## ****Título Tentativo****

**"Enrutamiento Inteligente en Redes IoT/Mesh: Comparación de Protocolos Clásicos y Adaptativos Basados en Machine Learning mediante Simulación en NS-3"**

## ****Objetivo General****

Desarrollar y comparar protocolos de enrutamiento clásicos y versiones adaptativas basadas en IA/ML en escenarios realistas de redes IoT/mesh, evaluando el impacto en métricas clave de rendimiento y resiliencia mediante simulaciones en NS-3.

## ****Plan de Trabajo y Hitos****

## ****1. Revisión del Estado del Arte (Paper 1)****

* Protocolos de enrutamiento en IoT/mesh (AODV, OLSR, DSDV, DSR, HWMP, Babel, BATMAN, RPL).
* Aplicaciones de IA/ML en redes: Q-learning, DQN, LSTM, swarm intelligence, clustering, detección de anomalías
* .
* Escenarios de simulación y métricas empleadas en la literatura.
* Identificación de vacíos y oportunidades (por ejemplo, integración real de ML en simuladores, escenarios de resiliencia urbana, etc.).

**Hito:** Publicación de un artículo de revisión sistemática.

## ****2. Diseño y Validación de Escenarios de Simulación (Paper 2)****

* **Escenarios separados:**
  + Red estática (sin movilidad ni interferencia)
  + Red móvil (modelos de movilidad realistas, mapas urbanos)
  + Con interferencia (nodos interferentes, canales ruidosos)
  + Con nodos maliciosos (ataques de flooding, blackhole, etc.)
* **Escenario híbrido:**
  + Smart city o campus con nodos fijos, móviles, interferentes y maliciosos, eventos dinámicos (fallos, congestión, emergencias).
* **Datos de entrada:**
  + Topologías reales (OpenStreetMap, SUMO), patrones de tráfico heterogéneos.
* **Validación:**
  + Repetibilidad, robustez, escalabilidad.

**Hito:** Paper metodológico sobre diseño de escenarios realistas y reproducibles en NS-3.

## ****3. Implementación de Protocolos Clásicos y Adaptativos****

* Integración de protocolos clásicos (AODV, OLSR, DSDV, DSR, HWMP, Babel, BATMAN, RPL).
* Desarrollo de versiones adaptativas:
  + **ML embebido:** Q-learning, DQN, LSTM, swarm intelligence
  + .
  + **ML externo:** Modelos entrenados fuera de NS-3 e integrados vía bindings Python.
  + **Detección de anomalías:** ML para identificar nodos maliciosos/interferentes en tiempo real.
* **Documentación y código abierto** para facilitar la reproducibilidad.

**Hito:** Paper técnico sobre integración y validación de protocolos adaptativos en NS-3.

## ****4. Plan de Simulaciones y Métricas****

* **Métricas principales:**
  + Throughput
  + Latencia
  + Jitter
  + Pérdida de paquetes
  + Overhead de control
  + Tiempo de convergencia
  + Consumo energético (si es relevante)
  + Resiliencia ante fallos y ataques
* **Plan experimental:**
  + Simulaciones repetidas para cada escenario y protocolo.
  + Análisis estadístico de resultados.
  + Evaluación bajo condiciones extremas (resiliencia urbana, eventos disruptivos).

**Hito:** Publicación de resultados comparativos en conferencia/journal.

## ****5. Enfoque Innovador y Diferenciador****

* **Escenarios de resiliencia urbana:**
  + Simulación de desastres, fallos masivos, reorganización de la red y mantenimiento de servicios críticos.
* **Aprendizaje transferido y federado:**
  + Entrenamiento de modelos ML en un entorno y validación en otro.
  + Modelos que se adaptan y mejoran durante la simulación.
* **Comparativa ML vs heurísticas clásicas:**
  + Bajo qué condiciones ML supera a los protocolos tradicionales, y viceversa.
* **Colaboración multi-red:**
  + Enrutamiento inteligente en redes híbridas (WiFi, mesh, 6LoWPAN, LTE).

**Hito:** Paper de alto impacto sobre el enfoque innovador y sus resultados.

## ****6. Publicaciones y Difusión****

* Publicación de 3-5 papers en revistas y congresos internacionales (revisión, metodología, integración técnica, resultados comparativos, enfoque innovador).
* Liberación de datasets, scripts y código fuente para la comunidad.

## ****7. Redacción y Defensa de la Tesis****

* Integración de los artículos y resultados en el manuscrito final.
* Discusión crítica, conclusiones y líneas futuras (por ejemplo, integración con SDN, edge computing, IoT industrial).

## ****Cronograma Tentativo (36-48 meses)****

| Fase | Meses 1-6 | 7-12 | 13-18 | 19-24 | 25-30 | 31-36 | 37-48 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Estado del arte | X |  |  |  |  |  |  |
| Diseño de escenarios |  | X |  |  |  |  |  |
| Implementación protocolos |  | X | X |  |  |  |  |
| Simulaciones y métricas |  |  | X | X |  |  |  |
| Enfoque innovador |  |  |  | X | X |  |  |
| Publicaciones | X | X | X | X | X | X | X |
| Redacción y defensa |  |  |  |  | X | X |  |

## ****Referencias útiles****

* Análisis de tráfico y optimización de rutas con machine learning (TFM, UOC, 2024)
* Tesis sobre algoritmos inspirados en inteligencia colectiva para enrutamiento (UPM, 2013)
* Tesis doctoral sobre optimización de recursos en redes con IA (UPM, 2022)

## ****Notas finales****

* El plan es flexible y puedes ajustar los hitos y enfoques según los resultados y novedades en el campo.
* Asegura la reproducibilidad y apertura de tus experimentos para maximizar el impacto académico.
* Considera colaboraciones interdisciplinarias (IA, telecomunicaciones, ingeniería de software).

## 1. ****Revisión del Estado del Arte****

**Qué hacer:**

* Investiga y resume los protocolos de enrutamiento clásicos (AODV, OLSR, DSDV, DSR, HWMP, Babel, BATMAN, RPL) y los enfoques recientes que aplican IA/ML en redes IoT/mesh.
* Revisa papers sobre integración de ML en enrutamiento, tanto en simulación como en prototipos reales.
* Analiza cómo se diseñan los escenarios de simulación en la literatura: ¿se usan mapas reales, modelos de movilidad, tipos de tráfico, presencia de nodos maliciosos/interferentes?
* Identifica métricas más empleadas y vacíos en la comparación de protocolos clásicos vs. adaptativos.

**Cómo hacerlo:**

* Usa bases de datos académicas (IEEE Xplore, ACM, arXiv, Scopus).
* Haz tablas comparativas de enfoques, escenarios y métricas.
* Resume tendencias y oportunidades no exploradas (por ejemplo, resiliencia urbana, aprendizaje federado, escenarios híbridos).

## 2. ****Diseño y Validación de Escenarios de Simulación****

**Qué hacer:**

* Define escenarios separados y combinados:
  + **Escenario base**: Red mesh/IoT estática, sin interferencias ni ataques.
  + **Movilidad**: Nodos móviles con trayectorias realistas (Random Waypoint, mapas de ciudad, SUMO).
  + **Interferencia**: Nodos que generan tráfico disruptivo o ruido en el canal.
  + **Nodos maliciosos**: Simulan ataques de flooding, blackhole, manipulación de rutas.
  + **Escenario híbrido**: Smart city, campus, aeropuerto, combinando nodos fijos y móviles, interferentes, maliciosos y tráfico heterogéneo.
  + **Escenario de resiliencia**: Fallos masivos, emergencia, reorganización de la red.
* Justifica la elección de cada escenario y su relevancia práctica.

**Cómo hacerlo:**

* En NS-3, utiliza los módulos de movilidad, mesh, Wi-Fi, y aplicaciones para modelar estos escenarios
* .
* Para movilidad realista, integra trayectorias de SUMO o mapas de OpenStreetMap.
* Configura nodos maliciosos/interferentes instalando aplicaciones que generen tráfico anómalo o ruido.
* Documenta parámetros clave: número de nodos, área, duración, patrones de tráfico, roles de los nodos.

## 3. ****Implementación de Protocolos Clásicos y Adaptativos****

**Qué hacer:**

* Integra los protocolos clásicos usando los helpers nativos de NS-3.
* Implementa versiones adaptativas:
  + Modifica el proceso de decisión de enrutamiento para consultar un modelo ML (puede ser embebido en C++ o llamado vía Python).
  + Elige el tipo de ML: Q-learning, DQN, LSTM, árboles de decisión, clustering, etc.
  + Si es posible, implementa detección de anomalías para identificar nodos maliciosos/interferentes.
* Documenta claramente la arquitectura de integración ML-NS-3.

**Cómo hacerlo:**

* Usa los helpers de NS-3 para instalar protocolos clásicos.
* Para ML, define el input (estado de la red) y output (decisión de siguiente salto o acción).
* Entrena modelos ML fuera de NS-3 usando datos de simulaciones previas, o implementa aprendizaje en línea.
* Valida que la integración no afecte la reproducibilidad ni la escalabilidad de las simulaciones.

## 4. ****Plan de Simulaciones y Métricas****

**Qué hacer:**

* Planifica simulaciones sistemáticas para cada escenario y protocolo.
* Define las métricas a recolectar en cada caso:
  + **Throughput**: Cantidad de datos entregados por unidad de tiempo.
  + **Latencia**: Tiempo de extremo a extremo de los paquetes.
  + **Jitter**: Variación de la latencia.
  + **Pérdida de paquetes**: Porcentaje de paquetes no entregados.
  + **Overhead de control**: Proporción de mensajes de control respecto al tráfico total.
  + **Tiempo de convergencia**: Tiempo hasta que la red se estabiliza tras un cambio.
  + **Consumo energético**: Si es relevante y los módulos lo permiten.
  + **Resiliencia**: Capacidad de mantener conectividad y rendimiento ante fallos o ataques.
* Realiza simulaciones repetidas para obtener resultados estadísticamente válidos.

**Cómo hacerlo:**

* Usa los sistemas de tracing y logging de NS-3 para recolectar métricas.
* Exporta resultados a archivos para análisis posterior (Python, R, Excel).
* Analiza resultados con estadística descriptiva y comparativa (media, desviación, intervalos de confianza).
* Presenta resultados en tablas y gráficos claros.

## 5. ****Enfoque Innovador y Diferenciador****

**Qué hacer:**

* Diseña escenarios de resiliencia urbana: simula desastres, fallos masivos, reorganización de rutas y priorización de servicios críticos.
* Implementa aprendizaje transferido: entrena el modelo ML en un tipo de escenario y evalúa su desempeño en otro.
* Explora aprendizaje federado: cada nodo entrena localmente y comparte parámetros, no datos.
* Compara protocolos ML-adaptativos con clásicos bajo condiciones extremas y dinámicas.
* Evalúa la colaboración multi-red: integración de diferentes tecnologías y handover inteligente.

**Cómo hacerlo:**

* Planifica experimentos que incluyan eventos dinámicos (fallos, ataques, congestión súbita).
* Documenta claramente las condiciones y los resultados.
* Propón métricas de resiliencia y adaptabilidad (por ejemplo, tiempo de recuperación tras un fallo, degradación de throughput bajo ataque).

## 6. ****Publicaciones y Difusión****

**Qué hacer:**

* Planifica artículos para revistas y congresos en cada etapa:
  1. Revisión sistemática del estado del arte.
  2. Diseño metodológico de escenarios y métricas.
  3. Integración y validación de protocolos adaptativos.
  4. Resultados comparativos y análisis crítico.
  5. Enfoque innovador y lecciones aprendidas.
* Libera datasets, scripts y código fuente para la comunidad.

**Cómo hacerlo:**

* Sigue las normas de publicación de las revistas/congresos objetivo.
* Prepara material complementario (repositorio GitHub, dataset Zenodo).
* Presenta resultados en workshops, seminarios y conferencias.

## ****Detalles de Simulaciones y Métricas en NS-3 (Resumen Conceptual)****

* **Escenarios**:
  + Fijos vs. móviles, con/sin interferencia, con/sin ataques, híbridos, resiliencia.
  + Topologías: malla regular, aleatoria, basada en mapas reales.
  + Tráfico: CBR, ráfagas, multimedia, tráfico de emergencia.
* **Métricas**:
  + Throughput, latencia, jitter, pérdida, overhead, convergencia, consumo, resiliencia.
* **Variables de control**:
  + Número de nodos, densidad, movilidad, intensidad de interferencia, porcentaje de nodos maliciosos, patrones de tráfico.
* **Repetibilidad**:
  + Corre cada experimento varias veces con semillas aleatorias distintas.
* **Análisis**:
  + Estadística descriptiva y comparativa.
  + Visualización con gráficos de caja, líneas de tiempo, mapas de calor.

## ****Sugerencias Finales****

* Documenta cada paso y decisión.
* Justifica cada escenario y métrica en función de su relevancia para aplicaciones reales.
* Mantén la reproducibilidad y apertura de tus simulaciones y análisis.

¿Quieres que te ayude a estructurar un capítulo ejemplo, o necesitas una plantilla para la documentación de cada escenario?

## 1. ****Revisión del Estado del Arte****

**Objetivo:**  
Analizar y sintetizar los enfoques, protocolos y métricas utilizados en la literatura sobre enrutamiento en redes mesh/IoT, especialmente la integración de IA/ML.

**Cómo hacerlo:**

* Identifica los protocolos clásicos y adaptativos más estudiados.
* Revisa cómo se diseñan los escenarios de simulación (movilidad, interferencia, ataques, topologías reales).
* Analiza qué métricas se usan y cómo se interpretan.
* Detecta vacíos: ¿se usan escenarios realistas? ¿Se compara ML con heurísticas clásicas? ¿Hay análisis de resiliencia?

**Documentación sugerida:**

* Fichas bibliográficas con: autores, año, escenario, protocolos, métricas, resultados clave, limitaciones.
* Tabla comparativa de enfoques.

## 2. ****Diseño y Validación de Escenarios de Simulación****

**Objetivo:**  
Definir escenarios que representen situaciones reales y permitan comparar protocolos bajo condiciones controladas y realistas.

**Cómo hacerlo:**

* Escenario base: red mesh/IoT estática, sin interferencias.
* Escenarios de movilidad: nodos móviles con trayectorias realistas (Random Waypoint, mapas urbanos).
* Escenarios con interferencia: nodos que generan ruido o tráfico disruptivo.
* Escenarios con nodos maliciosos: flooding, blackhole, manipulación de rutas.
* Escenario híbrido: smart city/campus/aeropuerto con nodos fijos, móviles, interferentes, maliciosos y tráfico heterogéneo.
* Escenarios de resiliencia: fallos masivos, reorganización de la red, eventos de emergencia.

**Validación:**

* Asegura que los escenarios sean reproducibles y escalables.
* Justifica cada elección en función de la literatura y la aplicación real.

## ****Planilla de documentación de escenario****

| Parámetro | Valor/Descripción |
| --- | --- |
| Nombre del escenario |  |
| Objetivo |  |
| Topología | (malla, aleatoria, mapa real, etc.) |
| N° de nodos |  |
| Área | (m², descripción geográfica, etc.) |
| Movilidad | (modelo, velocidad, trayectorias) |
| Nodos maliciosos | (cantidad, tipo de ataque) |
| Nodos interferentes | (cantidad, tipo de interferencia) |
| Tráfico | (CBR, ráfagas, multimedia, emergencia) |
| Duración sim. |  |
| Protocolos evaluados |  |
| Métricas a medir |  |
| Semillas aleatorias |  |
| Observaciones |  |

## 3. ****Implementación de Protocolos Clásicos y Adaptativos****

**Objetivo:**  
Integrar y adaptar protocolos de enrutamiento clásicos y versiones con IA/ML.

**Cómo hacerlo:**

* Usa los helpers nativos de NS-3 para protocolos clásicos.
* Implementa versiones adaptativas:
  + Decide si el modelo ML será embebido (C++) o externo (Python).
  + Define el input (estado de la red) y el output (decisión de siguiente salto, acción, etc.).
  + Entrena modelos ML con datos de simulaciones previas o implementa aprendizaje en línea.
  + Implementa detección de anomalías si es relevante.
* Documenta la arquitectura y justifica las decisiones técnicas.

## ****Planilla de documentación de protocolo****

| Protocolo | Descripción/Referencia |
| --- | --- |
| Tipo | (clásico/adaptativo/ML) |
| Implementación | (nativa NS-3, módulo externo, propio) |
| Versión |  |
| Parámetros clave | (timers, métricas, hiperparámetros ML) |
| Entrenamiento ML | (datos, método, offline/online) |
| Integración | (C++/Python, bindings, arquitectura) |
| Observaciones |  |

## 4. ****Plan de Simulaciones y Métricas****

**Objetivo:**  
Ejecutar simulaciones sistemáticas y medir métricas relevantes para comparar protocolos y enfoques.

**Cómo hacerlo:**

* Planifica simulaciones para cada combinación de escenario y protocolo.
* Define el número de repeticiones y semillas aleatorias.
* Recolecta métricas:
  + Throughput: datos entregados/tiempo.
  + Latencia: tiempo extremo a extremo.
  + Jitter: variación de latencia.
  + Pérdida de paquetes: porcentaje de paquetes no entregados.
  + Overhead de control: mensajes de control/tráfico total.
  + Tiempo de convergencia: estabilización tras cambios.
  + Consumo energético: si es relevante.
  + Resiliencia: tiempo de recuperación, degradación bajo ataque.
* Exporta resultados para análisis estadístico y visualización.

## ****Planilla de documentación de simulación****

| Simulación | Descripción/Referencia |
| --- | --- |
| Escenario |  |
| Protocolo |  |
| Parámetros clave |  |
| Nº de repeticiones |  |
| Semillas aleatorias |  |
| Métricas obtenidas |  |
| Resultados resumen | (media, desviación, gráficos) |
| Observaciones |  |

## 5. ****Enfoque Innovador y Diferenciador****

**Objetivo:**  
Explorar aspectos poco tratados en la literatura y proponer experimentos originales.

**Cómo hacerlo:**

* Escenarios de resiliencia urbana: simula desastres, reorganización de la red, priorización de servicios críticos.
* Aprendizaje transferido: entrena el modelo ML en un escenario y evalúa en otro.
* Aprendizaje federado: nodos entrenan localmente y comparten parámetros.
* Comparativa ML vs heurísticas clásicas bajo condiciones extremas.
* Colaboración multi-red: integración de tecnologías y handover inteligente.

## ****Planilla de documentación de experimento innovador****

| Experimento | Descripción/Referencia |
| --- | --- |
| Objetivo |  |
| Escenario base |  |
| Protocolo(s) |  |
| Innovación | (resiliencia, transfer learning, federado) |
| Métricas especiales | (resiliencia, adaptabilidad, etc.) |
| Resultados clave |  |
| Observaciones |  |

## 6. ****Publicaciones y Difusión****

**Objetivo:**  
Difundir los resultados y contribuir a la comunidad científica.

**Cómo hacerlo:**

* Planifica artículos para cada etapa: revisión, metodología, integración técnica, resultados, innovación.
* Prepara datasets, scripts y código fuente para su publicación.
* Presenta resultados en congresos, workshops y seminarios.

## ****Planilla de documentación de publicación****

| Publicación | Título/Referencia |
| --- | --- |
| Tipo | (paper, dataset, código) |
| Estado | (en revisión, aceptado, publicado) |
| Repositorio | (DOI, GitHub, Zenodo, etc.) |
| Observaciones |  |

## ****Sugerencias de uso****

* Completa cada planilla para cada escenario, protocolo, simulación y experimento innovador.
* Usa estas planillas como anexos en la tesis y como base para la redacción de artículos.
* Documenta cuidadosamente cualquier ajuste o hallazgo relevante durante las simulaciones.