



Ciudades Inteligentes en América Latina: Concepto, Arquitectura, Servicios y un Modelo Práctico para Municipios Venezolanos en la Era de la IA y el Big Data

Smart Cities in Latin America: Concept, Architecture, Services and a Practical Model for Venezuelan Municipalities in the Era of AI and Big Data

Leomar Aníbal Solorzano.¹ 

lsz@venpax.io

Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez (UNESR)

Caracas, Venezuela.

Recepción: 06-11-2025

Aceptación: 20-11-2025

Publicación: 20-12-2025

Como citar este artículo: Solorzano, L. (2025), **Ciudades Inteligentes en América Latina: Concepto, Arquitectura, Servicios y un Modelo Práctico para Municipios Venezolanos en la Era de la IA y el Big Data**. *Metrópolis. Revista de Estudios Globales Universitarios*, 6 (1), pp. 1280-1309.

¹ Máster en Gestión, Administración y Dirección de Empresas (MBA) por la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M); Licenciado en Desarrollo Endógeno Sub-Área de Desarrollo Empresarial por la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez (UNESR) y Licenciado en Comunicación Social por la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB).



Resumen

Este artículo desarrolla de manera integral el concepto, la arquitectura y los servicios de las ciudades inteligentes, ofrece una revisión crítica de modelos internacionales exitosos, contextualiza lecciones para América Latina y, como contribución original, presenta un Modelo Práctico de Ciudad Inteligente para municipios en Venezuela (MPI-VZLA). El trabajo se sitúa en el paradigma crítico con una postura ontoepistémica pragmática-constructivista que reconoce la coproducción socio-técnica de lo urbano y adopta una epistemología orientada a la resolución de problemas públicos a partir de evidencias y participación. Desde la línea de investigación de transformación digital, inteligencia artificial y big data, se articulan fundamentos teóricos, estándares internacionales como ISO 37120/37122 y ETSI NGSI-LD, marcos de ética y gobernanza de la IA propuestos por UNESCO, OCDE y la UE, así como mecanismos de financiamiento innovadores tales como bonos verdes y de sostenibilidad, TIF, captura de valor del suelo y financiamiento combinado. Se sistematizan los impactos sociales de la digitalización municipal y se propone una hoja de ruta con indicadores medibles, gestión de riesgos y criterios de evaluación. El artículo culmina con el MPI-VZLA, un marco modular, incremental y viable para gobiernos locales con severas restricciones fiscales y de conectividad.

Palabras clave: ciudad inteligente, gobernanza de datos, inteligencia artificial, big data, ética de IA, indicadores ISO 37120/37122, NGSI-LD, financiamiento combinado, América Latina, Venezuela.

Abstract

This article comprehensively develops the concept, architecture, and services of smart cities, offers a critical review of successful international models, contextualizes lessons for Latin America, and, as an original contribution, presents a Practical Smart City Model for municipalities in Venezuela (MPI-VZLA). The work is situated within the critical paradigm with a pragmatic-constructivist onto-epistemic stance that recognizes the socio-technical co-production of the urban environment and adopts a problem-solving epistemology oriented toward public issues based on evidence and participation. From the research line of digital transformation, artificial intelligence, and big data, the article articulates theoretical foundations, international standards such as ISO 37120/37122 and ETSI NGSI-LD, AI ethics and governance frameworks proposed by UNESCO, OECD, and the EU, as well as innovative financing mechanisms including green and sustainability bonds, TIF, land value capture, and blended finance. The social impacts of municipal digitalization are systematized, and a roadmap with measurable indicators, risk management, and evaluation criteria is proposed. The article concludes with the MPI-VZLA, a modular, incremental, and viable framework for local governments facing severe fiscal and connectivity constraints.

Keywords: smart city, data governance, artificial intelligence, big data, AI ethics, ISO 37120/37122 indicators, NGSI-LD, blended finance, Latin America, Venezuela.



Introducción

La urbanización y la transformación digital remodelan simultáneamente la gestión urbana en el contexto contemporáneo. Más de la mitad de la humanidad vive hoy en ciudades y se proyecta que la proporción urbana alcance aproximadamente el 68% hacia 2050. Esa presión demográfica revela brechas de infraestructura, desigualdades socio-territoriales y urgencias climáticas que rebasan los arreglos burocráticos tradicionales. La noción de ciudad inteligente emergió a inicios de siglo como promesa de eficiencia y competitividad mediante TIC, pero con el tiempo ha evolucionado hacia visiones centradas en las personas, la sostenibilidad y la gobernanza democrática de datos. Este trabajo se posiciona en ese giro al comprender la ciudad como sistema socio-técnico complejo y, a la vez, proponer un modelo de política pública accionable para municipios venezolanos.

En consonancia con lo anterior, los objetivos específicos de este trabajo consisten en clarificar el concepto, la estructura y los servicios de una ciudad inteligente contemporánea con énfasis en interoperabilidad semántica y analítica de datos. De igual manera, se busca revisar casos internacionales de Barcelona, Singapur, Seúl, Medellín, Curitiba y Río de Janeiro con una lectura crítica de sus logros y límites. Adicionalmente, se pretende contextualizar lineamientos para América Latina incluyendo el impacto social de la digitalización municipal, e incorporar una discusión densa sobre ética y gobernanza de la IA aplicada al gobierno local. Como contribución central, se presenta un modelo práctico, modular y financieramente viable para municipios en Venezuela denominado MPI-VZLA, con hojas de ruta, portafolio mínimo de casos de uso, indicadores y



arreglos de gobernanza, explorando además instrumentos financieros innovadores para su ejecución tales como bonos verdes y sociales, TIF, captura de valor del suelo y financiamiento combinado.

Enfoque paradigmático y postura ontoepistémica

El paradigma adoptado en esta investigación es crítico con orientación pragmática. Desde esta perspectiva, se asume que la realidad urbana es construida e históricamente contingente, atravesada por relaciones de poder y desigualdad, y que el conocimiento es situado. Por consiguiente, interesa evaluar cómo las tecnologías de IA, big data e IoT redistribuyen capacidades, riesgos y valor público, y cómo la institucionalidad local puede disputarlas para fines de justicia urbana y sostenibilidad.

En términos ontoepistémicos, se adopta una ontología relacional que concibe la ciudad como ensamblaje socio-técnico y una epistemología pragmática-constructivista transdisciplinaria que integra métodos cuantitativos como indicadores ISO y analítica de datos con métodos cualitativos como participación, etnografías de uso y evaluación deliberativa. Cabe destacar que la relación con el objeto de estudio es reflexiva y performativa, pues estudiar y modelar produce efectos, por lo que la propuesta incorpora evaluación ética y mecanismos de gobernanza adaptativa.

La vinculación con la línea de investigación se establece, precisamente, al aterrizar la transformación digital, la IA y el big data en la gestión urbana local, explorando su arquitectura de datos, algoritmos, usos y riesgos, y diseñando una ruta de madurez organizacional compatible con realidades fiscales y de conectividad latinoamericanas.



Fundamentos teóricos y estándares

Definiciones y debates

Las definiciones de ciudad inteligente han transitado desde visiones tecnocéntricas a enfoques integrales que combinan datos, ciudadanía y sostenibilidad, tal como lo han documentado Giffinger et al. (2007), Kitchin (2014), Albino, Berardi y Dangelico (2015), Komninos (2015) y Hollands (2008). En este sentido, el modelo de la Rueda de Ciudad Inteligente de Cohen sistematizó seis dominios que comprenden gente, economía, gobierno, movilidad, entorno y vida, los cuales hoy son reinterpretados a la luz de la justicia digital y climática.

Siguiendo esta línea evolutiva, la noción de ciudad inteligente ha transitado al menos tres generaciones. La primera generación estuvo liderada por proveedores tecnológicos con énfasis en infraestructura y eficiencia. La segunda generación se caracterizó por el gobierno abierto y los datos con foco en ciudadanía. La tercera generación actual se orienta hacia la cocreación, la justicia, la sostenibilidad y la resiliencia. Por su parte, Cohen y otros proponen marcos de madurez que incluyen gobernanza, personas y planeta, mientras que Giffinger et al. (2007) introdujeron un sistema de seis dimensiones que abarca economía, personas, gobierno, movilidad, ambiente y vida, facilitando la comparación sistemática entre ciudades.

Desde una mirada crítica, Kitchin (2014) subraya que la ciudad en tiempo real no es un estado objetivo sino una construcción de infraestructuras de datos que deben ser problematizadas, cuestionando quién define los problemas, desde qué datos y con qué modelos. En consonancia con esta perspectiva, Hollands (2008) advierte que la etiqueta de inteligente puede encubrir agendas de marketing urbano y privatización de bienes comunes,



de ahí la necesidad de marcos de gobernanza que protejan el interés público. La literatura feminista y de justicia digital desarrollada por autores como Eubanks (2018) ha ampliado estas críticas hacia la automatización de la desigualdad.

Paralelamente, los estándares y la metrología urbana expresados en ISO 37120/22 formalizan un lenguaje común para lo medible en ciudades, habilitando comparabilidad y aprendizaje entre pares. En cuanto a interoperabilidad, NGSI-LD según ETSI GS CIM 009 consolida la idea de un bus semántico que representa entidades urbanas como gemelos digitales y permite suscribir cambios, lo que simplifica la orquestación de servicios basados en eventos.

En lo que respecta a ética y gobernanza de IA, la convergencia de UNESCO (2021), OCDE (2019) y el Reglamento europeo (2024) introduce el principio de riesgo como eje clasificatorio. Este marco distingue entre sistemas prohibidos como manipulación subliminal y puntuación social pública, sistemas de alto riesgo relacionados con infraestructura crítica, acceso a servicios públicos y empleo, y sistemas de riesgo limitado y mínimo. Para municipios, ello implica mapear los casos de uso en la escala de riesgo, elevar requisitos para los de alto riesgo como gestión del agua y energía o selección de beneficiarios, y reservar los sistemas más sensibles para evaluaciones exhaustivas.

Por otra parte, la literatura sobre financiamiento resalta la combinación de instrumentos como bonos verdes y sociales, TIF, captura de valor y alianzas público-privadas, además de la relevancia de métricas estandarizadas para evitar el lavado verde. En este ámbito, ICMA (2024/2025) ofrece guías prácticas para marcos, indicadores clave de desempeño y reportes,



mientras que organismos como el BID y la CAF impulsan financiamiento combinado y garantías parciales que pueden ser decisivas para municipios.

Es importante señalar que la crítica desarrollada por autores como Hollands alertó sobre el riesgo de tecnologizar la ciudad sin transformar sus estructuras de exclusión. Asimismo, Greenfield y Eubanks han denunciado la mercantilización de lo público y la automatización de la desigualdad. Este trabajo recoge esas advertencias y las convierte en requisitos de diseño que incluyen participación efectiva, evaluación de impacto algorítmico, y presupuestos sensibles a distribución y cuidado.

Indicadores y estándares

Se sugiere un basamento con las familias ISO 37120 que establece indicadores de servicios y calidad de vida e ISO 37122 que define indicadores para ciudades inteligentes, complementadas por ISO 37101 sobre gestión del desarrollo sostenible en comunidades e ISO 37123 sobre resiliencia. En lo concerniente a integración de datos, se propone la API estándar NGSI-LD según ETSI GS CIM 009 para gemelos digitales urbanos y la publicación y consumo de contexto en tiempo casi real. De este modo, se habilita portabilidad de soluciones, se evita la dependencia del proveedor y se facilitan auditorías y trazabilidad.

Ética y gobernanza de IA

La adopción de IA en gobiernos locales debe regirse por marcos como la Recomendación de UNESCO sobre la Ética de la IA (2021), los Principios de la OCDE sobre IA (2019) y el Acta de IA de la Unión Europea (2024), que establece obligaciones según niveles de riesgo y adelanta reglas específicas para modelos de propósito general. En materia de datos personales, aplican



principios de protección desde el diseño y por defecto conforme al artículo 25 del RGPD y guías de las autoridades europeas del EDPB. Complementariamente, herramientas como la Evaluación de Impacto Algorítmico (AIA) de Canadá aportan operacionalización para el sector público.

Concepto y estructura de una ciudad inteligente contemporánea

Principios rectores

Los principios rectores de una ciudad inteligente contemporánea se articulan en torno a varios ejes fundamentales interrelacionados. El primero consiste en centrarse en las personas, atendiendo las necesidades básicas, la accesibilidad universal, la equidad territorial y socio-digital. Derivado de este enfoque humanista, el segundo principio se refiere al gobierno abierto y la gobernanza de datos, concibiendo los datos como bien común con responsabilidades que incluyen licenciamiento, calidad, seguridad y uso responsable. A su vez, el tercer principio aborda la interoperabilidad técnica y semántica mediante estándares abiertos como NGSI-LD, CKAN y OGC, interfaces de programación documentadas, catálogos de datos e inventarios de modelos algorítmicos. En estrecha vinculación con lo anterior, el cuarto principio establece la ética de IA basada en proporcionalidad, explicabilidad, evaluación ex-ante y ex-post de sesgos e impactos, y supervisión humana significativa. Como dimensión transversal, el quinto principio se orienta hacia la sostenibilidad y resiliencia, incluyendo mitigación y adaptación climática, economía circular e infraestructura verde-azul. Finalmente, el sexto principio



enfatisa el valor público y la legitimidad mediante participación significativa, transparencia, rendición de cuentas y cocreación.

Arquitectura de referencia

La arquitectura de referencia para una ciudad inteligente se organiza en siete capas funcionales interrelacionadas que operan de manera integrada. La Capa 0 de Conectividad y energía comprende redes 4G/5G, fibra y enlaces troncales mixtos, computación en el borde en barrios, micro-redes renovables y respaldo para nodos críticos. Sobre esta base, la Capa 1 de Sensórica, IoT y fuentes de datos incluye medidores de agua y energía, telemetría de flotas, aforos, sensores de calidad de aire, cámaras con gobernanza adecuada, registros administrativos y colaboración abierta ciudadana. Esta información alimenta la Capa 2 de Gestión de contexto que opera mediante un gestor de contexto con NGSI-LD como bus semántico, catálogo de entidades que incluye activos, lugares y eventos, suscripciones para notificaciones y almacenamiento histórico. Para garantizar la calidad de estos flujos, la Capa 3 de Gobierno de datos abarca calidad, metadatos, linaje, seguridad, privacidad diferencial, anonimización y espacios de datos intermunicipales. Con estos insumos, la Capa 4 de Analítica e IA incorpora flujos de trabajo MLOps, modelos explicables mediante XAI, auditorías y AIA obligatoria, además de un entorno controlado de pruebas jurídico para pilotos. Los resultados se materializan en la Capa 5 de Servicios y experiencias que comprende aplicaciones ciudadanas, tableros operativos, gemelos digitales, interfaces de programación externas y laboratorios cívicos. Como capa envolvente, la Capa 6 de Gobernanza y rendición incluye comités multi-actor, portales de transparencia, auditorías externas y mecanismos de quejas y reparación.



Portafolio de servicios prioritarios

El portafolio de servicios prioritarios abarca múltiples dominios de la gestión urbana con impacto directo en la calidad de vida ciudadana. En el ámbito de movilidad se incluye prioridad semafórica dinámica para buses, analítica de congestión, gestión de estacionamiento y micromovilidad segura. De manera complementaria, en gestión de residuos se contemplan rutas dinámicas, detección de desbordes, trazabilidad y pago por generación. En lo referente a agua y saneamiento se implementa telemetría de presiones, predicción de fugas y reducción de agua no contabilizada. Respecto a energía e iluminación se desarrolla telegestión LED, medidores inteligentes en edificios públicos y micro-redes solares para escuelas y ambulatorios. En cuanto a seguridad y riesgos se establecen alertas tempranas hidrometeorológicas, asistente virtual de reporte ciudadano y coordinación interagencial. En el campo de salud y educación se promueve tele-salud primaria, historia social integrada, conectividad escolar y analítica de abandono. Para trámites y gobierno digital se implementa identidad y carpeta ciudadana, pagos, catastro inteligente y simplificación normativa. Por último, en desarrollo económico se ofrece ventanilla única, datos abiertos sectoriales y mapas de calor de comercio y empleo.

Casos internacionales: lecciones y límites

El análisis de experiencias internacionales permite extraer aprendizajes valiosos para el contexto latinoamericano. **Barcelona** ha desarrollado la plataforma CityOS con datos abiertos robustos, compras públicas de innovación y enfoque de datos como infraestructura cívica. La lección principal es que la gobernanza de datos y los estándares abiertos permiten ecosistemas dinámicos. La ciudad cuenta con una historia de plataforma



consolidada, portal de datos, compras de innovación mediante contratación precomercial, contratos de ciudad que des-privatizan datos de plataformas, y gobernanza con enfoque de derechos digitales. Los logros incluyen reutilización de datos, proyectos de movilidad y salud, pilotos de gemelo urbano y participación tecnopolítica. Las lecciones transferibles abarcan institucionalidad de datos, licencias abiertas, alfabetización digital y cláusulas contractuales de datos públicos, aunque persisten retos de escalamiento y gobernanza metropolitana.

En una línea diferente, **Singapur** ha implementado el programa Nación Inteligente con plataforma de sensores, operaciones integradas mediante centro de operaciones nacional, identidad digital y fuerte énfasis en confianza. La lección fundamental es la importancia de visión de Estado, inversión sostenida, interoperabilidad y gestión de talento. El programa Nación Inteligente 2.0 enfatiza Crecimiento, Comunidad y Confianza, con arquitectura de gobierno integral y entorno regulatorio controlado. Las lecciones incluyen inversión sostenida, talento, métricas, estándares y aplicación proporcional de la ética, aunque se identifican riesgos de sobredependencia estatal y debates sobre privacidad.

Por su parte, **Seúl** destaca por gobierno electrónico, votación móvil y participación, incluyendo el uso de datos móviles para rediseño de buses nocturnos. La lección central es que la participación digital escala si se articula con decisiones vinculantes y presupuesto participativo. La ciudad cuenta con plan maestro 2021-2025, servicios móviles ubicuos y liderazgo en gobierno digital. Las lecciones comprenden participación digital más procesos vinculantes, madurez de interoperabilidad, evaluación pública de servicios y ciberseguridad.



En el contexto latinoamericano, **Medellín** se caracteriza por innovación social y tecnológica mediante Ruta N, movilidad integrada y control de operaciones, aunque persisten desafíos de inclusión y sostenibilidad fiscal. La lección clave es que la institucionalidad mixta y continuidad de política son tan importantes como la tecnología. La ciudad cuenta con Ruta N y distrito de innovación, control de operaciones, e infraestructura social como Metrocable y escaleras eléctricas. Si bien existen críticas referidas a inclusión y sostenibilidad fiscal, las lecciones incluyen continuidad de políticas, articulación social-tecnología, institucionalidad y métricas reales.

Como referente histórico, **Curitiba** es reconocida por su sistema de autobuses de tránsito rápido y planificación integrada de uso de suelo-transporte con bajo costo relativo, constituyendo un antecedente de inteligencia urbana previa a IoT. La lección es que el diseño urbano y la gobernanza importan tanto como los sensores. Su enfoque de baja tecnología con gobernanza fuerte demuestra replicabilidad, aunque enfrenta riesgos ante expansión metropolitana y necesidad de actualización digital.

Finalmente, **Río de Janeiro** desarrolló el Centro de Operaciones con capacidades de monitoreo y coordinación, aunque ha recibido críticas por sostenibilidad y teatralización tecnológica sin suficiente impacto social. La lección es evitar soluciones tipo vitrina desconectadas de prioridades barriales. El Centro fue creado post-tormenta 2010 con integración multiagencia, pero enfrenta críticas por sostenibilidad, espectáculo tecnológico y necesidad de indicadores sociales.



A partir de estos casos, las consideraciones específicas para Venezuela incluyen varios aspectos diferenciados. En conectividad y energía se requiere la priorización de micro-redes solares y computación en el borde, aplicaciones sin conexión, mensajería SMS/USSD y paradas inteligentes alimentadas por energía solar. En datos y confianza se demanda énfasis en transparencia, participación y auditorías independientes, con separación estricta entre datos de servicios y cualquier uso político. En talento se proponen convenios con universidades y diáspora, capacitación abierta y comunidades de software libre. En economía local se fomenta tecnología gubernamental local, micro-contratos por resultados e incubación de emprendimientos basados en datos. En cooperación se impulsan consorcios intermunicipales para compras, operación compartida de plataformas e interoperabilidad.

Impacto social de la digitalización municipal

La digitalización municipal genera efectos multidimensionales que deben ser analizados con rigor. Entre los beneficios se encuentran la eficiencia en tiempo y costos, la transparencia, la mejora de servicios en residuos, agua y movilidad, las nuevas oportunidades económicas mediante datos abiertos y economía de aplicaciones, y una mayor resiliencia urbana.

No obstante, también emergen riesgos y disparidades significativas. Estos incluyen la brecha de acceso y uso relacionada con conectividad, habilidades y dispositivos, sesgos algorítmicos que afectan desproporcionadamente a grupos vulnerables, vigilancia desmedida, precarización laboral por plataformización de servicios, y dependencia tecnológica.



Para contrarrestar estos riesgos, las políticas de mitigación deben abarcar conectividad asequible mediante acuerdos con operadores móviles y redes comunitarias, dispositivos y planes solidarios, centros públicos de acceso, alfabetización y acompañamiento, evaluación de impacto algorítmico con participación, mecanismos de reparación, auditoría social de sistemas de IA y cláusulas laborales en contratos de tecnología.

Ética y gobernanza de la IA aplicada a ciudades

El marco ético para la IA urbana se fundamenta en principios irrenunciables. Estos comprenden legalidad, necesidad y proporcionalidad, dignidad y no discriminación, explicabilidad, seguridad y ciber resiliencia, sostenibilidad, y gobernanza democrática.

Para operacionalizar estos principios, los instrumentos de gobernanza incluyen un registro público de sistemas algorítmicos municipales, Evaluación de Impacto Algorítmico ex-ante con publicación de resultados, tarjetas de modelo y documentación de conjuntos de datos, comités de ética con representación ciudadana, protección de datos por diseño y por defecto, auditorías periódicas e independientes, derecho a no ser objeto de decisiones automatizadas sin revisión humana significativa, y pruebas en entornos controlados con criterios de salida.

Particular atención merecen los casos de uso sensibles que incluyen reconocimiento facial en espacios públicos, puntuaciones de riesgo social o policiales, y perfilamiento para subsidios. Para estos casos, se recomienda moratoria o estrictos controles, privilegiando alternativas menos intrusivas y métodos de anonimización robustos.



En consecuencia, las capacidades institucionales requeridas comprenden equipos de ciencia de datos cívica, abogados y éticistas de datos, compras públicas con cláusulas de transparencia, oficinas de protección de datos, y formación continua.

El marco normativo debe establecer los datos como bien común con responsabilidades, implicando publicación proactiva por defecto salvo excepciones legítimas como datos personales y seguridad. Asimismo, se requiere un registro municipal de sistemas algorítmicos (RAM) que incluya descripción, propósito, datos, proveedor, evaluación de riesgos, AIA y resultados de auditoría. Los derechos ciudadanos comprenden explicación significativa, revisión humana, acceso a expediente algorítmico, y canales de reclamo y reparación. Adicionalmente, las cláusulas de contratación deben garantizar acceso a código, modelos o interfaces de auditoría, prohibición de venta de datos sin autorización, portabilidad e interoperabilidad obligatorias, ciberseguridad certificada, y métricas de desempeño con sanciones. Se debe establecer un Comité de Ética y Datos con representación ciudadana, expertos y defensoría. Como salvaguarda adicional, las protecciones especiales incluyen moratoria de reconocimiento facial en espacios públicos y evaluación reforzada para sistemas de alto riesgo.

Modelos financieros innovadores para ciudades inteligentes en economías emergentes

La sostenibilidad financiera de las ciudades inteligentes requiere instrumentos innovadores adaptados a las realidades de economías emergentes. Los bonos verdes, sociales y sostenibles alineados con los Principios ICMA financian iluminación LED, agua, movilidad limpia y



vivienda asequible, entre otros, aunque requieren marcos institucionales, revisiones externas y reportes de impacto.

De manera complementaria, los bonos vinculados a sostenibilidad establecen metas de desempeño como reducción de pérdidas de agua o emisiones, con incremento escalonado del cupón si no se cumplen.

Otro instrumento relevante es la captura de valor del suelo que aprovecha plusvalías por mejoras como sistemas de autobuses de tránsito rápido y espacio público para cofinanciar proyectos, requiriendo marco legal y transparencia.

En la misma línea, el financiamiento por incremento fiscal permite anticipar flujos de incremento de impuesto inmobiliario en zonas de renovación para fondear infraestructura.

Por su parte, el financiamiento combinado mezcla capital concesional de bancos de desarrollo y filantropía con capital privado para mejorar retornos y gestión de riesgos.

Las asociaciones público-privadas establecen contratos de desempeño con indicadores clave de servicio mediante acuerdos de nivel de servicio y cláusulas de datos y ciberseguridad.

Adicionalmente, las emisiones subnacionales y fondos climáticos articulan con bancos de desarrollo como BID, CAF y Banco Mundial, y taxonomías sostenibles nacionales.

Es fundamental considerar los riesgos y salvaguardas que incluyen evitar sobre-apalancamiento, gestionar riesgo cambiario, y prevenir el lavado



verde y social mediante gobernanza financiera, auditoría ex-post y participación ciudadana en la priorización de portafolios.

Propuesta: Modelo Práctico Integrado para Municipios de Venezuela (MPI-VZLA)

Principios de diseño

Los principios de diseño del MPI-VZLA se fundamentan en cinco ejes interrelacionados que responden a las restricciones y oportunidades del contexto venezolano. El principio del Mínimo viable público (MVPu) propone empezar pequeño con alto valor público y expandir iterativamente. Derivado de este enfoque, el principio Abierto por defecto establece estándares abiertos, software libre cuando sea razonable y documentación pública. En articulación con los anteriores, el principio Ética por diseño integra AIA y privacidad desde el diseño con participación informada en cada caso de uso. Como respuesta a las fragilidades infraestructurales, el principio Resiliencia por arquitectura combina computación en el borde con nube híbrida, energía de respaldo y funcionamiento degradado sin conexión. Finalmente, el principio Sostenible y replicable desarrolla soluciones modulares con manuales y plantillas para escalado entre municipios.

Módulos del modelo

El modelo se estructura en nueve componentes o módulos interconectados que conforman un sistema integral. El Módulo 1 de Gobernanza y marco normativo local de datos e IA abarca ordenanzas de datos abiertos, acceso a la información, protección de datos, registro de algoritmos, política de IA municipal, y comités éticos y de



interoperabilidad. Sobre esta base institucional, el Módulo 2 de Conectividad y energía crítica prioriza escuelas, ambulatorios, sedes municipales y centros de barrio, con micro-redes solares, acuerdos con operadores de telecomunicaciones y redes LoRaWAN para telemetría. A partir de esta infraestructura, el Módulo 3 de Plataforma de datos implementa CKAN para catálogo, gestor NGSI-LD para contexto, lago de datos con políticas de acceso, interfaces de programación públicas, e identidades de datos y metadatos. Para aprovechar estos recursos, el Módulo 4 de Analítica cívica y MLOps establece un laboratorio con cuadernos reproducibles, almacenamiento de modelos, monitoreo de deriva, tarjetas de modelo y evaluación de impacto. Los beneficios se materializan en el Módulo 5 de Servicios urbanos inteligentes núcleo que comprende residuos, agua y fugas, iluminación, movilidad y tránsito, y riesgos y alertas. De cara al ciudadano, el Módulo 6 de Gobierno digital y trámites incluye carpeta ciudadana, pagos en línea, turnos, catastro y licencias, y expediente electrónico. Para garantizar equidad, el Módulo 7 de Inclusión y habilidades desarrolla Puntos Digitales de barrio, dispositivos compartidos, alfabetización, mediadores comunitarios y traducción accesible. En términos de desarrollo, el Módulo 8 de Desarrollo económico y empleo ofrece datos abiertos para emprendedores, ventanilla única para micro, pequeñas y medianas empresas, maratones de desarrollo cívico y fomento de tecnología gubernamental local. Como soporte transversal, el Módulo 9 de Financiamiento y alianzas crea una unidad de estructuración de proyectos, marcos de bonos verdes, sociales y vinculados a sostenibilidad, alianzas público-privadas con indicadores clave, y convenios con universidades, multilaterales y sector privado.



Hoja de ruta (36 meses)

La implementación del modelo se despliega en cuatro fases secuenciales. La Fase 0 de preparación durante los meses 0 a 3 comprende diagnóstico ISO 37120/22, plan de datos, ordenanza marco, comité de gobernanza, selección de dos casos de uso MVPu y plan financiero preliminar.

Posteriormente, la Fase 1 de implementación núcleo durante los meses 4 a 12 incluye instalación CKAN más NGSI-LD, pilotos de residuos y alumbrado, portal de transparencia y registro de algoritmos, alfabetización y Puntos Digitales, emisión de un micro-bono verde para LED y eficiencia energética en edificios públicos, y acuerdos con operadores para conectividad social.

A continuación, la Fase 2 de expansión durante los meses 13 a 24 abarca agua con detección de fugas, movilidad con semaforía adaptable, riesgos con alertas, carpeta ciudadana, laboratorio de IA cívica con AIA obligatoria, y alianzas público-privadas para telegestión y mantenimiento.

Finalmente, la Fase 3 de consolidación durante los meses 25 a 36 desarrolla gemelo urbano básico, portafolio de proyectos bancables, bonos verdes, sociales o vinculados a sostenibilidad, o vehículo de propósito especial para infraestructura, evaluación de impacto social y auditoría externa de IA, y replicación intermunicipal.

Casos de uso detallados

El modelo se concreta en casos de uso específicos con impacto verificable. El caso de uso de Residuos implementa sensores de llenado en contenedores críticos más optimización de rutas, generando ahorros de combustible y tiempo, y reducción de desbordes. En términos éticos, no se



usa visión artificial intrusiva, se publican métricas y se habilitan canales de quejas.

De manera similar, el caso de uso de Agua desarrolla analítica de presiones y consumos anómalos, cuadrillas inteligentes con priorización geoespacial, y metas de reducción de pérdidas no técnicas.

En el mismo sentido, el caso de uso de Alumbrado implementa telegestión LED con dimerización, micro-redes solares en plazas, y contratos basados en desempeño con cláusulas de ciberseguridad.

Por su parte, el caso de uso de Movilidad establece priorización semafórica para transporte público, mapas de accesibilidad, y pasos seguros escolares con sensores.

Complementariamente, el caso de uso de Riesgos integra estación meteorológica de bajo costo con reportes ciudadanos, protocolos de respuesta multi-agencia y mensajería segmentada.

Gobernanza operacional

La gobernanza operacional se estructura mediante instancias diferenciadas y complementarias. Un Comité de Datos e IA de carácter mensual cuenta con participación de alcaldía, servicios públicos, sociedad civil, academia, sector privado y defensoría. Asimismo, se establece una Oficina de Datos e Innovación (ODI) con custodia de estándares, calidad, seguridad, AIA y catálogo de modelos. De igual modo, una Mesa de Financiamiento y Proyectos estructura bonos y alianzas público-privadas, indicadores clave y reportes de impacto. Los mecanismos de participación incluyen presupuestos participativos digitales, mapeo colaborativo, mesas barriales y paneles ciudadanos de IA.



Métricas e indicadores

El sistema de métricas adopta ISO 37120/22 como núcleo complementado con indicadores multidimensionales. Las métricas operativas incluyen acuerdos de nivel de servicio de recolección, fugas detectadas y disponibilidad de luminarias. Por su parte, las métricas sociales abarcan uso de trámites digitales por estrato, satisfacción y reducción de tiempos. En el plano ético, las métricas comprenden número de AIA, hallazgos de sesgo y quejas resueltas. Las métricas climáticas miden kilovatios-hora ahorrados y toneladas de CO2 equivalente evitadas. Finalmente, las métricas económicas registran inversión de capital movilizada y empleos locales creados.

Gestión de riesgos

La gestión integral de riesgos aborda múltiples dimensiones. Los riesgos institucionales frente a rotación política se mitigan mediante blindaje con ordenanzas, datos abiertos y comités independientes. Los riesgos tecnológicos de dependencia del proveedor se contrarrestan con estándares abiertos, cláusulas de portabilidad y depósito de código en garantía. Los riesgos éticos de sesgos y vigilancia se controlan mediante AIA, auditorías, mínimos de privacidad y moratorias para reconocimiento facial. Los riesgos financieros de tipo de cambio y servicio de deuda se gestionan con instrumentos en moneda local cuando sea posible, coberturas y escalamiento por hitos. Los riesgos operativos de cortes de energía y conectividad se abordan mediante computación en el borde, micro-redes y aplicaciones con prioridad de funcionamiento sin conexión.



Discusión: condiciones de posibilidad en América Latina

La viabilidad del modelo propuesto debe analizarse a la luz de las condiciones estructurales de la región. La heterogeneidad fiscal y de capacidades implica que el modelo debe ser ligero en inversión de capital y fuerte en gobernanza y estándares, activando cooperación entre ciudades mediante consorcios de compra y plataformas compartidas.

Asimismo, la brecha digital de uso requiere políticas combinadas de acceso más habilidades más diseño accesible, evitando que el gobierno digital excluya.

En el plano regulatorio, los marcos normativos deben armonizar con leyes de acceso a información y protección de datos, avanzando en regulaciones locales de IA alineadas con UNESCO, OCDE y UE.

Resulta fundamental comprender los datos como infraestructura cívica, lo que demanda invertir en instituciones de datos como catálogos, custodios y oficinas de datos tanto como en sensores.

En cuanto al talento, se requieren alianzas universidad-municipio, carrera de datos públicos, contratación por misiones, y laboratorios con estudiantes y becarios de investigación.

Por último, la economía política exige transparencia y participación para reducir riesgos de captura corporativa o tecnocrática.

Conclusiones y aportes

Este artículo ha desarrollado una propuesta integral que articula teoría, estándares, ética, finanzas y práctica en un marco coherente y aplicable al contexto latinoamericano y específicamente venezolano. La contribución



principal reside en el MPI-VZLA, un modelo modular, replicable y financieramente realista que vincula gobernanza de datos e IA con servicios prioritarios y métricas verificables, ofreciendo una alternativa viable frente a las limitaciones estructurales que enfrentan los municipios de la región.

Desde el punto de vista teórico-metodológico, el trabajo demuestra que la adopción de estándares como ISO 37120/22 y NGSI-LD, junto con marcos éticos de UNESCO, OCDE, RGPD y Acta de IA europea, no solo reduce riesgos operativos y legales, sino que habilita interoperabilidad, facilita la rendición de cuentas y genera confianza ciudadana. Esta estandarización constituye un activo estratégico para municipios con recursos limitados que pueden beneficiarse de soluciones probadas y adaptables.

En términos prácticos, la hoja de ruta de 36 meses con sus cuatro fases diferenciadas ofrece una guía concreta para la implementación progresiva, permitiendo ajustes iterativos basados en evidencia y participación ciudadana. Los nueve módulos interconectados garantizan que las intervenciones tecnológicas se acompañen de las capacidades institucionales, normativas y de inclusión necesarias para su sostenibilidad.

El análisis de casos internacionales ha permitido identificar tanto lecciones transferibles como advertencias sobre riesgos a evitar. Barcelona enseña la importancia de los datos como infraestructura cívica, Singapur demuestra el valor de la visión de largo plazo y la gestión de talento, Seúl ilustra cómo la participación digital puede escalar cuando se articula con decisiones vinculantes, Medellín evidencia la relevancia de la continuidad política y la articulación social-tecnología, Curitiba recuerda que el diseño urbano y la gobernanza importan tanto como los sensores, y Río de Janeiro advierte



sobre los riesgos de soluciones vitrina desconectadas del impacto social real.

La dimensión ética atraviesa toda la propuesta como eje estructurante, no como añadido posterior. La Evaluación de Impacto Algorítmico obligatoria, el registro de sistemas algorítmicos, los comités de ética con representación ciudadana y las moratorias para tecnologías de alto riesgo como el reconocimiento facial configuran un sistema de salvaguardas que busca prevenir la automatización de la desigualdad advertida por Eubanks y otros autores críticos.

Los instrumentos financieros innovadores analizados, desde bonos verdes, sociales y sostenibles hasta captura de valor del suelo y financiamiento combinado, amplían el horizonte de posibilidades para municipios con severas restricciones fiscales. La clave reside en combinar estos instrumentos con métricas verificables y gobernanza participativa que prevengan el lavado verde y garanticen que los beneficios lleguen a las comunidades más vulnerables.

Como limitación, debe reconocerse que el modelo propuesto requiere voluntad política sostenida, capacidades institucionales mínimas y un ecosistema de aliados que no siempre está presente. Las condiciones de conectividad y energía en Venezuela plantean desafíos adicionales que demandan soluciones resilientes y adaptativas, como el enfoque de prioridad sin conexión y las micro-redes solares incorporadas en el diseño.

Para futuras investigaciones, se recomienda el desarrollo de pilotos en municipios venezolanos que permitan validar empíricamente los supuestos del modelo, generar evidencia sobre costos y beneficios reales, y ajustar los



componentes según las especificidades territoriales. También resulta prioritario profundizar en los mecanismos de cooperación intermunicipal y en las estrategias de retención de talento en contextos de alta emigración.

En síntesis, la principal lección que emerge de este trabajo es que la clave para ciudades inteligentes genuinas no es más tecnología sino mejor gobernanza y valor público mensurable. La tecnología es un medio, no un fin, y su despliegue debe estar subordinado a objetivos de equidad, sostenibilidad y participación democrática. El MPI-VZLA ofrece un camino posible para transitar hacia ese horizonte, reconociendo tanto las restricciones como las oportunidades del contexto latinoamericano.

Se reconoce y agradece el acervo de funcionarios públicos, académicos, comunidades y organizaciones que han contribuido a la discusión latinoamericana sobre ciudades inteligentes con justicia social, cuyas experiencias y reflexiones han nutrido este trabajo.

Glosario

AIA (Evaluación de Impacto Algorítmico): herramienta metodológica para evaluar sistemáticamente los riesgos, impactos y sesgos potenciales de sistemas algorítmicos antes y durante su implementación en el sector público.

Big data: conjunto de datos de gran volumen, velocidad y variedad que requieren tecnologías y métodos analíticos específicos para su procesamiento y extracción de valor.

Bus semántico: capa de interoperabilidad que utiliza modelos de datos estandarizados para intercambiar eventos y entidades entre diferentes



sistemas y aplicaciones, permitiendo la integración coherente de información urbana.

CKAN: plataforma de código abierto para la gestión y publicación de datos abiertos, ampliamente utilizada por gobiernos y organizaciones para crear portales de datos.

Computación en el borde (edge computing): paradigma de computación distribuida que acerca el procesamiento de datos al lugar donde se generan, reduciendo latencia y dependencia de conexiones centralizadas.

Financiamiento combinado (blended finance): enfoque de estructuración financiera que combina capital concesional de fuentes públicas o filantrópicas con inversión privada para movilizar recursos hacia proyectos de desarrollo.

Financiamiento por incremento fiscal (TIF): instrumento financiero que permite capturar el incremento proyectado del impuesto inmobiliario en un área de intervención para financiar mejoras de infraestructura en esa misma zona.

Gemelo digital: representación virtual dinámica de activos, procesos o sistemas urbanos que se actualiza continuamente con datos reales, permitiendo simulación, monitoreo y optimización de operaciones.

Gestor de contexto (Context Broker): componente de software que gestiona información de contexto en tiempo real, permitiendo publicar, consultar y suscribirse a cambios en entidades y sus atributos.

IoT (Internet de las Cosas): red de objetos físicos equipados con sensores, software y conectividad que les permite recopilar e intercambiar datos.



LoRaWAN: protocolo de comunicación inalámbrica de largo alcance y bajo consumo energético, diseñado para conectar dispositivos IoT en redes de área amplia.

MLOps: conjunto de prácticas, herramientas y metodologías para gestionar el ciclo de vida completo de modelos de aprendizaje automático en entornos de producción, incluyendo desarrollo, despliegue, monitoreo y actualización.

NGSI-LD: especificación de interfaz de programación desarrollada por ETSI para la gestión de información de contexto, basada en grafos de conocimiento y datos enlazados.

Valor público: conjunto de beneficios sociales, ambientales, económicos y de confianza institucional generados por una política, programa o servicio público, medibles tanto en términos cuantitativos como cualitativos.

XAI (Inteligencia Artificial Explicable): conjunto de técnicas y métodos que permiten comprender y explicar las decisiones y predicciones de sistemas de inteligencia artificial.



Referencias

- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3-21. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2017). *Expandiendo el uso de la valorización del suelo: La captura de plusvalías en América Latina y el Caribe*. <https://publications.iadb.org/>
- CAF – Banco de Desarrollo de América Latina. (2019). *Ciudades con futuro: Visión CAF 2019*. <https://www.caf.com/>
- Cohen, B. (2012, 11 de septiembre). What exactly is a smart city? *Fast Company*. <https://www.fastcompany.com/1680538/what-exactly-is-a-smart-city>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2023). *Estado de la banda ancha en América Latina y el Caribe 2023*. <https://www.cepal.org/>
- Eubanks, V. (2018). *Automating inequality: How high-tech tools profile, police, and punish the poor*. St. Martin's Press.
- European Telecommunications Standards Institute. (2024). *Context information management (CIM)*; NGSI-LD API (ETSI GS CIM 009 V1.8.1). https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/CIM/001_099/009/
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, N., & Meijers, E. (2007). *Smart cities: Ranking of European medium-sized cities [Informe final]*. Vienna University of Technology, Centre of



Regional Science. http://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf

Greenfield, A. (2013). *Against the smart city*. Do Projects.

GSMA. (2024). *The mobile economy Latin America 2024*.
<https://www.gsma.com/mobileeconomy/latam/>

Hollands, R. G. (2008). Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial? *City*, 12(3), 303-320.
<https://doi.org/10.1080/13604810802479126>

International Capital Market Association. (2024). *Green bond principles: Voluntary process guidelines for issuing green bonds*.
<https://www.icmagroup.org/sustainable-finance/the-principles-guidelines-and-handbooks/green-bond-principles-gbp/>

International Organization for Standardization. (2018). *Sustainable cities and communities – Indicators for city services and quality of life* (ISO 37120:2018). <https://www.iso.org/standard/68498.html>

International Organization for Standardization. (2019). *Sustainable cities and communities – Indicators for smart cities* (ISO 37122:2019).
<https://www.iso.org/standard/69050.html>

Kitchin, R. (2014). The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*, 79(1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10708-013-9516-8>

Komninos, N. (2015). *The age of intelligent cities: Smart environments and innovation-for-all strategies*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315769349>



Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). *Recommendation of the Council on Artificial Intelligence* (OECD/LEGAL/0449).

<https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449>

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2020). *The OECD digital government policy framework: Six dimensions of a digital government* (OECD Public Governance Policy Papers, No. 02).

<https://doi.org/10.1787/f64fed2a-en>

UNESCO. (2021). *Recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial*.

https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137_spa

Unión Europea. (2024). Reglamento (UE) 2024/1689 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de junio de 2024, por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial (Reglamento de Inteligencia Artificial). *Diario Oficial de la Unión Europea*, L 2024/1689. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj>

World Bank. (2021). *Blended finance for infrastructure and development*.

<https://www.worldbank.org/>

