción; autenticación JWT y cifrado de contraseñas con bcrypt.	Pruebas de penetración básicas; revisión de cabeceras y almacenamiento de sesión.
RNF-02	**Validación de archivos**	Las fotos se verifican por magic numbers, se procesan con Pillow y se re-codifican eliminando metadatos EXIF.	Subir archivos no-imagen o con EXIF y verificar rechazo/limpieza.
RNF-03	**Robustez de la API**	Rate limiting en los endpoints de mapas y sanitización de todas las entradas.	Pruebas de carga y de inyección sobre los endpoints.
RNF-04	**Rendimiento**	Respuesta casi inmediata al filtrar; bundle inicial ≈72 kB con code-splitting; se transfiere solo el JSON necesario.	Medir tiempo de respuesta de filtros y

ID	Atributo	Descripción	Verificación
			tamaño del chunk inicial.
RNF-05	**Escalabilidad**	Backend REST desacoplado y frontend independiente que permiten escalar cada componente por separado.	Escalar un componente sin afectar a los demás.
RNF-06	**Usabilidad**	Diseño responsive e intuitivo para escritorio y móvil.	Pruebas de usabilidad con usuarios; checklist de accesibilidad básica.
RNF-07	**Portabilidad**	Stack 100% open-source multiplataforma (Windows/Linux/macOS).	Despliegue en al menos dos sistemas operativos.
RNF-08	**Mantenibilidad**	Separación clara backend/frontend y documentación del código y de la API (OpenAPI).	Revisión de estructura del repositorio y de la documentación.
RNF-09	**Eficiencia de costos**	Arquitectura híbrida Google Maps / OSM-OSRM y proxy de backend para controlar el consumo y el costo de las APIs.	Verificar conmutación a OSM y registro del consumo por SKU.
RNF-10	**Privacidad y datos**	Tratamiento de datos personales conforme a la Ley 1581 de 2012 (habeas data); minimización de datos en reportes.	Existencia de política de tratamiento y consentimiento informado.

Nota. Elaboración propia. La Ley 1581 de 2012 regula la protección de datos personales en Colombia.

2. Matriz de sostenibilidad

Con esta matriz se evalúa la viabilidad del proyecto a lo largo del tiempo desde seis dimensiones importantes: social, ambiental, económica/financiera, técnica/tecnológica, institucional/legal y de escalabilidad. Para cada dimensión se define un objetivo, el mecanismo o estrategia que lo sostiene, el nivel de impacto esperado y el principal riesgo con su medida de mitigación. Este análisis articula los objetivos del proyecto con su operación recurrente (ver el modelo financiero CAPEX/OPEX) y con su potencial de crecimiento.

Tabla 3
Matriz de sostenibilidad del proyecto

Dimensión	Objetivo	Mecanismo / estrategia	Impacto	Riesgo y mitigación
Social	Mejorar la seguridad vial y la percepción de seguridad en los desplazamientos de los habitantes de Kennedy (≈1,2 millones).	Alertas preventivas de riesgo y rutas seguras; módulo de reportes ciudadanos colaborativo.	Alto	Riesgo: baja adopción ciudadana. Mitigación: estrategia de difusión y alianzas locales (JAC, alcaldía local).
Ambiental	Reducir tiempos de viaje y congestión y, con ello, emisiones contaminantes por trayecto.	Optimización de rutas y desincentivo de corredores congestionados; infraestructura digital sin hardware adicional.	Medio	Riesgo: consumo energético de servidores. Mitigación: hosting eficiente y arquitectura ligera (JSON, code-splitting).
Económica / financiera	Operar de forma viable y costo-eficiente con recursos limitados.	Stack open-source (sin licencias) y arquitectura híbrida Google Maps / OSM para controlar el costo de APIs.	Alto	Riesgo: costo de Google Maps a escala. Mitigación: topes gratuitos por SKU y migración a OSM/OSRM (ver modelo financiero).
Técnica / tecnológica	Mantener un sistema confiable, escalable y mantenible en el tiempo.	Backend REST desacoplado, modelos reentrenables y documentación; reentrenamiento periódico con datos recientes.	Alto	Riesgo: rezago de datos históricos. Mitigación: APIs en tiempo real + reportes ciudadanos que actualizan la base.
Institucional / legal	Lograr respaldo institucional y cumplimiento normativo.	Convenios con la Secretaría Distrital de Movilidad y el Observatorio de Movilidad;	Medio	Riesgo: dependencia de datos abiertos oficiales. Mitigación: múltiples fuentes

Dimensión	Objetivo	Mecanismo / estrategia	Impacto	Riesgo y mitigación
		cumplimiento de la Ley 1581 de 2012.		y datos colaborativos propios.
Escalabilidad	Extender la solución a otras localidades y a toda Bogotá.	Modelo reentrenable por localidad y arquitectura modular que escala por componente.	Medio	Riesgo: heterogeneidad espacial entre localidades. Mitigación: modelo generalizable y pipeline de incorporación de datos.

Nota. Elaboración propia. El nivel de impacto se valora cualitativamente como alto, medio o bajo.

2.1 Síntesis

El proyecto evidencia una sostenibilidad económica grande gracias a un stack sin licencias y a una arquitectura híbrida que mantiene el costo de APIs cercano a cero a baja escala. El principal reto de sostenibilidad que se presenta es la adopción ciudadana, de esta depende el impacto social y la vigencia de los datos del modelo, por esta razón la estrategia de difusión y las alianzas institucionales son tan importantes como las decisiones técnicas. Por último, la modularidad del sistema respalda su escalabilidad a otras localidades y a toda Bogotá.