



INSTITUTO SUPERIOR
POLITÉCNICO CÓRDOBA

Tecnicatura Superior en Telecomunicaciones

Blockchain en IoT



INSTITUTO SUPERIOR
POLITÉCNICO CÓRDOBA

1. NOMBRE | TÍTULO: "AirChain"-Sistema IoT basado en blockchain para monitoreo de calidad de aire

2. TIPO: Tecnológico

3. EJES | UNIDADES CONCEPTUALES:

- **Contratos inteligentes** (Solidity 0.8.x): estado, eventos, modifiers, require.
- **Testnets** (Sepolia/Holesky), cuentas y transacciones con MetaMask.

- **Integración básica IoT → Blockchain:** simulación de sensores y envío de lecturas.
- **Decisiones on-chain vs off-chain** (costos de gas, trazabilidad, auditoría).

4. PROBLEMÁTICA: La contaminación del aire producida por actividades industriales libera compuestos químicos y partículas que afectan la salud y el ambiente. Para auditar y controlar estos riesgos, es necesario contar con registros confiables de sensores ambientales que midan parámetros críticos, como niveles de CO₂, compuestos orgánicos volátiles (VOC) o partículas PM2.5.

En los sistemas tradicionales, estas lecturas suelen almacenarse en bases de datos internas, lo que genera riesgos de manipulación, pérdida de información y falta de transparencia. Por ello, surge la siguiente cuestión: **¿Cómo asegurar trazabilidad e integridad mínimas de lecturas IoT ambientales críticas, con recursos limitados y sin depender de una base central de confianza? ¿Qué mínimo de información conviene registrar on-chain para aportar valor (auditoría, no repudio, transparencia) sin encarecer el sistema?**

La trazabilidad e integridad pueden asegurarse registrando en blockchain pública únicamente la información esencial: la última lectura de cada sensor, su identificación y la marca de tiempo del bloque que la contiene. Este enfoque permite verificar que los datos provienen de sensores autorizados y que no han sido manipulados, sin depender de una base central. El resto del historial de lecturas y los análisis estadísticos se mantienen off-chain, optimizando costos y eficiencia, y garantizando auditoría y no repudio para evidenciar de manera confiable posibles focos de contaminación química generada por empresas.

5. FUNDAMENTACIÓN: En los sistemas de monitoreo ambiental tradicionales, las lecturas de sensores suelen almacenarse en bases de datos internas gestionadas por las mismas empresas o instituciones responsables de los controles. Esto genera

limitaciones importantes: falta de transparencia, riesgo de manipulación de registros y ausencia de un historial público verificable por terceros.

La **blockchain** ofrece una solución innovadora para garantizar **trazabilidad, integridad e inmutabilidad** de datos ambientales críticos. Al registrar en una red pública de prueba un rastro mínimo —como eventos y últimas lecturas de sensores de calidad de aire— se obtiene un **registro inmutable**, un **reloj común** y un **mecanismo de auditoría abierto**, verificable por terceros sin necesidad de confianza previa.

HIPÓTESIS: Si las lecturas IoT de calidad de aire se registran parcialmente en blockchain pública (on-chain lo esencial y off-chain lo histórico), entonces es posible garantizar trazabilidad y auditoría ambiental básica con bajo costo, fortaleciendo la transparencia frente a la posible contaminación química causada por empresas.

6. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un prototipo basado en blockchain que registre y audite lecturas de sensores IoT de calidad de aire (ej. gases contaminantes, partículas), garantizando trazabilidad, integridad e inmutabilidad de los datos para evidenciar posibles focos de contaminación química generada por empresas.

7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar un contrato inteligente en Solidity para registrar sensores de calidad de aire y sus lecturas.
- Simular 2–3 sensores IoT ambientales (ej. VOC, PM2, temperatura y humedad).
- Integrar comunicación con la blockchain en testnet.
- Evaluar qué datos registrar on-chain y off-chain.
- Documentar y demostrar el prototipo final.

8. CRONOGRAMA:

Objetivos específicos	Acciones Principales	Recursos Necesarios	Tiempo
1. Modelar un contrato inteligente en Solidity para registrar sensores de calidad de aire y sus lecturas.	- Definir caso de uso. - Diseñar un contrato mínimo (interfaz, eventos, validaciones). - Probar en Remix (deploy local/testnet).	PC con Remix IDE, Solidity 0.8.x, testnet Sepolia/Holesky.	Semana 1
2. Simular 2–3 sensores IoT ambientales (ej. VOC, PM2.5, temperatura y humedad).	- Crear script para generar lecturas periódicas. - Registrar sensores en contrato. - Publicar lecturas cada 10–20s.	Node.js/Python, MetaMask, cuentas de testnet.	Semana 2
3. Integrar comunicación con la blockchain en testnet.	- Conectar scripts a contrato con Web3/Ethers.js. - Enviar lecturas simuladas como transacciones. - Validar registros en explorador de bloques.	Librería Web3/Ethers.js, explorador Etherscan/HoleskyScan.	Semana 2–3
4. Evaluar qué datos registrar on-chain y off-chain.	- Analizar costos de gas y escalabilidad. - Documentar decisiones de diseño. - Proponer mejoras futuras.	Explorador de bloques, documentación técnica, bibliografía.	Semana 3
5. Documentar y demostrar el prototipo final.	- Preparar tabla de lecturas y función getLastReading. - Capturar evidencias (transacciones, hashes, bloques). - Elaborar presentación ≤ 8 diapositivas.	Capturas de pantalla, informe escrito, Canva/PowerPoint.	Semana 3

9. PRODUCTO FINAL

AirChain es un prototipo funcional que demuestra cómo la tecnología blockchain puede utilizarse para garantizar la integridad, trazabilidad y no repudio de las lecturas de calidad del aire obtenidas mediante sensores IoT. Su función principal es el registro inmutable de sensores y lecturas de calidad de aire. El sistema consiste en:

- Un contrato inteligente desplegado en una testnet pública Ethereum (Sepolia/Holesky), que permite:
 - Registrar sensores ambientales.
 - Actualizar lecturas de calidad de aire.
 - Consultar de forma pública y transparente el último valor registrado por cada sensor.
- **Características Clave:**
 - **Registro de Dispositivos:** Cada sensor IoT se registra on-chain con un ID único y un propietario.
 - **Actualización de Lecturas:** Permite el envío de datos como temperatura, humedad, CO₂, PM2.5 y VOC, con validaciones de rango integradas.
 - **Sistema de Permisos:** Solo el propietario del sensor (o el administrador) puede actualizar sus lecturas o darlo de baja.
 - **Auditoría Pública:** Cualquier persona puede consultar la última lectura de cualquier sensor y verificar su historial de transacciones en el explorador de bloques.

Conclusiones: El desarrollo de AirChain permitió extraer conclusiones sólidas tanto técnicas como conceptuales:

- La blockchain añade un nivel de confianza y transparencia imposible de lograr con sistemas centralizados.
- Inmutabilidad y No Repudio: Una vez registrada, una lectura no puede ser alterada o negada, lo que es crucial para evidencia ambiental en disputas legales o regulatorias.
- Registrar solo la última lectura on-chain es una estrategia efectiva para equilibrar costo, escalabilidad y valor auditor.
- El proyecto valida que, incluso con recursos limitados, es posible construir un sistema de monitoreo ambiental confiable y accesible.

- El proyecto sirve como un Mínimo Producto Viable (MVP) perfecto que comprende el ciclo completo: diseño, despliegue, interacción y auditoría en una blockchain.

Resultados Esperados

- **Transparencia verificable:** Reguladores, comunidades o ONGs pueden auditar las emisiones de empresas sin depender de sus datos internos.
- **Reducción de conflicto:** Al contar con un registro inmutable, se minimizan las disputas sobre la veracidad de los datos ambientales reportados.
- **Conciencia ambiental:** Facilita la identificación de focos de contaminación y promueve la responsabilidad corporativa.
- **Prototipo escalable:** Sirve como base para futuras implementaciones en entornos productivos con más sensores y parámetros.

10. BIBLIOGRAFÍA: según Normas APA

- Benedict, S., P., R., & Kaur, J. (2020). IoT blockchain solution for air quality monitoring in SmartCities. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2003.12920>
- PixelPlex. (2021). How to deploy Ethereum smart contracts with Solidity. <https://pixelplex.io/blog/how-to-deploy-ethereum-smart-contracts/>
- Stankiewicz, S. (2024). AirChain: A novel blockchain framework and low-cost device for democratized air quality data aggregation. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2408.05216>
- Pranto, T. H., et al. (2021). Blockchain and smart contract for IoT enabled environmental monitoring. *PeerJ Computer Science*, 7, e407. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.407>