Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2026,
Volumen 10, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i5

EVALUACIÓN DOCUMENTAL DEL CUMPLIMIENTO DEL ACUERDO CRE A/108/2024 POR UNA PLATAFORMA DE CARGA VEHICULAR ELÉCTRICA DE CÓDIGO ABIERTO

DOCUMENTARY ASSESSMENT OF CRE AGREEMENT A/108/2024 COMPLIANCE BY AN OPEN-SOURCE ELECTRIC VEHICLE CHARGING PLATFORM

Noé Ramón Rosales Morales
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Juan Manuel Bernal Ontiveros
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Marisela Palacios Reyes
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Francisco Zorrilla Briones
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Jose Manuel Rocha Domínguez
Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i5.26623

Evaluación documental del cumplimiento del Acuerdo CRE A/108/2024 por una plataforma de carga vehicular eléctrica de código abierto

Noé Ramón Rosales Morales[1]
noe.rm@cdjuarez.tecnm.mx
https://orcid.org/0000-0003-4526-3448
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Juan Manuel Bernal Ontiveros
juan.bo@cdjuarez.tecnm.mx
https://orcid.org/0000-0002-3819-5750
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Marisela Palacios Reyes
marisela.pr@cdjuarez.tecnm.mx
https://orcid.org/0000-0003-2830-5829
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Francisco Zorrilla Briones
francisco.zb@cdjuarez.tecnm.mx
https://orcid.org/0000-0003-0553-9841
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Jose Manuel Rocha Domínguez
juarezman@hotmail.com
https://orcid.org/0009-0007-9240-6436
Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

RESUMEN

El Acuerdo A/108/2024 de la Comisión Reguladora de Energía es el primer marco regulatorio mexicano para la infraestructura de carga vehicular eléctrica. Exige que los cargadores inteligentes se comuniquen mediante OCPP y OCPI en su versión más actualizada, que la información sobre conectores, precios y estatus sea pública y que los equipos estén certificados en protocolos de comunicación y ciberseguridad. Se evalúa en qué medida un stack de código abierto conformado por EVerest, OCPP 2.0.1, FastAPI y PostgreSQL satisface esos requisitos. Mediante una evaluación documental se construyó una matriz de trazabilidad de 22 requisitos y se calculó un Índice de Cumplimiento Normativo (ICN) ponderado. El stack obtiene un ICN de 53.06 en su estado actual y de 76.53 con el sistema de gestión de carga construido, por lo que se rechaza la hipótesis de un cumplimiento igual o superior al 90 %, umbral definido para esta investigación con el fin de distinguir plataformas con brechas menores, cerrables mediante configuración. EVerest y OCPP no registran incumplimientos; las brechas provienen de la ausencia de OCPI, de la versión de OCPP y de la falta de certificación, ninguna atribuible al software libre. Cerrar tres de ellas proyecta un ICN de 94.90.

Palabras clave: electro-movilidad; software de código abierto; cumplimiento normativo; matriz de trazabilidad; protocolo OCPP

[1]Autor principal
Correspondencia: juan.bo@cdjuarez.tecnm.mx

Documentary assessment of CRE Agreement A/108/2024 compliance by an open-source electric vehicle charging platform

ABSTRACT

Agreement A/108/2024 of the Energy Regulatory Commission is the first Mexican regulatory framework for electric vehicle charging infrastructure. It requires smart chargers to communicate through OCPP and OCPI in their most recent version, mandates public disclosure of connectors, prices and operating status, and requires equipment certification covering communication protocols and cybersecurity. This paper assesses the extent to which an open-source stack composed of EVerest, OCPP 2.0.1, FastAPI and PostgreSQL meets these requirements. Through a documentary assessment, a traceability matrix of 22 requirements was built and a weighted Regulatory Compliance Index (ICN) was computed. The stack scores an ICN of 53.06 in its current state and 76.53 with the charging management system built; therefore, the hypothesis of compliance equal to or greater than 90% is rejected, a threshold defined for this research to distinguish platforms with minor gaps that can be closed through configuration. EVerest and OCPP show no non-compliance; the gaps stem from the absence of OCPI, the OCPP version and the lack of certification, none attributable to open-source software. Closing three of them projects an ICN of 94.90.

Keywords: electromobility; open-source software; normative compliance; traceability matrix; OCPP protocol

Artículo recibido 20 setiembre 2026
Aceptado para publicación: 27 octubre 2026

INTRODUCCIÓN

La transición del transporte hacia fuentes de energía limpias constituye una de las transformaciones estructurales más urgentes de nuestra época. A escala global, el parque vehicular eléctrico superó los 40 millones de unidades en 2023, con una tasa de crecimiento anual compuesta del 35% en los últimos cinco años (Agencia Internacional de Energía [IEA], 2024). Sin embargo, esta expansión solo es sostenible cuando la infraestructura de carga crece al mismo ritmo y bajo marcos regulatorios claros que garanticen la interoperabilidad, la transparencia tarifaria y la seguridad del usuario.

Rifkin (2011) anticipó que la convergencia de las tecnologías de información con las redes energéticas daría lugar a una "tercera revolución industrial", donde la energía y los datos fluirían de forma descentralizada y colaborativa. Esa visión se concreta hoy en las plataformas de gestión de carga vehicular eléctrica, sistemas que coordinan en tiempo real la autenticación, la facturación y la supervisión de miles de puntos de carga distribuidos en el territorio.

México cuenta con apenas 1,274 electrolineras registradas (Asociación Mexicana de la Industria Automotriz [AMIA], 2024), una cifra notoriamente insuficiente frente a las proyecciones de 130,500 vehículos eléctricos en circulación para 2025. La principal barrera no es tecnológica sino económica y normativa: hasta septiembre de 2024 no existía en el país un marco regulatorio específico para la infraestructura de carga, y los sistemas de gestión disponibles en el mercado eran mayoritariamente propietarios, con costos de licenciamiento que oscilan entre los $20,000 y $150,000 dólares anuales. El Acuerdo A/108/2024 de la Comisión Reguladora de Energía llena ese vacío normativo, pero abre simultáneamente una pregunta técnica fundamental: ¿puede el software de código abierto satisfacer la totalidad de sus requisitos?

El presente trabajo propone responder esa pregunta mediante un análisis sistemático de trazabilidad normativo-técnica. Se examina cada disposición del Acuerdo A/108/2024 y se evalúa su cobertura por el stack de código libre y abierto conformado por EVerest (Linux Foundation Energy), el protocolo OCPP 2.0.1 (Open Charge Alliance), FastAPI y PostgreSQL. El resultado es una matriz de cumplimiento y un índice cuantitativo que permiten determinar, con base en evidencia documental verificable, en qué medida este stack satisface el marco regulatorio mexicano sin licencias comerciales, y qué acciones son necesarias para cerrar las brechas.

Buscando no solo favorecer directamente a los operadores de electro-lineras, sino también a los municipios y organismos de gobierno que buscan desplegar infraestructura pública de carga a menor costo, así como las instituciones de educación superior interesadas en contribuir al desarrollo tecnológico regional como es el caso del ITCJ a través de la vinculación con empresarios mediante el programa de residencias. Ciudad Juárez, como polo industrial fronterizo con más de 320 plantas de manufactura de clase mundial y creciente presión sobre la calidad del aire, representa el caso de estudio que contextualiza y da pertinencia territorial a los hallazgos.

ANTECEDENTES

La electro-movilidad ha transitado de nicho tecnológico a prioridad de política energética global en menos de una década. Según la IEA (2024), en 2023 se vendieron 14 millones de vehículos eléctricos en el mundo, elevando el parque total a más de 40 millones de unidades. China, Europa y Estados Unidos concentran el 90% de esta flota, aunque América Latina comienza a mostrar señales de crecimiento acelerado, impulsada por compromisos climáticos asumidos en el Acuerdo de París y por la reducción sostenida de los costos de batería de ion-litio, que han caído un 89% entre 2010 y 2023 (BloombergNEF, 2023).

En México, la AMIA reportó en 2024 la existencia de 1,274 electro-lineras distribuidas principalmente en la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey, con una presencia marginal en ciudades fronterizas del norte como Ciudad Juárez. La Secretaría de Energía proyectó para 2025 la circulación de 130,500 vehículos eléctricos, lo que evidencia una brecha crítica entre la demanda de carga y la infraestructura disponible. Históricamente, esta brecha se ha explicado por tres factores: la ausencia de regulación técnica específica, la dependencia de sistemas de gestión propietarios de alto costo, y la falta de estándares de interoperabilidad adoptados a nivel nacional.

El Acuerdo A/108/2024, emitido por la Comisión Reguladora de Energía y publicado en el Diario Oficial de la Federación el 10 de septiembre de 2024, representa el primer instrumento normativo mexicano enfocado exclusivamente en la infraestructura de carga vehicular eléctrica. Sus disposiciones aplican al CENACE, al transportista, al distribuidor, a los suministradores y a los usuarios finales que conecten infraestructura de carga al Sistema Eléctrico Nacional. En su numeral 3.6 define al Cargador Inteligente de Vehículos Eléctricos (CIVE) como un equipo con «protocolo abierto de comunicación

(OCPP y OCPI) en su versión más actualizada»; en sus capítulos 6, 8 y 10 obliga a hacer visibles los tipos de conectores, los precios, los modos de pago y el estatus de los cargadores, y a certificar los equipos con alcance en protocolos de comunicación y ciberseguridad. El Acuerdo otorgó a la Comisión un plazo de 24 meses para poner en operación una plataforma informática de electromovilidad y, mientras tanto, obliga a las electrolineras a publicar esa información en sus propios medios electrónicos (CRE, 2024). La Comisión Nacional de Energía (CNE), que sustituyó a la CRE en marzo de 2025 bajo adscripción a la Secretaría de Energía, ha continuado la implementación de este acuerdo como parte de su agenda regulatoria.

En el ámbito internacional, el protocolo OCPP ha evolucionado de una iniciativa europea del consorcio Elaad/E-Laad (Países Bajos) a un estándar global administrado por la Open Charge Alliance (OCA). La versión 2.0.1, lanzada en 2020 y revisada en 2022, incorpora perfiles de seguridad basados en TLS y certificados X.509, soporte nativo para ISO 15118 (Plug & Charge) y gestión avanzada de transacciones y dispositivos (Open Charge Alliance [OCA], 2022). En enero de 2025 la OCA publicó OCPP 2.1, que conserva la lógica de aplicación de 2.0.1 y añade soporte para ISO 15118-20, carga bidireccional, control de recursos energéticos distribuidos y cálculo local de costos; esta versión fue adoptada como norma internacional IEC 63584-210:2025 (OCA, 2025a, 2025b). Su presencia en programas como NEVI en Estados Unidos y en el marco del Reglamento AFIR de la Unión Europea (2023) lo consolida como el protocolo de facto para la interoperabilidad en electro-movilidad. Para el contexto mexicano la distinción entre versiones es relevante, pues el Acuerdo A/108/2024 no fija una versión de OCPP, sino que exige la más actualizada.

Paralelamente, el ecosistema de software de código abierto ha madurado significativamente en el dominio de la electro-movilidad. El proyecto EVerest, iniciado por la empresa alemana PIONIX GmbH e incorporado a la Linux Foundation Energy en 2021, constituye hoy el stack de firmware más completo disponible para estaciones de carga vehicular. Bajo licencia Apache 2.0, EVerest implementa los protocolos IEC 61851, ISO 15118 (incluyendo Plug & Charge), SAE J1772, OCPP 1.6 y OCPP 2.0.1, desarrolla el soporte para OCPP 2.1 y provee módulos configurables para la gestión de energía local, integración con sistemas de almacenamiento y comunicación con redes eléctricas (EVerest, s.f.-a, s.f.-b; Goldberg, 2024; Linux Foundation Energy [LF Energy], 2024). En enero de 2024, la Oficina Conjunta

de Energía y Transporte (Joint Office) de los Departamentos de Energía y de Transporte de los Estados Unidos anunció una alianza con LF Energy para desarrollar herramientas de software de código abierto que fortalezcan la confiabilidad de la infraestructura de carga (Joint Office of Energy and Transportation, 2024). En 2026 el proyecto adoptó un esquema de versiones estables con soporte de largo plazo, iniciado con la versión 2026.02.0 (LF Energy, 2026).

En cuanto a los sistemas de gestión de carga (CSMS), proyectos como CitrineOS, SteVe y MaEVe ofrecen implementaciones de código abierto del protocolo OCPP, con distintos grados de madurez y cobertura funcional. CitrineOS, alojado por LF Energy, es un CSMS orientado a OCPP 2.0.1 que contempla OCPI en su hoja de ruta (LF Energy, s.f.). La combinación de EVerest en el lado del dispositivo de carga con un CSMS de código abierto en el backend constituye una arquitectura candidata para el contexto mexicano, cuyo grado de cumplimiento del Acuerdo A/108/2024 es precisamente lo que el presente trabajo evalúa.

La seguridad del software de código abierto en infraestructura crítica ha sido objeto de escrutinio creciente. La vulnerabilidad CVE-2024-37310, un desbordamiento de entero en el módulo EvseV2G de EVerest descubierta por el equipo de ciberseguridad de PlaxidityX y corregida en la versión 2024.3.1, demostró que la transparencia del código fuente abierto permite la detección y corrección expedita de fallas. La primera auditoría de seguridad pública e independiente de EVerest, realizada por Quarkslab con la coordinación del Open Source Technology Improvement Fund (OSTIF) y publicada en enero de 2026, revisó durante 42 días el código del proyecto y sus implementaciones de protocolo, identificó 14 hallazgos con impacto de seguridad y destacó el aislamiento entre módulos como una fortaleza del diseño (OSTIF, 2026; Rolland y Azalbert, 2026). Estos antecedentes de seguridad son determinantes para el cumplimiento normativo del software libre en aplicaciones de infraestructura energética.

La relevancia territorial de esta investigación se enmarca en el contexto de Ciudad Juárez, Chihuahua, ciudad que concentra más de 320 plantas de manufactura de clase mundial y que alberga aproximadamente 290,000 empleos directos en el sector maquilador (Instituto Municipal de Investigación y Planeación [IMIP], 2024). La electrificación progresiva de flotas de transporte y desplazamientos laborales representa una oportunidad de reducción de emisiones de CO_2 estimada en 76 % respecto al vehículo de combustión interna equivalente (IEA, 2023). La ausencia de infraestructura

de carga accesible y normativa clara constituye el principal obstáculo para esta transición, haciendo del análisis de cumplimiento normativo aquí propuesto una contribución de impacto directo para la región.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A pesar de la entrada en vigor del Acuerdo CRE A/108/2024, los operadores y permisionarios de infraestructura de carga vehicular eléctrica en México enfrentan una incertidumbre técnica significativa: no existe hasta la fecha un análisis documentado que evalúe si las herramientas de software de código abierto disponibles en el mercado son suficientes para cumplir íntegramente con las obligaciones técnicas establecidas en dicho acuerdo, sin incurrir en costos de licencias de software propietario.

Esta incertidumbre tiene consecuencias prácticas directas. Las soluciones comerciales de gestión de carga (CSMS propietarios) como ChargePoint Network Services, eMaestro o AMPECO implican costos anuales de licenciamiento que oscilan entre los 20,000 y 150,000 dólares, colocando fuera del alcance de municipios, pequeñas empresas y proyectos académicos la posibilidad de operar infraestructura propia conforme a la norma. Esta barrera económica reproduce estructuras de dependencia tecnológica que limitan la soberanía digital de los operadores nacionales y el desarrollo regional de la electro-movilidad en estados como Chihuahua.

El Acuerdo A/108/2024 no distingue entre software propietario y libre; establece requisitos funcionales y de protocolo que cualquier plataforma debe satisfacer. Sin embargo, la ausencia de un mapa técnico de cumplimiento genera desconfianza institucional hacia las soluciones de código abierto y posterga su adopción. El presente trabajo plantea que este vacío analítico puede y debe cubrirse mediante una metodología sistemática de trazabilidad entre requisitos normativos y técnicos, produciendo evidencia objetiva que oriente a operadores y reguladores en la evaluación de alternativas tecnológicas abiertas, democratizando así el acceso a la infraestructura de electro-movilidad en México.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

No existe en México un análisis técnico documentado que determine el grado de cumplimiento del Acuerdo CRE A/108/2024 alcanzable mediante una plataforma de gestión de carga vehicular eléctrica construida exclusivamente con software de código abierto. Esta ausencia impide a operadores nacionales, municipios y proyectos académicos tomar decisiones informadas sobre el cumplimiento normativo de alternativas tecnológicas libres, perpetuando la dependencia de sistemas propietarios de

alto costo y limitando la expansión de infraestructura de carga en regiones de alto potencial industrial como el estado de Chihuahua.

INTERROGANTE DE LA INVESTIGACIÓN

¿En qué medida una plataforma de gestión de infraestructura de carga vehicular eléctrica construida con software de código abierto satisface los requisitos técnicos y operativos establecidos en el Acuerdo A/108/2024 de la Comisión Reguladora de Energía?

OBJETIVO

Objetivo General: Determinar el índice de cumplimiento normativo del Acuerdo CRE A/108/2024 alcanzable mediante una plataforma de gestión de carga vehicular eléctrica basada en software de código abierto, mediante la construcción y aplicación de una matriz de trazabilidad entre requisitos y capacidades.

Objetivos Específicos:

1. Identificar y clasificar la totalidad de los requisitos técnicos y operativos contenidos en el Acuerdo CRE A/108/2024 aplicables a plataformas digitales de gestión de carga vehicular eléctrica.
2. Documentar las capacidades funcionales del stack de código abierto formado por el software Everest, FastAPI, PostgreSQL y el protocolo OCPP 2.0.1, relevantes para el cumplimiento de los requisitos normativos identificados.
3. Construir una matriz de trazabilidad que relacione cada requisito normativo del Acuerdo A/108/2024 con la capacidad técnica correspondiente del stack de código abierto evaluado.
4. Calcular un índice cuantitativo de cumplimiento normativo mediante un modelo de puntuación que asigne pesos según la importancia regulatoria de cada requisito.
5. Identificar las brechas de cumplimiento existentes y proponer estrategias técnicas de solución compatibles con el ecosistema de software libre y código abierto.

HIPÓTESIS

Hipótesis de Investigación (H_1): Una plataforma de gestión de infraestructura de carga vehicular eléctrica construida con software de código abierto (EVerest, OCPP 2.0.1, FastAPI y PostgreSQL) satisface al menos el 90% de los requisitos técnicos y operativos del Acuerdo CRE A/108/2024, sin necesidad de licencias de software propietario.

Hipótesis Nula (H_0): Una plataforma de gestión de infraestructura de carga vehicular eléctrica construida con software de código abierto no es capaz de satisfacer el 90% o más de los requisitos técnicos y operativos del Acuerdo CRE A/108/2024.

Hipótesis Alternativa (H_a): El nivel de cumplimiento del stack de código abierto varía significativamente según la categoría de requisito normativo para comunicación, publicación de datos, seguridad, conectores, siendo posible la cobertura total en algunas categorías y parcial en otras.

JUSTIFICACIÓN

La justificación de esta investigación se sustenta en tres dimensiones convergentes: la pertinencia regulatoria, la viabilidad económica y el impacto regional.

Desde la dimensión regulatoria, el Acuerdo CRE A/108/2024 establece los lineamientos para los permisionarios de suministro eléctrico que operen o deseen operar infraestructura de carga. Un análisis documentado de cumplimiento normativo reduce el riesgo de decisiones de inversión equivocadas y acelera los tiempos de adopción tecnológica, contribuyendo a la certeza jurídica del sector.

Desde la dimensión económica, el reemplazo de sistemas propietarios por plataformas de código abierto puede reducir el costo total de propiedad de una instalación de carga entre un 40 y un 60%, según estimaciones derivadas de comparativas internacionales. En el contexto de Ciudad Juárez, donde el municipio y el sector privado identifican a la electro-movilidad como componente de su agenda de sustentabilidad industrial, esta reducción de costos habilita proyectos que de otro modo no serían financiables, democratizando el acceso a la tecnología de carga y fomentando la competencia en el mercado.

Desde la dimensión de impacto regional, la investigación se alinea con las prioridades de la agenda de innovación del Tecnológico Nacional de México y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas, en particular el ODS 7 (energía asequible y no contaminante), el ODS 11 (ciudades sostenibles) y el ODS 13 (acción por el clima). La formación de capital humano especializado en tecnologías de electro-movilidad de código abierto, en el marco de un proyecto de investigación institucional del Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, fortalece la vinculación entre la academia y la industria regional, posicionando al Instituto como referente técnico en una materia de creciente relevancia económica y ambiental para el norte de México.

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología propuesta es de tipo analítico-documental con componente técnico experimental, organizada en seis fases secuenciales:

Fase 1. Recopilación y sistematización normativa. Se realiza la lectura integral del Acuerdo CRE A/108/2024, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 10 de septiembre de 2024, identificando cada artículo, fracción y disposición técnica que impone obligaciones a las plataformas digitales de gestión de carga. Los requisitos se clasifican en cuatro categorías:

a) Protocolo de Comunicación,

b) Publicación y Transparencia de Datos,

c) Seguridad y Autenticación, y

d) Tipos de conectores e Interoperabilidad.

Esta categorización sirve como estructura organizativa de la matriz de trazabilidad.

Fase 2. Inventario de capacidades del stack de código abierto. Se documentan las funcionalidades de cada componente del stack evaluado: EVerest v2024.x (firmware EVSE, Linux Foundation Energy), OCPP 2.0.1 (especificación técnica, Open Charge Alliance, 2022), FastAPI v0.115.x (framework REST/WebSocket, Python, licencia MIT), y PostgreSQL 16 (sistema de gestión de base de datos relacional, licencia PostgreSQL). Las fuentes son la documentación técnica oficial, el código fuente disponible en repositorios públicos (GitHub/LF Energy) y los reportes de auditoría de seguridad publicados (OSTIF/Quarkslab, 2026).

Fase 3. Construcción de la matriz de trazabilidad. Se construye una matriz bidimensional donde las filas representan los requisitos normativos individuales del Acuerdo A/108/2024 y las columnas representan los componentes del stack de código abierto. Cada celda recibe una calificación: C (Cumple), CP (Cumple Parcialmente) o NC (No Cumple), acompañada de la evidencia técnica que sustenta la calificación (artículo de la norma, sección de la especificación OCPP, módulo de EVerest o endpoint de FastAPI correspondiente).

Fase 4. Cálculo del Índice de Cumplimiento Normativo. Se aplica el modelo matemático de puntuación ponderada descrito en la sección correspondiente para calcular el Índice de Cumplimiento Normativo (ICN) global y por categoría. Los pesos se determinan mediante juicio experto con base al

peso regulatorio de cada requisito, diferenciando entre requisitos críticos, importantes y complementarios.

Fase 5. Análisis de brechas y propuesta de soluciones. Los requisitos con calificación CP (Cumple Parcialmente) o NC (No Cumple) se someten a análisis de causa raíz. Para cada brecha identificada se propone una estrategia de solución dentro del ecosistema de código abierto: configuración de módulos existentes, integración con herramientas complementarias libres o desarrollo de módulos adicionales bajo licencias OSI-aprobadas.

Fase 6. Validación mediante pruebas de conformidad. Se ejecutan las pruebas de conformidad OCPP 2.0.1 provistas por la Open Charge Alliance (OCA Open Charge Test Tool - OCTT) sobre una instancia del stack en entorno controlado, verificando que los mensajes intercambiados cumplen con la especificación del protocolo OCPP. Esta fase provee evidencia experimental que complementa el análisis documental y se encuentra pendiente de ejecución.

MODELO MATEMÁTICO

El Índice de Cumplimiento Normativo (ICN) se define como la medida cuantitativa del grado en que el stack de código abierto satisface los requisitos del Acuerdo A/108/2024, expresado como porcentaje ponderado:

$$\mathbf{ICN = [\Sigma_{i=1}^{n} (w_i \times s_i)] / \Sigma_{i=1}^{n} w_i \times 100} \quad \mathbf{(1)}$$

Donde:

$ICN \in [0, 100]$ es el porcentaje de cumplimiento normativo ponderado del stack evaluado.

n es el número total de requisitos identificados en el Acuerdo A/108/2024.

w_i es el peso del requisito i, asignado según su criticidad regulatoria: $w_i = 3$ (crítico: protocolo mandatado), $w_i = 2$ (importante: publicación de datos), $w_i = 1$ (complementario: disposiciones operativas).

s_i es la puntuación de cumplimiento del requisito i: $s_i = 1$ (Cumple), $s_i = 0.5$ (Cumple Parcialmente), $s_i = 0$ (No Cumple).

El índice de cumplimiento por categoría k se calcula como:

$$\mathbf{ICN_k = [\Sigma_{i \in C_k} (w_i \times s_i)] / \Sigma_{i \in C_k} w_i \times 100} \quad \mathbf{(2)}$$

Donde C_k es el subconjunto de requisitos pertenecientes a la categoría k ∈ {protocolo de comunicación,

publicación de datos, seguridad y autenticación, tipos de conectores}. La hipótesis de investigación H_1 se acepta si ICN ≥ 90, y se rechaza en caso contrario. El modelo permite identificar las categorías con mayor y menor índice de cumplimiento, orientando las recomendaciones de mejora hacia las brechas de mayor impacto regulatorio.

El umbral de 90 es un criterio definido para esta investigación y fijado antes del análisis para distinguir una plataforma con brechas menores, cerrables mediante la configuración o integración de componentes existentes, de una plataforma que requiere desarrollo adicional o procesos de certificación para cumplir con la norma.

Conviene precisar el alcance del índice. Ante la autoridad reguladora, cada obligación aplicable se cumple o no se cumple, de modo que el cumplimiento legal exige atender la totalidad de las obligaciones que correspondan a cada instalación. El ICN no mide, por tanto, la legalidad de una instalación concreta, sino el grado de preparación del stack de código abierto para soportar dichas obligaciones, y su valor reside en cuantificar las brechas y ordenarlas según su impacto regulatorio.

SOFTWARE Y PLATAFORMA DE CÓDIGO ABIERTO PROPUESTA

El stack tecnológico propuesto para la implementación del análisis y la plataforma de gestión de carga está conformado íntegramente por software libre y de código abierto:

EVerest v2024.3.1+ (Linux Foundation Energy / Apache 2.0): Firmware de código abierto para estaciones de carga vehicular eléctrica. Implementa los protocolos IEC 61851, ISO 15118, SAE J1772, OCPP 1.6 y OCPP 2.0.1, con soporte para OCPP 2.1 en desarrollo. Constituye el componente de firmware de la EVSE y provee la capa de comunicación con el CSMS. Es objeto de la alianza entre el Joint Office de los Estados Unidos y LF Energy para el desarrollo de herramientas de carga de código abierto.

Protocolo OCPP 2.0.1 (Open Charge Alliance): Versión del protocolo seleccionada para la comunicación entre EVSE y CSMS. Define mensajes WebSocket JSON para transacciones, autenticación, reservas, telemetría y gestión de tarifas, y es la columna vertebral de la interoperabilidad del stack. Dado que el Acuerdo A/108/2024 exige OCPP y OCPI en su versión más actualizada, la pertinencia de esta versión se evalúa como un requisito de la matriz de trazabilidad.

FastAPI v0.115.x (Python / MIT License): Framework de alto rendimiento para la construcción de

APIs REST y WebSocket en Python. Utilizado como backend del CSMS para gestionar las conexiones OCPP, la lógica de negocio y la exposición de datos requerida por el Acuerdo A/108/2024 (tarifas, disponibilidad, conectores).

PostgreSQL 16 (PostgreSQL License): Sistema de gestión de base de datos relacional de grado empresarial. Almacena transacciones, sesiones de carga, usuarios autorizados, registros de disponibilidad y configuraciones de tarifas. Compatible con consultas complejas y alta concurrencia.

OCA Open Charge Test Tool - OCTT (Open Charge Alliance): Herramienta oficial de pruebas de conformidad OCPP 2.0.1. Permite verificar que las implementaciones del protocolo cumplen con la especificación técnica, constituyendo la herramienta de validación en la Fase 6 de la metodología.

Docker / Docker Compose v26.x (Apache 2.0): Plataforma de contenerización que facilita el despliegue reproducible y escalable del stack completo en servidores Linux, asegurando la portabilidad entre entornos de desarrollo, prueba y producción.

Ubuntu Server 22.04 LTS (Canonical): Sistema operativo base para el despliegue del stack. Su ciclo de soporte de cinco años garantiza la estabilidad y las actualizaciones de seguridad necesarias para una instalación de infraestructura crítica.

RESULTADOS

Los resultados que se presentan corresponden a la ejecución de las Fases 1 a 5 de la metodología como una **evaluación documental de cumplimiento normativo** (análisis de gabinete). Cada calificación se obtuvo contrastando el texto oficial del Acuerdo A/108/2024 (Comisión Reguladora de Energía [CRE], 2024) con la documentación técnica oficial y el código fuente público de EVerest (EVerest, s.f.-a, s.f.-b; LF Energy, 2026), la especificación del protocolo OCPP (Open Charge Alliance [OCA], 2022, 2025a), la documentación de FastAPI y PostgreSQL, y la auditoría de seguridad independiente de EVerest (OSTIF, 2026; Rolland y Azalbert, 2026). En esta etapa no se instaló ni se probó el stack en operación; la validación experimental mediante el OCTT (Fase 6) queda pendiente y se aborda en las recomendaciones.

Hallazgo normativo previo a la medición

La lectura íntegra del Anexo Único corrigió una premisa de la propuesta. El Acuerdo no mandata OCPP 2.0.1: el numeral 3.6 define al Cargador Inteligente de Vehículos Eléctricos (CIVE) como un equipo

con «protocolo abierto de comunicación (OCPP y OCPI) en su versión más actualizada» (CRE, 2024). A la fecha de la evaluación, la versión más actualizada de OCPP es la 2.1, publicada en enero de 2025 y adoptada como norma IEC 63584-210:2025 (OCA, 2025a, 2025b). El Acuerdo exige además OCPI, protocolo que no forma parte del stack evaluado. Por su parte, el capítulo 8, inciso a), fracción III, exige certificación de los cargadores con alcance en seguridad eléctrica, compatibilidad electromagnética, «protocolos de comunicación y ciberseguridad», y enlista la norma ISO 15118-2:2019. Requisitos como el transporte WebSocket con TLS o la autenticación mediante IdToken no aparecen en el Acuerdo; se derivan de la especificación OCPP y se trataron por separado en el análisis de sensibilidad.

Matriz de trazabilidad

Del Anexo Único se extrajeron 22 requisitos verificables sobre componentes de software ($\Sigma w_i = 49$), cifra menor a la estimación inicial de 35 a 45. La diferencia obedece a que se excluyeron las obligaciones que ningún componente de software puede satisfacer: el contrato de suministro independiente, la altura de montaje, la señalización conforme a las NOM, la certificación CONOCER del personal instalador y el aviso de venta de energía. Los pesos se asignaron con el criterio del modelo: $w_i = 3$ para protocolos y certificaciones exigidos expresamente y para la compatibilidad de conectores y piloto de control; $w_i = 2$ para obligaciones de publicación de datos; y $w_i = 1$ para disposiciones operativas o condicionales.

La puntuación s_i de cada requisito se definió como el **mínimo** de las calificaciones de los componentes que participan en él, pues un requisito solo se cumple en campo si se cumple en toda la cadena cargador protocolo, CSMS y base de datos. Se evaluaron dos escenarios: **E1**, estado documental actual, en el que el CSMS en FastAPI existe solo como diseño; y **E2**, proyección del CSMS construido tal como lo especifica la propuesta. La Tabla 1 resume la matriz; la evidencia técnica de cada celda (numeral del Acuerdo, bloque funcional de OCPP, módulo de EVerest o endpoint del CSMS) se presenta como material suplementario.

Tabla 1

Matriz de trazabilidad entre requisitos del Acuerdo A/108/2024 y componentes del stack

ID	Requisito (referencia en el Anexo Único)	w	EV	OCPP	FA	PG	s_i E1	s_i E2
A. Protocolo de comunicación								
A1	CIVE comunicado mediante protocolo abierto OCPP (num. 3.6)	3	C	C	CP→C	—	0.5	1
A2	OCPP en su versión más actualizada (num. 3.6)	3	CP	CP	CP	—	0.5	0.5
A3	Comunicación OCPI en su versión más actualizada (num. 3.6)	3	—	—	NC	—	0	0
A4	Gestión de energía local o remota por el usuario o el operador de las RGD (num. 3.6)	3	C	C	CP→C	—	0.5	1
A5	Funciones avanzadas de interoperabilidad con el SEN a solicitud de CENACE o Distribuidor (cap. 6)	1	CP	CP	CP→C	—	0.5	0.5
A6	Ficha técnica de funciones avanzadas de comunicación, control y gestión (cap. 8 a, V)	1	C	—	—	—	1	1
A7	Comunicación vehículo-red ISO 15118-2:2019 (cap. 8 a, III)	3	C	C	CP→C	—	0.5	1
B. Publicación y transparencia de datos								
B1	Conectores, tipo de cargador, modo de carga e indicaciones visibles por CIVE (cap. 6)	2	C	C	CP→C	C	0.5	1
B2	Precio y modo de pago visibles en $/kWh, $/tiempo o $/periodo (cap. 6; cap. 10)	2	CP	CP	CP→C	C	0.5	0.5
B3	Actualización del precio en la plataforma de electromovilidad (cap. 10)	2	—	—	CP	C	0.5	0.5
B4	Estatus de funcionamiento y disponibilidad de cada CIVE (caps. 8 y 10)	2	C	C	CP→C	C	0.5	1

ID	Requisito (referencia en el Anexo Único)	w	EV	OCPP	FA	PG	s_i E1	s_i E2
B5	Georreferencia de la estación (cap. 8)	2	—	—	CP→C	C	0.5	1
B6	Número de puntos de carga disponibles (num. 2.1; cap. 8)	2	C	C	CP→C	C	0.5	1
B7	Apéndice 1 en formato Excel editable (cap. 8 a, VI)	2	—	—	CP→C	C	0.5	1
B8	Apéndice 2 semestral: precios mínimos, promedio y máximos mensuales (cap. 8 a)	2	—	—	CP→C	C	0.5	1
B9	Publicación en web, app o pantalla del CIVE mientras no opere la plataforma (Acuerdo Cuarto)	2	C	C	CP→C	C	0.5	1
C. Seguridad y autenticación								
C1	Certificado de producto con alcance en ciberseguridad (cap. 8 a, III)	3	CP	C	CP	C	0.5	0.5
C2	Certificado con alcance en protocolos de comunicación (cap. 8 a, III)	3	CP	C	CP	—	0.5	0.5
D. Tipos de conectores e interoperabilidad								
D1	Compatibilidad con los conectores comercializados en México (cap. 6, Tabla 1)	3	CP	CP	—	C	0.5	0.5
D2	Funciones obligatorias del piloto de control en modos 2, 3 y 4 (num. 3.23)	3	C	—	—	—	1	1
D3	Electrolinera en carretera con modo 3 o 4 / DCFC (cap. 6)	1	C	—	—	—	1	1
D4	Generación limpia distribuida como fuente de carga (cap. 4)	1	C	—	—	—	1	1

Nota. EV = EVerest; OCPP = OCPP 2.0.1; FA = CSMS en FastAPI; PG = PostgreSQL 16. C = cumple; CP = cumple parcialmente; NC = no cumple; — = el componente no participa en el requisito. «CP→C» indica el cambio de calificación de E1 a E2. s_i = mínimo de las celdas aplicables.

Índice de Cumplimiento Normativo

Al aplicar las ecuaciones (1) y (2), el stack obtiene un ICN de 53.06 en el estado documental actual (E1) y de 76.53 con el CSMS construido (E2). En ambos escenarios el ICN es menor que 90, por lo que **H_1 se rechaza** y no hay evidencia para rechazar H_0 (Tabla 2).

Tabla 2
Índice de Cumplimiento Normativo global y por categoría

Categoría (Σw_k)	**E1: estado documental actual**	**E2: CSMS construido (proyección)**
A. Protocolo de comunicación (17)	44.12	70.59
B. Publicación y transparencia de datos (18)	50.00	88.89
C. Seguridad y autenticación (6)	50.00	50.00
D. Tipos de conectores e interoperabilidad (8)	81.25	81.25
ICN global (n = 22; Σw_i = 49)	**53.06** (26.0/49)	**76.53** (37.5/49)
H_1 (ICN ≥ 90)	Rechazada	Rechazada

El cumplimiento varía de forma marcada entre categorías: de 44.12 a 81.25 en E1 y de 50.00 a 88.89 en E2. Este resultado respalda la hipótesis alternativa (H_a). La categoría más rezagada en E1 es Protocolo de comunicación y, en E2, Seguridad y autenticación, que no cambia entre escenarios porque depende de certificaciones y no de código. En E1, 17 de los 22 requisitos obtienen $s_i = 0.5$, cuatro obtienen $s_i = 1$ y uno obtiene $s_i = 0$ (A3, OCPI); en E2, 14 obtienen $s_i = 1$, siete obtienen $s_i = 0.5$ y A3 permanece en cero.

La Tabla 3 muestra las calificaciones por componente. EVerest y OCPP 2.0.1 no reciben ninguna calificación NC. En E1, el CSMS en FastAPI es la única causa de la puntuación parcial en 11 de los 17 requisitos con $s_i = 0.5$.

Tabla 3
Distribución de calificaciones por componente del stack

Componente	C	CP	NC	Celdas aplicables
EVerest	11	6	0	17
OCPP 2.0.1	9	4	0	13
PostgreSQL 16	11	0	0	11
CSMS en FastAPI (E1, diseñado)	0	16	1	17
CSMS en FastAPI (E2, construido)	12	4	1	17

Para valorar la robustez del resultado se calcularon dos variantes (Tabla 4). La primera agrega tres requisitos técnicos derivados de la especificación OCPP: transporte WebSocket con TLS 1.2 o superior, autenticación mediante IdToken y gestión de certificados X.509 con verificación OCSP. EVerest y OCPP los cumplen de forma nativa, y la categoría C sube de 50.00 a 80.00 en E2. La segunda sustituye la regla del mínimo por el promedio de las celdas aplicables. H_1 se rechaza en todas las variantes.

Tabla 4
Análisis de sensibilidad del ICN

Variante	E1	E2	H_1
Base: 22 requisitos explícitos, regla del mínimo	53.06	76.53	Rechazada
Con requisitos derivados T1–T3 ($n = 25$; $\Sigma w_i = 58$)	52.59	80.17	Rechazada
Promedio de celdas en lugar del mínimo	73.47	82.48	Rechazada

DISCUSIÓN

Los resultados contradicen lo anticipado en la propuesta, que esperaba un ICN superior a 90 y una cobertura total en la categoría de protocolo de comunicación. La causa principal de esa diferencia no es una limitación del software libre, sino una premisa normativa incorrecta: se asumió que el Acuerdo mandataba OCPP 2.0.1, cuando exige OCPP y OCPI en su versión más actualizada (CRE, 2024). Con la premisa corregida, la categoría de protocolo pierde los puntos de OCPI (A3, único NC de la matriz) y la mitad de los de versión (A2).

Rechazar H_1 no significa que el proyecto de implementar EVerest y software libre en electrolineras sea

inviable. Significa que la configuración especificada, en su estado actual y según la evidencia documental, no alcanza el 90 % de cumplimiento ponderado. La Tabla 5 delimita el alcance de esta conclusión.

Tabla 5

Alcance de la conclusión sobre H_1

El rechazo de H_1 sí significa	**El rechazo de H_1 no significa**
Que la configuración especificada (EVerest + OCPP 2.0.1 + FastAPI + PostgreSQL) no cubre el 90 % ponderado del Acuerdo A/108/2024	Que EVerest sea inadecuado: obtiene 11 C, 6 CP y ningún NC
Que al stack le falta un componente exigido por el Acuerdo: OCPI (num. 3.6)	Que el software libre no sirva para electrolineras: ninguna brecha se debe a la licencia
Que la versión de OCPP elegida no es la más actualizada	Que el proyecto sea inviable: cerrando tres brechas, el ICN proyectado supera 90
Que ningún componente cuenta aún con certificación de producto	Que la seguridad sea débil: TLS, IdToken y X.509 se cumplen de forma nativa

La regla del mínimo convierte al CSMS no construido en el límite de la cadena. Por ello, construirlo explica por sí solo los 11.5 puntos ponderados que separan E1 de E2, y la categoría de publicación y transparencia pasa de 50.00 a 88.89. El diseño propuesto atiende lo que el Acuerdo exige en visibilidad de precios, estatus, georreferencia y reportes. Las brechas que persisten después de E2 son de cuatro tipos y ninguna depende de que el software sea libre (Tabla 6): un cargador o CSMS propietario que no implemente OCPI, no se actualice a OCPP 2.1 o no esté certificado recibiría las mismas penalizaciones.

Tabla 6
Naturaleza de las brechas residuales en E2

Brecha	**Requisitos**	**Tipo**	**¿Afectaría igual a una solución propietaria?**
OCPI ausente	A3	Alcance del stack	Sí, si no implementa OCPI
OCPP 2.0.1 en lugar de 2.1	A2, A5, B2	Vigencia de versión	Sí, si no se actualiza
Sin certificación de producto	C1, C2	Procedimental	Sí, toda EVSE debe certificarse
Conectores CHAdeMO y GB/T	D1	Hardware	Sí, depende del conector físico

En seguridad, el análisis de sensibilidad indica que la brecha es documental y no técnica: las capacidades existen en EVerest y en OCPP, y lo que falta es demostrarlas con una certificación formal. La auditoría de Quarkslab, coordinada por OSTIF, revisó durante 42 días el código de EVerest y sus implementaciones de protocolo, identificó 14 hallazgos con impacto de seguridad y destacó el aislamiento entre módulos como fortaleza del diseño; las vulnerabilidades se divulgaron como avisos de seguridad en el repositorio del proyecto (OSTIF, 2026; Rolland y Azalbert, 2026). Una auditoría, sin embargo, no sustituye la certificación de producto que exige el capítulo 8 del Acuerdo, por lo que C1 y C2 se calificaron como cumplimiento parcial.

Un rechazo bien documentado aporta más a los tomadores de decisiones que un «cumple» sin matices: la matriz identifica qué falta, cuánto pesa cada brecha y en qué orden conviene cerrarlas. El enfoque de trazabilidad requisito–capacidad es replicable en otros municipios, en otras configuraciones del stack y en otros marcos normativos de electro-movilidad de la región, como los de Colombia o Brasil.

El trabajo presenta limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. Primero, se trata de una evaluación documental: ningún escenario ha sido validado empíricamente, y E2 es una proyección sobre un diseño. Segundo, los pesos y la regla del mínimo son decisiones metodológicas; se justifican por la criticidad regulatoria y por el principio de cadena, y la variante con promedio se reporta como contraste. Tercero, el requisito B3 depende de que la autoridad publique una interfaz programática de la plataforma de electromovilidad, lo cual está fuera del alcance del proyecto. Cuarto, los escenarios de

cierre de brechas se presentan como trabajo futuro y no como una prueba alternativa de la hipótesis. Finalmente, el análisis no contempla condiciones operativas de escala, como la latencia en alta concurrencia, la resiliencia ante ataques de denegación de servicio o la gestión de fallos en las comunicaciones WebSocket.

PERSPECTIVAS A FUTURO

El presente análisis de cumplimiento normativo sienta las bases para una agenda de investigación amplia en el ámbito de la electro-movilidad con tecnología de código abierto en México. Como continuación natural, se proyecta el diseño e implementación de un piloto de electrolinera en el campus del Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, que operacionalice el stack evaluado, una vez cerradas las brechas identificadas, en un entorno real y permita recolectar datos de desempeño, disponibilidad y experiencia de usuario, constituyendo así la segunda publicación de esta línea de investigación.

En el plano normativo, se anticipa que la Comisión Nacional de Energía emitirá actualizaciones al Acuerdo A/108/2024 conforme avance la maduración tecnológica del sector. La matriz de trazabilidad propuesta es un instrumento dinámico que puede actualizarse con cada nueva disposición, convirtiéndose en una herramienta de monitoreo normativo continuo. En el plano internacional, la convergencia del marco mexicano con los estándares europeos (Directiva AFIR) y estadounidenses (NEVI) abre una segunda fase de investigación que evalúe la portabilidad del stack de código abierto en contextos regulatorios múltiples.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evaluación documental permitió responder la pregunta de investigación: con la configuración especificada, una plataforma de gestión de carga construida con software de código abierto satisface el 53.06 % ponderado de los requisitos del Acuerdo A/108/2024 en su estado actual, y el 76.53 % con el CSMS construido según el diseño. De ello se desprenden las siguientes conclusiones:

1. H_1 se rechaza. El rechazo se mantiene en todas las variantes del análisis de sensibilidad, por lo que no depende de la regla de agregación ni de la inclusión de requisitos derivados.

2. El núcleo técnico del stack es viable. EVerest y OCPP no reciben ninguna calificación de incumplimiento, y las capacidades de seguridad exigibles (TLS, IdToken, certificados X.509) están implementadas de forma nativa.

3. Las brechas residuales son de alcance (OCPI), de vigencia de versión (OCPP 2.1), procedimentales (certificación) y de hardware (conectores CHAdeMO y GB/T). Ninguna se debe a que el software sea libre.

4. El cumplimiento varía significativamente por categoría, lo que respalda H_a. El CSMS propuesto lleva la categoría de publicación y transparencia de 50.00 a 88.89.

5. El ICN funciona como instrumento de diagnóstico y planeación: cuantifica cada brecha y permite ordenar las acciones por su impacto regulatorio, lo que lo hace útil para operadores, municipios y reguladores.

Ruta para alcanzar un ICN ≥ 90

Desde E2 se requieren 6.6 puntos ponderados adicionales (44.1 de 49). La incorporación de OCPI, la migración a OCPP 2.1 y la certificación aportan 3.0 puntos cada una, y la compatibilidad completa de conectores (D1) aporta 1.5. Ninguna combinación de dos acciones alcanza el umbral; cualquier combinación de tres lo supera (Tabla 7).

Tabla 7

ICN proyectado según las acciones de cierre de brechas aplicadas sobre E2

Acciones aplicadas sobre E2	**Puntos ponderados**	**ICN proyectado**	**H_1**
Ninguna (E2)	37.5	76.53	Rechazada
Una acción: OCPI, OCPP 2.1 o certificación	40.5	82.65	Rechazada
Dos de las tres acciones principales	43.5	88.78	Rechazada
Dos acciones principales + conectores (D1)	45.0	91.84	Aceptada
OCPI + OCPP 2.1 + certificación (ruta recomendada)	46.5	**94.90**	Aceptada
Las cuatro acciones	48.0	97.96	Aceptada

Se recomienda la ruta OCPI + OCPP 2.1 + certificación, que deja la compatibilidad con CHAdeMO y GB/T para una etapa posterior porque depende de adquirir hardware y conviene confirmar antes su demanda en el parque vehicular local frente a J1772 y CCS1. La ruta se organiza en cuatro etapas vinculadas con las fases de la metodología (Tabla 8).

Tabla 8

Etapas de la ruta recomendada para alcanzar ICN ≥ 90

Etapa	Acción	Requisitos	Evidencia de verificación	Fase	ICN
1	Construir el CSMS en FastAPI con los servicios de la matriz: estaciones, mapa GeoJSON, estatus y exportación de los Apéndices 1 y 2	A1, A4, A7, B1, B4–B9	Pruebas OCTT del CSMS; reportes .xlsx generados	4 y 5	76.53
2	Migrar a OCPP 2.1, retrocompatible con la lógica de 2.0.1, y adoptar la versión estable de EVerest que lo integre	A2, A5, B2	Sesión OCPP 2.1 extremo a extremo con cálculo local de costo y control DER	5	82.65
3	Agregar un módulo OCPI 2.2.1 al CSMS con rol de operador (ubicaciones, tarifas, sesiones y registros de carga)	A3	Intercambio OCPI con una plataforma de prueba	5	88.78
4	Certificar el CSMS con el OCTT y el cargador de referencia en un laboratorio acreditado; anexar la auditoría de seguridad como evidencia complementaria	C1, C2	Certificado OCA y reporte de ensayos acreditado (cap. 8 a, III)	6	**94.90**

Recomendaciones complementarias

a) Actualizar las versiones del stack antes de la implementación: EVerest adoptó en 2026 un esquema de versiones estables con soporte de largo plazo, cuya primera versión es la 2026.02.0 (LF Energy, 2026); FastAPI se encuentra en la serie 0.136 (Ramírez, 2026); y el soporte estándar de Ubuntu 22.04 LTS concluye en abril de 2027 (Canonical, s.f.), por lo que conviene adoptar Ubuntu 24.04 LTS.

b) Recalcular el ICN al cierre de cada etapa con evidencia experimental, de modo que cada escenario proyectado se convierta en un escenario medido. La Fase 6 con el OCTT es el primer paso para ello.

c) Evaluar el uso de un CSMS de código abierto existente, como CitrineOS (LF Energy), frente al desarrollo propio en FastAPI, comparando su cobertura de OCPP 2.1 y OCPI con el costo y el tiempo de construcción.

d) Verificar el estado de operación de la plataforma de electro-movilidad de la Comisión Nacional de Energía, cuyo plazo de 24 meses venció en septiembre de 2026, ya que de su interfaz depende el requisito B3.

e) Completar el análisis de costo total de propiedad comprometido en la propuesta una vez que la ruta de cierre esté definida, ya que los costos de certificación y de desarrollo de OCPI deben incorporarse a la comparación con las plataformas comerciales.

f) Emplear la ruta de cierre como instrumento de vinculación con la Comisión Nacional de Energía, las secretarías estatales, el Instituto Municipal de Investigación y Planeación y el programa de adopción de LF Energy, por tratarse de un plan con metas cuantificables y replicable en otros municipios.

Para Ciudad Juárez y el estado de Chihuahua, estos resultados no cierran la puerta a un modelo de despliegue de electrolineras de menor costo y mayor soberanía tecnológica; precisan qué falta para que ese modelo cumpla plenamente con la regulación. La contribución del Tecnológico Nacional de México no se limita al diagnóstico: el cierre de cada brecha es una oportunidad de formación de capital humano especializado y de vinculación academia–industria en una de las regiones manufactureras más dinámicas de América Latina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Internacional de Energía. (2023). CO2 emissions from fuel combustion: Highlights 2023. OECD/IEA. https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022

Agencia Internacional de Energía. (2024). Global EV Outlook 2024. OECD/IEA. https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024

Asociación Mexicana de la Industria Automotriz. (2024). Reporte estadístico de vehículos eléctricos e infraestructura de carga 2024. AMIA. https://www.amia.com.mx

BloombergNEF. (2023). Electric Vehicle Outlook 2023: Long-term forecasts for electric vehicles. Bloomberg Finance LP. https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/

Canonical. (s.f.). Ubuntu release cycle. Recuperado el 11 de octubre de 2026, de

https://ubuntu.com/about/release-cycle

Comisión Reguladora de Energía. (2024, 10 de septiembre). Acuerdo Núm. A/108/2024. Diario Oficial de la Federación. https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5738646

EVerest. (s.f.-a). EVerest: Main repository of EVerest, an EV charging software stack [Repositorio de código fuente]. GitHub. Recuperado el 9 de octubre de 2026, de https://github.com/EVerest/everest

EVerest. (s.f.-b). libocpp v0.25.0 [Notas de versión]. GitHub. Recuperado el 9 de octubre de 2026, de https://github.com/EVerest/libocpp/releases/tag/v0.25.0

Goldberg, L. (2024, 11 de julio). Open-source EV charging: Linux-based platform simplifies interoperability. Electronic Design. https://www.electronicdesign.com/markets/automotive/article/55125493

Instituto Municipal de Investigación y Planeación. (2024). Indicadores de desarrollo industrial de Ciudad Juárez 2024. IMIP Ciudad Juárez. https://www.imip.org.mx

Joint Office of Energy and Transportation. (2024, 26 de enero). New project strengthens reliable EV charging infrastructure. U.S. Department of Energy y U.S. Department of Transportation. https://driveelectric.gov/news/joint-office-linux-partnership

LF Energy. (s.f.). Open EV Charging Summit recap and video: LF Energy CitrineOS: Revolutionizing EV charging with open source innovation. Linux Foundation Energy. Recuperado el 11 de octubre de 2026, de https://lfenergy.org/open-ev-charging-summit-recap-video-lf-energy-citrineos-revolutionizing-ev-charging-with-open-source-innovation/

LF Energy. (2024). EVerest: The open source software stack for EV charging infrastructure. Linux Foundation Energy. https://lfenergy.org/projects/everest/

LF Energy. (2026, 31 de marzo). EVerest 2026.02.0 released: First stable release under new long-term support strategy. Linux Foundation Energy. https://lfenergy.org/?p=12065

Open Charge Alliance. (2022). Open Charge Point Protocol 2.0.1: Technical specification. OCA. https://openchargealliance.org/protocols/open-charge-point-protocol/

Open Charge Alliance. (2025a, 23 de enero). OCPP 2.1 is now available! OCA. https://openchargealliance.org/ocpp-2-1-is-now-available/

Open Charge Alliance. (2025b, 2 de septiembre). OCPP 2.1 accepted by IEC as IEC 63584-210. OCA. https://openchargealliance.org/ocpp-2-1-accepted-by-iec-as-iec-63584-210/

Open Source Technology Improvement Fund. (2026, 20 de enero). EVerest security audit complete! OSTIF. https://ostif.org/everest-security-audit-complete/

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2023). Reglamento (UE) 2023/1804 relativo al despliegue de una infraestructura para los combustibles alternativos (AFIR). Diario Oficial de la Unión Europea. https://eur-lex.europa.eu

PostgreSQL Global Development Group. (s.f.). Versioning policy. Recuperado el 11 de octubre de 2026, de https://www.postgresql.org/support/versioning/

Ramírez, S. (2026). FastAPI (versión 0.136) [Software]. Python Package Index. https://pypi.org/project/fastapi/

Rifkin, J. (2011). La tercera revolución industrial: Cómo el poder lateral está transformando la energía, la economía y el mundo. Paidós.

Rolland, S., y Azalbert, P. (2026, 20 de enero). EVerest security audit. Quarkslab. https://blog.quarkslab.com/everest-security-audit.html

Secretaría de Energía. (2024). Prospectiva del sector eléctrico 2024-2038. SENER. https://www.gob.mx/sener

Stallman, R. M. (2010). Free software, free society: Selected essays of Richard M. Stallman (2.ª ed.). Free Software Foundation. https://www.gnu.org/doc/fsfs3-hardcover.pdf