BRECHAS DIGITALES EN YUCATÁN Y EL PAPEL ESTRATÉGICO DEL IXP LOCAL EN LA INCLUSIÓN DIGITAL.

Autor: Miguel Angel Quezada Koo

RESUMEN

Esta investigación analiza las brechas digitales en Yucatán y evalúa el papel estratégico de Internet Exchange Services Yucatán como infraestructura para promover la inclusión digital regional. El estudio adopta un enfoque mixto exploratorio-descriptivo, combinando análisis cuantitativo del Score Municipal de Conectividad con revisión documental sistemática de fuentes secundarias.

Los hallazgos revelan un panorama dual: aunque el 73.6% de los hogares yucatecos cuenta con conexión a Internet en 2024, persisten brechas críticas multidimensionales. El indicador de calidad del servicio es el más bajo con 52.13 sobre 100 puntos, significativamente inferior a los indicadores de cobertura y competencia. Existe una asimetría territorial preocupante: mientras solo el 2% de la población carece de acceso, el 16.74% del territorio objetivo permanece desconectado, afectando desproporcionadamente a comunidades rurales dispersas.

La investigación identifica a Internet Exchange Services Yucatán como un activo estratégico subutilizado que opera bajo un modelo de gobernanza Triple Hélice integrando academia, gobierno e iniciativa privada. Los proveedores conectados al punto de intercambio reportan reducciones significativas en latencia y costos operativos. Sin embargo, la adopción limitada entre proveedores locales impide materializar su potencial transformador.

Las conclusiones subrayan la necesidad de transitar de políticas centradas exclusivamente en cobertura hacia estrategias integrales que prioricen la mejora de calidad del servicio, promuevan activamente la adopción del punto de intercambio mediante incentivos regulatorios, y fortalezcan el modelo de gobernanza colaborativa. Se requieren intervenciones coordinadas entre sectores para cerrar brechas estructurales y garantizar conectividad equitativa en toda la península.

Palabras claves: Brecha digital / Conectividad / Inclusión digital / Internet Exchange Point / Yucatán

DIGITAL DIVIDES IN YUCATAN AND THE STRATEGIC ROLE OF THE LOCAL IXP IN PROMOTING DIGITAL INCLUSION

ABSTRACT

This research analyzes the digital divides in Yucatán and evaluates the strategic role of Internet Exchange Services Yucatán as infrastructure to promote regional digital inclusion. The study adopts an exploratory-descriptive mixed approach, combining quantitative analysis of the Municipal Connectivity Score with systematic documentary review of secondary sources.

The findings reveal a dual landscape: although 73.6% of Yucatecan households have Internet connection in 2024, critical multidimensional gaps persist. The service quality indicator is the lowest with 52.13 out of 100 points, significantly lower than coverage and competition indicators. There is a worrying territorial asymmetry: while only 2% of the population lacks access, 16.74% of the target territory remains disconnected, disproportionately affecting dispersed rural communities.

The research identifies Internet Exchange Services Yucatán as an underutilized strategic asset that operates under a Triple Helix governance model integrating academia, government, and private initiative. Providers connected to the exchange point report significant reductions in latency and operational costs. However, limited adoption among local providers prevents materializing its transformative potential.

The conclusions underscore the need to transition from policies focused exclusively on coverage toward comprehensive strategies that prioritize service quality improvement, actively promote exchange point adoption through regulatory incentives, and strengthen the collaborative governance model. Coordinated interventions among sectors are required to close structural gaps and guarantee equitable connectivity throughout the peninsula.

Keywords: Connectivity / Digital divide / Digital inclusion / Internet Exchange Point / Yucatán

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN

ABSTRACT

1. INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO

2. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA 2.1 Fundamentos teóricos de la brecha digital 2.1.1 Evolución conceptual y definiciones 2.1.2 Dimensiones de la brecha digital 2.1.3 Brecha digital en el contexto económico 2.1.4 Brecha digital en educación 2.2 Internet Exchange Points 2.2.1 Definición y función técnica 2.2.2 Modelos de gobernanza de IXPs 2.2.3 Beneficios técnicos y económicos de los IXPs 2.2.4 Desafíos para IXP

3. CARACTERIZACIÓN DE BRECHAS DIGITALES EN YUCATÁN 3.1 Panorama general de conectividad en la Península 3.2 Score Municipal de Conectividad: metodología y componentes 3.3 Análisis de brecha de cobertura 3.4 Brechas por dimensión: cobertura, calidad y competencia 3.4.1 Brecha de cobertura 3.4.2 Brecha de calidad 3.4.3 Brecha de competencia 3.5 Ranking de municipios: mejores y peores desempeños 3.6 Principales brechas identificadas

4. EL IXP YUCATÁN (IXSY): INFRAESTRUCTURA ESTRATÉGICA PARA LA INCLUSIÓN DIGITAL 4.1 ¿Qué es IXSY? Modelo de gobernanza y misión 4.1.1 Modelo de gobernanza: Triple Hélice 4.1.2 Estructura organizacional 4.1.3 Misión y objetivos estratégicos 4.2 IXSY como herramienta para cerrar brechas digitales 4.2.1 IXSY como activo estratégico

5. METODOLOGÍA 5.1 Enfoque y diseño de investigación 5.2 Población y muestra 5.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 5.3.1 Revisión documental y análisis de fuentes secundarias 5.3.2 Entrevistas individuales 5.3.3 Análisis de datos técnicos y métricas operativas 5.4 Consideraciones éticas 5.5 Limitaciones metodológicas

6. HALLAZGOS Y ANÁLISIS 6.1 La naturaleza multidimensional de las brechas digitales en Yucatán 6.2 Las barreras estructurales que perpetúan la exclusión digital 6.3 El IXP local como infraestructura estratégica subutilizada 6.4 Las oportunidades estratégicas identificadas para cerrar las brechas 6.5 Hallazgos preliminares

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 7.1 Conclusiones sobre el diagnóstico de brechas digitales 7.2 Conclusiones sobre el papel estratégico de IXSY 7.3 Recomendaciones estratégicas preliminares

BIBLIOGRAFÍA CITADA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Niveles de Brecha Digital

Tabla 2.2 Modelos de Gobernanza de Puntos de Intercambio de Internet (IXP)

Tabla 2.3 Beneficios de la Conexión a los IXP

Tabla 3.1 Indicadores de conectividad por estado

Tabla 3.2 Clasificación del Score Municipal de Conectividad

Tabla 3.3 Brecha digital de cobertura por estado (redes fijas)

Tabla 3.4 Top 10 municipios con mejor SMC

Tabla 3.5 10 municipios con peor SMC

Tabla 4.1 Potencial de IXSY para abordar brechas identificadas

Tabla 5.1 Muestra por conveniencia (estimación conservadora)

Tabla 6.1 Clasificación del SMC por zona territorial en Yucatán

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Brecha Digital – Cobertura Poblacional por estado

Figura 3.2 Top 10 municipios

Figura 3.3 Bottom 10 municipios

Figura 4.1 Modelo de la triple Hélice

Figura 4.2 Organigrama de IXSY

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, el acceso a Internet ha dejado de ser un privilegio para convertirse en un derecho fundamental y en un habilitador clave del desarrollo socioeconómico. En este contexto, Arango-Lopera (2022) comenta que la brecha digital es un concepto que comenzó a discutirse en los países anglosajones desde mediados de la década de 1990. Este antecedente histórico permite entender cómo la discusión sobre el acceso y las desigualdades tecnológicas ha evolucionado con el tiempo. Sin embargo, a pesar de su importancia estratégica, en México el acceso a Internet sigue siendo desigual entre regiones, lo que genera brechas económicas y sociales que limitan el progreso del país (Romero García et al., 2023). En este contexto nacional y ante un escenario global de transformación digital acelerada, el estado de Yucatán no es la excepción. La entidad enfrenta el desafío de garantizar que todos sus habitantes —independientemente de su ubicación geográfica o condición socioeconómica— puedan integrarse plenamente a la era digital. Superar estas desigualdades no solo representa un reto tecnológico, sino también una condición necesaria para impulsar el desarrollo inclusivo y sostenible del estado.

Los datos más recientes de la ENDUTIH (INEGI, 2025) muestran avances significativos pero insuficientes: en Yucatán, mientras que en 2019 únicamente el 55.8% de los hogares contaba con conexión a Internet, para 2024 esta cifra alcanzó el 73.6%. Sin embargo, aproximadamente uno de cada cuatro hogares yucatecos (26.4%) permanece desconectado, y esta exclusión se concentra especialmente en zonas rurales y comunidades con mayores índices de marginación.

Para comprender las implicaciones sociales de la conectividad en México, es indispensable analizar la brecha digital y sus múltiples manifestaciones. “La brecha digital es, ante todo, expresión de la desigualdad en el uso y acceso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), y como desigualdad es generadora de procesos de exclusión social” (Martínez López, 2020, p.267). Esta brecha se manifiesta en múltiples dimensiones: acceso físico a infraestructura, asequibilidad de servicios, habilidades digitales, calidad de conectividad y capacidad de uso significativo. Las consecuencias de estas brechas son tangibles en ámbitos educativos, económicos, de servicios públicos y de participación ciudadana, perpetuando desigualdades preexistentes.

En este contexto emerge Internet Exchange Services Yucatán (IXSY), es una asociación civil neutral y comprometida con fortalecer la infraestructura digital del sureste mexicano, administrando el Nodo IXP de Yucatán para optimizar el intercambio local de tráfico, mejorar la conectividad regional y promover un ecosistema tecnológico en colaboración con los sectores público, privado y académico . A pesar de estos beneficios potenciales, el conocimiento sobre IXSY y su aprovechamiento por parte del ecosistema digital yucateco permanece limitado.

La presente investigación nace de la necesidad de comprender integralmente las brechas digitales en Yucatán y el papel que puede desempeñar IXSY como herramienta estratégica para su reducción. Aunque existe abundante literatura sobre brechas digitales a nivel nacional e internacional, el análisis específico del papel de los IXP como instrumentos de inclusión digital en contextos regionales mexicanos constituye un área de investigación emergente con limitado desarrollo académico. Este estudio ofrecerá diagnóstico actualizado para actores del ecosistema digital, y contribuirá a visibilizar las necesidades de comunidades desconectadas como derecho y herramienta de desarrollo.

2. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA

La presente sección establece los fundamentos teóricos y conceptuales que sustentan esta investigación. A través del análisis sistemático de la literatura existente, se busca: (1) construir las bases conceptuales sobre brechas digitales e Internet Exchange Points, (2) identificar los vacíos de conocimiento que justifican este estudio, y (3) posicionar la investigación dentro del campo académico.

2.1 Fundamentos teóricos de la brecha digital

2.1.1 Evolución conceptual y definiciones

El concepto de brecha digital ha evolucionado significativamente desde su acuñación a mediados de la década de 1990. Inicialmente entendida simplemente como la diferencia entre quienes tienen y no tienen acceso a computadoras e Internet, la noción se ha complejizado para abarcar dimensiones múltiples e interrelacionadas de la desigualdad digital.

Para comprender la complejidad del acceso desigual a la conectividad, resulta útil retomar definiciones que evidencian su trasfondo estructural. Alva de la Selva (2015) ofrece una definición que enfatiza la dimensión de acceso al describir la brecha digital "como una nueva expresión de la desigualdad, en términos de las inequidades sociales en materia de acceso, uso y apropiación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación" (p.266). Esta conceptualización es clave, pues evidencia que la brecha digital no se limita a un problema técnico o de infraestructura, sino que refleja desigualdades estructurales más profundas que, a su vez, reproducen y generan nuevas formas de exclusión social.

En conjunto, estas perspectivas permiten comprender que la brecha digital ha dejado de concebirse únicamente como una cuestión técnica o de acceso, para reconocerse como un fenómeno complejo que refleja desigualdades estructurales más amplias. Además, esta brecha no se limita a un aspecto tecnológico, sino que también involucra dimensiones políticas, económicas y sociales que afectan tanto el acceso oportuno y eficiente a información actualizada como el desarrollo cognitivo y las habilidades necesarias para el uso de las TIC, con repercusiones directas en múltiples capacidades individuales y colectivas (Romualdo Toscano, 2022). En definitiva, comprender la evolución conceptual de la brecha digital permite reconocerla como un fenómeno multidimensional cuyo abordaje exige políticas integrales capaces de reducir desigualdades estructurales y garantizar una inclusión digital efectiva.

2.1.2 Dimensiones de la brecha digital

La literatura reciente ha evidenciado que la brecha digital se manifiesta en distintos niveles, lo que permite comprender su carácter multidimensional. En este sentido, se reconocen tres categorías principales: la brecha de acceso, la brecha vinculada al uso y la brecha relacionada con los beneficios que las personas logran obtener de las tecnologías digitales (Ragnedda & Laura Ruiu, 2017) . Estas categorías permiten analizar de manera más precisa cómo se configuran las desigualdades digitales y sirven como base para una comprensión más estructurada del fenómeno.

Tabla 2.1
Niveles de Brecha Digital

Nivel de Brecha Digital	Descripción y Características
Primer Nivel (Brecha de Acceso)	**Definición:** Se refiere a la diferencia entre aquellas personas que tienen acceso a un aparato digital con conexión a internet y los grupos de personas que no tienen acceso. **Características principales:** • Disponibilidad de dispositivos digitales (computadoras, smartphones, tablets) • Conectividad a internet

Nivel de Brecha Digital	Descripción y Características
	• Infraestructura tecnológica disponible **Enfoque:** La división fundamental entre los que sí tienen y los que no tienen acceso a las tecnologías digitales.
Segundo Nivel (Brecha de Uso)	**Definición:** Agrupa a aquellas personas que, a pesar de contar con internet en su medio digital, no lo utilizan de manera eficiente y no pueden realizar algunas tareas relacionadas con las habilidades digitales. **Características principales:** • Destrezas y habilidades digitales de las personas • Capacidad para realizar tareas específicas con las TIC • Aprovechamiento de los beneficios que la tecnología puede proporcionar • Finalidad del uso de internet (para qué utilizamos el internet) **Enfoque:** La diferencia en el uso efectivo y eficiente de las tecnologías digitales entre quienes tienen acceso.
Tercer Nivel (Brecha relacionada con los beneficios de tecnologias digitales)	**Definición:** Se relaciona con los beneficios sociales originados por los usos recurrentes del internet. Existe una diferencia entre aquellos grupos de personas que se manejan cómodamente en internet (ciudadanos digitales plenos) y los que no. **Componentes de la ciudadanía digital plena:** • Ciudadanía cívica: Derecho a la libertad individual, de culto y otros derechos fundamentales • Ciudadanía social: Consideración del bienestar económico • Ciudadanía política: Derecho en el ejercicio del poder **Subdivisiones:** • Brecha de apropiación: Capacidad de integrar las TIC en la vida cotidiana • Brecha de participación: Capacidad de ejercer plenamente la ciudadanía digital **Enfoque:** Los beneficios sociales derivados del uso recurrente y la participación activa en el entorno digital.

Fuente: Elaboración propia basada en Valle Obando (2024).

Esta conceptualización multidimensional reconoce que la brecha digital constituye simultáneamente un problema de infraestructura, de habilidades, de oportunidades y de participación social, cuya comprensión requiere un análisis integral que trascienda la mera dicotomía entre acceso y no acceso. Las intervenciones orientadas a reducir estas desigualdades deben, por tanto, abordar estos múltiples niveles de manera integrada y sistémica, considerando las interdependencias entre cada dimensión. En este sentido, la superación de la brecha digital de primer nivel, aunque necesaria, resulta insuficiente sin el desarrollo paralelo de competencias digitales y la generación de oportunidades reales de participación y apropiación tecnológica que permitan la inclusión digital plena de todos los sectores de la sociedad.

2.1.2 Brecha digital en el contexto económico

La transformación digital ha redefinido de manera significativa los procesos económicos a nivel global. En este escenario, el fortalecimiento de los sistemas nacionales de innovación se vuelve un objetivo central para cualquier estrategia de competitividad sistémica, tanto en el ámbito público como en el privado. Las empresas

dedicadas a la producción de bienes y servicios deben asumir un papel más activo en la generación de nuevas tecnologías, invirtiendo y participando en actividades de Investigación y Desarrollo (I+D), mientras que el sector público tiene la responsabilidad de garantizar niveles suficientes de investigación básica (CEPAL, 2002). En conjunto, estos esfuerzos son indispensables para aprovechar plenamente las oportunidades de la transformación digital y asegurar un crecimiento económico sostenible e inclusivo.

La brecha digital en el ámbito económico se manifiesta en la capacidad desigual de empresas, sectores y trabajadores para integrarse plenamente a la economía digital. Las industrias de las TIC poseen un impacto transversal en toda la estructura productiva, ya que pueden impulsar la productividad, fortalecer la competitividad y promover el crecimiento económico; por ello, su adopción debería extenderse al mayor número posible de sectores y subsectores (Arellano Morales, 2020). Esta disparidad genera consecuencias concretas: las empresas sin acceso a tecnologías digitales, o sin capacidad para incorporarlas adecuadamente en sus procesos, enfrentan desventajas competitivas cada vez más marcadas. Los trabajadores sin habilidades digitales ven restringidas sus oportunidades de empleo y movilidad laboral, mientras que las regiones con infraestructura digital insuficiente pierden capacidad para atraer inversiones y desarrollar actividades intensivas en conocimiento.

Estos desafíos globales se manifiestan con particular intensidad en América Latina, donde la región enfrenta una encrucijada decisiva para su desarrollo. La urgencia radica en superar simultáneamente las brechas de pobreza y de acceso a Internet mientras se consolida la incorporación a la era 4.0, pues de no hacerlo existe el riesgo de profundizar el rezago y ampliar los niveles de pobreza vinculados al desempleo (Rodríguez-Alegre et al., 2021). Avanzar hacia una inclusión digital efectiva resulta, por tanto, fundamental para garantizar un crecimiento sostenible y evitar una ampliación de las desigualdades existentes en la región.

2.1.3 Brecha digital en educación

El ámbito educativo representa uno de los espacios donde las brechas digitales tienen consecuencias más dramáticas y duraderas. La alfabetización digital no debe entenderse como una habilidad técnica aislada, sino como un conjunto complejo de competencias sociales, culturales y comunicativas necesarias para participar efectivamente en sociedades digitales. Como explica Jiménez Condori (2024), este conjunto progresivo de habilidades y conocimientos tecnológicos constituye la base para el desarrollo de competencias digitales más amplias, lo que demuestra que su fortalecimiento es fundamental para potenciar dichas capacidades en la sociedad actual.

La brecha digital en educación se manifiesta en múltiples niveles: desde el acceso desigual a dispositivos y conectividad en hogares y escuelas, hasta las diferencias en la calidad de la infraestructura tecnológica, las disparidades en la capacitación docente para integrar pedagógicamente las tecnologías y la desigual distribución de oportunidades para desarrollar competencias digitales avanzadas. Aunque los hogares más vulnerables cuentan casi universalmente con televisión y teléfonos móviles, su acceso a computadoras y tabletas es considerablemente más limitado, lo que deriva en que uno de cada cinco niños de estos hogares no disponga de un equipo adecuado para realizar sus tareas escolares (Negueruela & Torres, 2020). Esta situación evidencia que las desigualdades en el acceso a recursos digitales continúan siendo una barrera crítica para garantizar una educación equitativa en la era digital.

La pandemia de COVID-19 evidenció de manera contundente estas desigualdades cuando los sistemas educativos tuvieron que migrar abruptamente a modalidades remotas. La brecha digital y sus efectos en el ámbito educativo se convirtieron en una muestra clara de las profundas inequidades sociales que la crisis sanitaria puso de manifiesto (Montenegro et al., 2020). Quedó claro, entonces, que la conectividad digital se ha convertido en un factor determinante para garantizar la equidad educativa.

Frente a la acelerada transformación digital global, resulta imprescindible replantear los modelos educativos para responder adecuadamente a las nuevas demandas laborales y sociales. Todos los actores involucrados en los procesos formativos deben reconocer la urgencia de cerrar la brecha digital como condición esencial para garantizar la igualdad de oportunidades y promover un desarrollo verdaderamente inclusivo en Latinoamérica y en el mundo (Moreno Lizarazo, 2023).

Para avanzar en esta dirección, fortalecer el sistema educativo desde un enfoque dual-digital es indispensable para reducir brechas y preparar a la población ante un futuro caracterizado por mayores riesgos de desempleo en una economía cada vez más digitalizada. La experiencia internacional ofrece modelos valiosos: países como Alemania han logrado posicionarse a nivel global mediante la implementación sistemática y progresiva de un modelo de educación dual alineado con la revolución 4.0 (Rodríguez-Alegre et al., 2021). Sin embargo, la articulación entre políticas públicas y sector privado necesaria para replicar estos modelos aún está lejos de concretarse en Latinoamérica, lo que subraya la urgencia de desarrollar estrategias integrales que permitan a la región cerrar estas brechas estructurales.

2.2 Internet Exchange Points

2.2.1 Definición y función técnica

Los Internet Exchange Points (IXPs) o Puntos de Intercambio de Internet (IXP) constituyen una pieza fundamental de la arquitectura global de Internet, aunque frecuentemente permanecen invisibles para usuarios finales. En términos técnicos, un IXP es un espacio físico, generalmente neutral, donde múltiples redes se interconectan para intercambiar tráfico local mediante un conmutador. Puede ser desarrollado por diversos actores como organizaciones sin fines de lucro, asociaciones de ISP, empresas neutrales con fines de lucro, instituciones académicas o gubernamentales y grupos informales de redes (Internet Society, 2020). En palabras más sencillas, un IXP funciona como un punto de encuentro donde las redes se conectan entre sí de forma directa, lo que hace que el tráfico local viaje más rápido, con menor costo y sin necesidad de salir a rutas internacionales.

Para comprender de manera precisa la dinámica operativa de un Punto de Intercambio de Internet, es útil revisar su funcionamiento técnico. Un IXP consiste en un conmutador Ethernet similar a los utilizados para interconectar equipos dentro de una oficina y en esencia, cuando una red se integra a un IXP, enlaza uno o varios de sus enrutadores a este conmutador, a través del cual puede enviar tráfico directamente hacia los enrutadores de las demás redes participantes (DCD, 2022). Esta explicación permite visualizar de forma clara cómo el IXP facilita el intercambio eficiente de tráfico entre múltiples redes participantes.

2.2.2 Modelos de gobernanza de IXPs

Los IXPs pueden organizarse bajo diferentes modelos de gobernanza y propiedad, cada uno con implicaciones distintas para su operación, neutralidad y sostenibilidad. Internet Society (2025) identifica varios modelos prevalentes:

Tabla 2.2
Modelos de Gobernanza de Puntos de Intercambio de Internet (IXP)

Modelo	Gobernanza y Estructura	Propósito y Financiamiento
1. IXP Operado por Miembros / Impulsado por la Comunidad	Gobernado por sus miembros a través de una junta directiva electa. La junta nombra un CEO o Director Gerente para supervisar operaciones diarias.	Organizaciones sin fines de lucro y democráticas. Operan con objetivo de recuperar costos (cost-recovery basis). Cualquier excedente es reinvertido en el IXP o comunidad.
2. IXP Operado por Asociación de ISP	Proveedores de Servicios de Internet (ISP) principales colaboran formando un consorcio. Desarrollan colectivamente estatutos fundacionales y procedimientos operativos.	Meta: optimizar la interconectividad y el rendimiento regional de la red.
3. IXP con Fines de Lucro	Estructurado como empresa comercial. Administrado por	Objetivo principal: generar ingresos. Ofrecen amplio rango de servicios e

Modelo	Gobernanza y Estructura	Propósito y Financiamiento
	entidades privadas enfocadas en rentabilidad.	invierten en infraestructura para atraer base de clientes diversa.
4. IXP Administrado por Academia/Regulador	Gestión recae en institución académica o comisión de educación superior, a menudo en colaboración con organismo regulador.	Apoya objetivos de investigación, educación y desarrollo. Funciona como punto de peering neutral para varios operadores de red.
5. IXP Operado por un ISP	Gestionado por un único ISP, generalmente el operador titular o uno de los principales proveedores.	Apunta a la rentabilidad. Desafío clave: preocupaciones sobre neutralidad, ya que operador es también competidor. Requiere medidas adicionales para garantizar acceso justo y neutral.
6. IXP Administrado Informalmente	Estructura informal sin acuerdos formales. Opera basándose en entendimientos colaborativos.	Depende en gran medida de la buena voluntad de la comunidad. . Se debate si este modelo puede funcionar a largo plazo

Fuente: Elaboración propia basada en (Internet Society, 2025)

En síntesis, la diversidad de modelos de gobernanza refleja que no existe una única fórmula para operar un IXP, sino enfoques que responden a necesidades, contextos y recursos locales. La elección del modelo adecuado influye directamente en la neutralidad, sostenibilidad y capacidad de crecimiento del punto de intercambio. Por ello, comprender estas diferencias es esencial para diseñar estructuras de gobernanza que fortalezcan el ecosistema digital y potencien el desarrollo de la conectividad regional.

2.2.3 Beneficios de la Conexión a los IXP

Aunque la investigación académica sobre los IXP y su impacto en el desarrollo digital aún es limitada, estudios de caso han comenzado a documentar beneficios significativos. Un ejemplo destacado es el caso de CABASE, el IXP de Argentina, que en 2022 presentó un estudio en el que se detallan los principales beneficios de su implementación y operación.

Tabla 2.3
Beneficios de la Conexión a los IXP

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN DE BENEFICIOS
Beneficios Técnicos y de Rendimiento	• **Mejora en la calidad de los servicios tecnológicos:** Se percibe una mayor calidad de servicio y una menor latencia en las conexiones. • **Conectividad con CDN:** Los miembros obtienen mejor conectividad con las Redes de Distribución de Contenido (CDN), así como acceso directo a los cachés de las CDN. Las CDN ayudan a propagar el tráfico de Internet de manera más rápida al tener servidores distribuidos geográficamente. • **Optimización y Reducción de Tráfico:** Se logra la optimización del tráfico local y la reducción del tráfico internacional.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN DE BENEFICIOS
	Inicialmente, muchos miembros esperaban obtener una resolución al tráfico local. • **Seguridad en el tráfico:** Incremento en la seguridad del tráfico intercambiado. • **Fácil escalabilidad:** Capacidad de escalar los servicios de manera eficiente conforme aumenta la demanda.
Beneficios Económicos	• **Reducción de Costos:** Uno de los beneficios más significativos es la disminución en el costo del tráfico local e internacional. La reducción de costos fue el beneficio más esperado por los ISP (92% de los encuestados lo esperaba) al conectarse al IXP. • **Ahorro en los costos generales:** El ahorro en los costos se considera un aspecto esencial para la operación actual de los ISP. • **Negociación de precios:** Mejores condiciones para la negociación de precios con proveedores de servicios.
Beneficios Comunitarios y Estratégicos	• **Networking:** Los miembros se benefician del networking entre colegas, así como del contacto con otros proveedores o carriers. Los miembros perciben las oportunidades de intercambio de negocios con otros participantes como un beneficio importante. • **Desarrollo Comunitario:** El IXP actúa como catalizador de nuevas iniciativas e intercambio de experiencias y conocimientos entre sus participantes. • **Conocimiento y Capacitación:** El IXP se percibe como una fuente importante de conocimiento, sirviendo como catalizador de nuevas tecnologías, mejores prácticas y nuevas iniciativas. Los miembros valoran la posibilidad de obtener capacitaciones técnicas, además del acceso a información en tecnología. • **Sentido de pertenencia:** Existe un beneficio percibido de pertenencia a una comunidad de miembros. • **Oportunidades adicionales:** Se mencionan la incorporación de servicios adicionales como IPTV y apoyo en temas regulatorios.

Fuente: Elaboración propia basada en (LAC-IX, 2022)

Los IXP se han consolidado como un componente esencial para el desarrollo y fortalecimiento del ecosistema de Internet, al fomentar que el tráfico local permanezca dentro del ámbito local y se gestione de manera más eficiente. Los beneficios de conectarse a un IXP abarcan tres dimensiones fundamentales: mejoras técnicas y de rendimiento, eficiencias económicas, y ventajas comunitarias y estratégicas. En conjunto, estos beneficios no solo optimizan la operación diaria de las redes, sino que también contribuyen a la resiliencia, competitividad y sostenibilidad del entorno digital en cada región. Conectarse a un IXP, por tanto, representa una decisión estratégica que impulsa el crecimiento tecnológico y fortalece la infraestructura de Internet en beneficio de toda la comunidad.

2.2.4 Desafíos para IXP

Si bien los IXP representan un componente estratégico para el fortalecimiento del ecosistema digital, su implementación y funcionamiento continúan enfrentando desafíos que condicionan su alcance, eficiencia y

sostenibilidad. Estos retos no solo se derivan de factores técnicos o infraestructurales, sino que también involucran dimensiones organizativas, económicas, sociales y regulatorias que influyen en su adopción. Identificar y analizar estas limitantes resulta esencial en el marco de la presente investigación, pues permite delimitar áreas de oportunidad y orientar propuestas que fortalezcan el rol de los IXP en la región.

Entre los desafíos identificados en la literatura especializada, destaca en primer término la dimensión de la gobernanza.Uno de los desafíos centrales corresponde al mantenimiento de la neutralidad, condición que requiere una gobernanza transparente, imparcial y ampliamente aceptada por todos los participantes (Jalife, 2024). Este principio de imparcialidad resulta fundamental para la viabilidad operativa de los IXP.Dado a que la literatura subraya que tanto la ubicación como la administración de un IXP deben ser neutrales y ajenas a influencias comerciales o gubernamentales, toda vez que la pérdida de confianza en su gestión suele derivar en el fracaso de estas iniciativas (Internet Society, 2015). En consecuencia, la neutralidad se configura como un requisito se configura para garantizar la legitimidad y participación sostenida de los diversos actores en el ecosistema de intercambio.

Estrechamente vinculada con la gobernanza neutral se encuentra la dimensión de seguridad y privacidad del tráfico, que constituye otra preocupación relevante. Al actuar como nodos críticos de intercambio, los IXP se convierten en objetivos susceptibles a ataques, incluyendo incidentes DDoS, lo que exige el establecimiento de medidas de seguridad robustas para proteger datos sensibles y garantizar la continuidad operativa (GreenCloudVPS, 2025; Jalife, 2024). De esta manera, la capacidad de resguardo de la infraestructura y el tráfico se posiciona como un factor determinante para asegurar la confiabilidad y resiliencia de los IXP frente a amenazas cibernéticas.

Más allá de las consideraciones técnicas y de seguridad, se identifica como elemento clave la necesidad de colaboración y construcción de confianza entre los operadores que conforman el ecosistema local.. Debido a que muchos de ellos compiten entre sí, su participación en un IXP puede presentar reticencias iniciales. Estudios previos indican que el desarrollo de un IXP depende mayoritariamente del fortalecimiento de relaciones de cooperación, al punto de señalar que su implementación requiere “80% ingeniería social y 20% ingeniería técnica” (Internet Society, 2015). Así pues, la superación de las dinámicas competitivas mediante la construcción de mecanismos de confianza mutua emerge como prerequisito fundamental para la consolidación de iniciativas de intercambio local.

A los retos de gobernanza, seguridad y cooperación entre actores, se suman desafíos de naturaleza técnica derivados de la expansión del volumen de datos intercambiados.A estos factores se suman los problemas de escalabilidad derivados del crecimiento acelerado del tráfico, especialmente por la adopción de servicios en la nube y transmisión de video, que demandan capacidades técnicas y de infraestructura más robustas (GreenCloudVPS, 2025). Por consiguiente, la proyección y adaptación continua de la capacidad instalada representa un desafío operativo constante que condiciona la efectividad a largo plazo de los IXP.

En términos económicos, los IXP enfrentan desafíos de sostenibilidad financiera, pues requieren inversiones significativas y costos operativos continuos. Esto se agrava ante los altos costos de instalación de infraestructura y centros de datos (GreenCloudVPS, 2025), así como por la ausencia de un entorno de conectividad propicio, caracterizado por limitaciones fiscales, altos costos de fibra local y reglas complejas para el despliegue de redes (Internet Society, 2015). La viabilidad económica de los IXP depende, entonces, de la capacidad para desarrollar modelos de negocio sostenibles que equilibren la necesidad de inversión inicial con la generación de valor compartido entre los participantes.

Finalmente, el entorno regulatorio constituye un área de particular complejidad para el desarrollo y consolidación de los IXP. La evidencia sugiere que tanto la ausencia de marcos normativos adecuados como su excesiva rigidez pueden inhibir el crecimiento de estos puntos de intercambio, especialmente en aspectos relativos a permisos de infraestructura, derechos de vía y regulación de acuerdos de peering (GreenCloudVPS, 2025; Jalife, 2024). En este contexto, los gobiernos enfrentan el desafío de equilibrar el fomento a la infraestructura crítica sin generar barreras que limiten la innovación y participación de diversos actores. Adicionalmente, la naturaleza transfronteriza del tráfico gestionado por los IXP introduce complejidades legales que demandan marcos de cooperación internacional (GreenCloudVPS, 2025; Jalife, 2024). En el caso particular

de México, actores del ecosistema de telecomunicaciones han señalado de manera reiterada la necesidad de desarrollar un marco normativo más heterogéneo que facilite el despliegue y operación de infraestructura de intercambio, aspecto que será abordado con mayor profundidad en secciones posteriores de esta investigación.

3. CARACTERIZACIÓN DE BRECHAS DIGITALES EN YUCATÁN

Esta sección presenta un análisis cuantitativo detallado del estado actual de la conectividad digital en la Península de Yucatán, utilizando el Score Municipal de Conectividad (SMC) desarrollado por EFTS Group e implementado en colaboración con IXSY. Este análisis se fundamenta en los hallazgos del Diagnóstico de Conectividad de la Península de Yucatán (Denis et al., 2025), cuyos resultados permiten identificar con precisión las brechas existentes en cada municipio y orientar estrategias de inversión y política pública.

3.1 Panorama general de conectividad en la Península

La Península de Yucatán comprende 129 municipios distribuidos en tres estados: Yucatán (106 municipios), Quintana Roo (11 municipios) y Campeche (12 municipios). El análisis revela importantes disparidades en conectividad digital entre estados y al interior de cada uno.

Tabla 3.1
Indicadores de conectividad por estado

Estado	SMC Promedio	Cobertura	Calidad
Quintana Roo	**75.01**	83.51	**67.76**
Yucatán	67.89	**84.56**	52.13
Campeche	62.55	71.55	58.17
Península	**68.00**	**83.26**	**54.03**

Fuente: Elaboración propia basada en Diagnóstico de la Conectividad Digital de la Península de Yucatán (Denis et al., 2025)

Hallazgos clave:

- Quintana Roo lidera con el mejor SMC promedio (75.01), mostrando un equilibrio entre cobertura y calidad.
- Yucatán presenta la mejor cobertura (84.56), pero la calidad más baja (52.13), lo que afecta significativamente su resultado general.
- Campeche requiere atención prioritaria en todos los indicadores, especialmente en cobertura territorial.
- La calidad del servicio es el indicador más bajo en los tres estados, representando el principal desafío para mejorar la conectividad digital peninsular.

4.2 Score Municipal de Conectividad: metodología y componentes

El Score Municipal de Conectividad (SMC) es una métrica compuesta desarrollada por EFTS Group que evalúa la conectividad digital mediante tres indicadores clave con ponderación equitativa:

- iCobertura (33.3%): Evalúa tanto la cobertura poblacional como territorial de los servicios de Internet.
- iCalidad (33.3%): Mide la velocidad de transmisión de datos (descarga/carga) y latencia de las conexiones.
- iCompetencia (33.3%): Cuantifica el número de proveedores de servicios de Internet disponibles en cada área.

Tabla 3.2:
Clasificación del Score Municipal de Conectividad

Categoría	Rango	Municipios
Sobresaliente	90-100 puntos	0
Bien	80-89 puntos	15

Categoría	Rango	Municipios
Aceptable	60-79 puntos	**80**
Inferior	40-59 puntos	34
Deficiente	0-39 puntos	0

Fuente: Elaboración propia basada en Diagnóstico de la Conectividad Digital de la Península de Yucatán (Denis et al., 2025)

Los resultados muestran que el 62% de los municipios (80 de 129) se encuentran en la categoría 'Aceptable', lo que indica que la mayoría cuenta con conectividad básica pero con importante margen de mejora. Ningún municipio alcanza la categoría 'Sobresaliente', evidenciando que aún hay un largo camino por recorrer para lograr una conectividad digital óptima en la región.

3.3 Análisis de brecha de cobertura

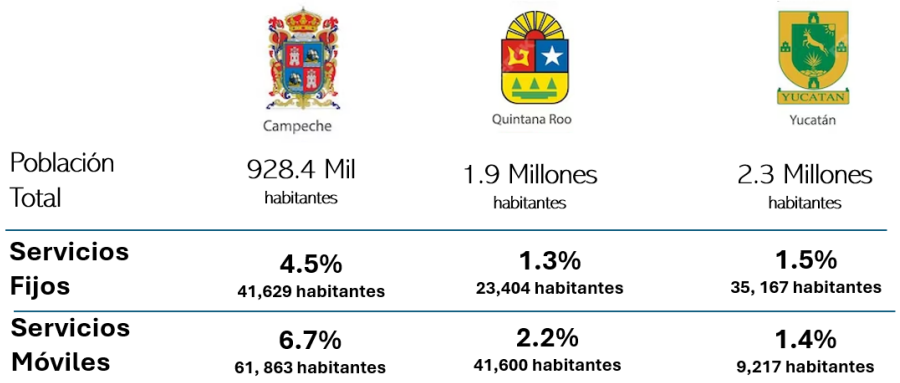
Tradicionalmente, la brecha digital se mide únicamente por cobertura poblacional. Sin embargo, este enfoque presenta limitaciones importantes al no considerar la distribución territorial de los servicios. El diagnóstico IXSY-EFTS introduce una perspectiva dual que evalúa tanto la población cubierta como el territorio objetivo poblado.

Tabla 3.3:
Brecha digital de cobertura por estado (redes fijas)

Estado	Población sin cobertura	% Población sin cobertura	% Territorio objetivo sin cobertura
Campeche	41,629	**4.5%**	**28.45%**
Quintana Roo	23,404	1.3%	16.49%
Yucatán	35,167	1.5%	15.44%
Península	**100,200**	**2.0%**	**16.74%**

Fuente: Elaboración propia basada en Diagnóstico de la Conectividad Digital de la Península de Yucatán (Denis et al., 2025)

Figura 3.1
Brecha Digital – Cobertura Poblacional por estado



Fuente: (Denis et al., 2025)

Análisis de hallazgos: La tabla anterior revela una realidad oculta por las métricas tradicionales. Si bien solo el 2% de la población peninsular carece de cobertura de redes fijas, el 16.74% del territorio objetivo poblado permanece sin servicio. Esta disparidad es particularmente pronunciada en Campeche, donde la brecha territorial (28.45%) es más de seis veces superior a la brecha poblacional (4.5%), evidenciando importantes desafíos en zonas rurales dispersas. La Figura 3.1 complementa el análisis cuantitativo de la Tabla 3.3 al visualizar la magnitud de la brecha digital de cobertura en términos absolutos y relativos para cada estado de la península. Los datos revelan que, aunque Campeche presenta el porcentaje más alto de población sin acceso a servicios fijos (4.5%, equivalente a 41,629 habitantes), los tres estados muestran niveles de desconexión que, si bien parecen bajos en términos porcentuales, representan poblaciones significativas que permanecen excluidas del ecosistema digital.Es particularmente notable la disparidad entre servicios fijos y móviles: en todos los estados, la brecha de acceso móvil es consistentemente mayor que la de servicios fijos. Campeche nuevamente evidencia la situación más crítica con 6.7% de su población (61,863 habitantes) sin cobertura móvil, seguido por Quintana Roo (2.2%) y Yucatán (1.4%). Esta realidad subraya que, pese a los avances en infraestructura móvil a nivel nacional, persisten importantes desafíos de cobertura que afectan desproporcionadamente a zonas rurales y comunidades dispersas geográficamente.

3.4 Brechas por dimensión: cobertura, calidad y competencia

El análisis por dimensión permite identificar con precisión dónde se concentran los principales desafíos de conectividad en cada estado.

3.4.1 Brecha de cobertura

La cobertura es el indicador mejor posicionado en la península (83.26/100), aunque con variaciones importantes entre estados. Quintana Roo y Yucatán presentan resultados similares, mientras Campeche enfrenta desafíos mayores particularmente en zonas rurales como Calakmul y Hopelchén.

Principales desafíos:

- Dispersión poblacional en zonas rurales que encarece el despliegue de infraestructura
- Baja densidad de población que reduce la rentabilidad de inversiones en redes fijas
- Complejidad en coordinación entre 106 municipios con diferentes niveles de desarrollo

3.4.2 Brecha de calidad

La calidad del servicio representa el desafío más crítico en toda la península con un promedio de solo 54.03/100. Este es el indicador que más impacta negativamente el SMC general y donde se requiere inversión prioritaria.

Yucatán presenta la situación más crítica con 52.13/100, significativamente por debajo de Quintana Roo (67.76/100). Los municipios con peor calidad incluyen Chikindzonot (Yucatán), Sanahcat (Yucatán) y Río Lagartos (Yucatán).

Principales desafíos:

- Alta latencia (>50ms) en zonas alejadas de nodos de interconexión
- Velocidades de descarga inferiores a 50 Mbps en áreas rurales y periurbanas
- Congestión en horas pico por capacidad insuficiente de backhaul
- Bajo aprovechamiento del IXP local (IXSY) para optimizar tráfico regional

3.4.3 Brecha de competencia

Con un promedio de 67.56/100, la competencia se posiciona en un nivel intermedio. Quintana Roo destaca con 74.59/100, mientras Campeche presenta el resultado más bajo con 58.67/100.

El número reducido de ISPs en municipios pequeños limita las opciones para usuarios y reduce incentivos para mejoras de calidad. Municipios como Calakmul, Candelaria (Campeche) y varios en Yucatán presentan monopolios o duopolios que afectan tanto precios como calidad del servicio.

Principales desafíos:

- Concentración de mercado en pocos operadores grandes en zonas urbanas
- Barreras de entrada para ISPs locales en zonas rurales por alta inversión inicial

- Falta de incentivos económicos para expansión en mercados de baja rentabilidad

3.5 Ranking de municipios: mejores y peores desempeños

El análisis del SMC permite identificar tanto los casos de éxito como las áreas que requieren atención prioritaria. Los siguientes cuadros presentan los 10 municipios con mejor y peor desempeño en la península.

Tabla 3.4
Top 10 municipios con mejor SMC

Posición	Municipio	Estado	SMC
1	Mérida	Yucatán	**88.08**
2	Kanasín	Yucatán	87.06
3	Cozumel	Quintana Roo	85.46
4	Benito Juárez	Quintana Roo	85.21
5	Progreso	Yucatán	85.10
6-10	Solidaridad, Conkal, Ticul, Hunucmá, Acanceh	Mixto	85-81

Fuente: Elaboración propia basada en Diagnóstico de la Conectividad Digital de la Península de Yucatán (Denis et al., 2025)

Tabla 3.5
10 municipios con peor SMC

Posición	Municipio	Estado	SMC
129	Yaxcabá	Campeche	**41.35**
128	Hopelchén	Campeche	45.71
127	Tunkás	Yucatán	46.64
120-126	Quintana Roo, Chikindzonot, Palizada, Xocchel, Dzoncauich, Tixcacalcupul, Tzucacab	Mixto	46-53

Fuente: Elaboración propia basada en Diagnóstico de la Conectividad Digital de la Península de Yucatán (Denis et al., 2025)

Figura 3.2
Top 10 municipios

Top 10

Estado	Municipio	SMC
Yucatán	Mérida	88,08
Yucatán	Kanasín	86,06
Quintana Roo	Cozumel	85,46
Quintana Roo	Benito Juárez	85,46
Yucatán	Progreso	85,10
Quintana Roo	Solidaridad	84,78
Yucatán	Conkal	83,70
Yucatán	Ticul	82,32
Yucatán	Hunucmá	81,47
Yucatán	Acanceh	81,09

Fuente: (Denis et al., 2025)

Figura 3.3
Bottom 10 municipios

Bottom 10

Estado	Municipio	SMC
Yucatán	Yaxcabá	41,35
Campeche	Hopelchén	45,71
Yucatán	Tunkás	46,64
Yucatán	Quintana Roo	48,87
Yucatán	Chikindzonot	50,68
Campeche	Palizada	50,83
Yucatán	Xocchel	51,50
Yucatán	Dzoncauich	52,29
Yucatán	Tixcacalcupul	52,32
Yucatán	Tzucacab	52,39

Fuente: (Denis et al., 2025)

3.6 Principales brechas identificadas

El análisis cuantitativo del SMC revela un panorama de conectividad heterogéneo en la Península de Yucatán, con cinco brechas críticas que requieren atención prioritaria:

- Brecha de calidad generalizada: El indicador más bajo en toda la península (54.03/100), afectando especialmente a Yucatán. Requiere inversión en modernización de infraestructura y mayor aprovechamiento de IXSY.
- Brecha territorial en Campeche: 28.45% del territorio objetivo sin cobertura, versus solo 4.5% de población desconectada. Evidencia la necesidad de estrategias específicas para zonas rurales dispersas.

- Brecha de competencia en zonas rurales: Monopolios o duopolios en municipios pequeños que limitan opciones y afectan precios y calidad.
- Disparidad intermunicipal extrema: Diferencia de 40 puntos entre mejor (Mérida: 88.08) y peor municipio (Calakmul: 47.86), reflejando profunda inequidad digital.
- Fragmentación administrativa: 106 municipios en Yucatán con diferentes capacidades institucionales complican coordinación de política pública regional.

Estas brechas no son insuperables, pero requieren un enfoque estratégico coordinado entre gobierno, sector privado y organizaciones como IXSY. La siguiente sección presenta el papel específico que puede desempeñar el IXP local como infraestructura estratégica para abordar particularmente los desafíos de calidad y costos de interconexión.

4. EL IXP YUCATÁN (IXSY): INFRAESTRUCTURA ESTRATÉGICA PARA LA INCLUSIÓN DIGITAL

Esta sección presenta el papel fundamental que desempeña Internet Exchange Services Yucatán (IXSY) como infraestructura crítica para mejorar la conectividad digital en la península. Se analizan su modelo de gobernanza, operación técnica, impacto medible y potencial estratégico para abordar las brechas identificadas en la sección anterior.

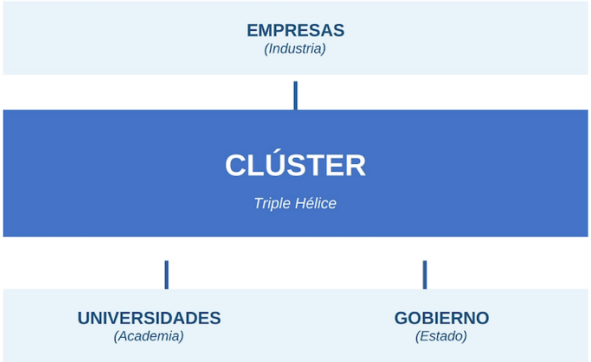
4.1 ¿Qué es IXSY? Modelo de gobernanza y misión

Según la información institucional disponible de Internet Exchange Services Yucatán, IXSY se presenta como una asociación civil dedicada a impulsar la transformación digital en el sureste del país y desde su rol como operador neutral del Nodo IXP en Yucatán, busca optimizar el intercambio de tráfico entre redes locales, promoviendo una conectividad más eficiente, segura, estable y costeable, evitando que el tráfico regional dependa de rutas internacionales (IXSY, 2025). Con ello, la organización subraya su papel estratégico en el fortalecimiento de la infraestructura digital de la región.

4.1.1 Modelo de gobernanza: Triple Hélice

IXSY opera bajo un modelo de gobernanza Triple Hélice que integra tres sectores clave:

Figura 4.1
Modelo de la triple Hélice



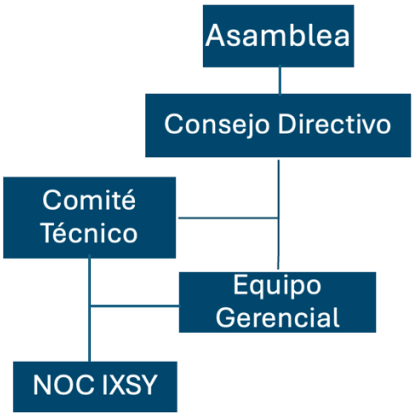
Fuente: Elaboración propia con base en (Leydesdorff & Etzkowitz, 1998)

Este modelo colaborativo ha guiado a IXSY desde su fundación hasta la actualidad, garantizando que las decisiones administrativas, técnicas y operativas del IXP respondan a las necesidades reales del ecosistema local de Internet y evitando su captura por intereses particulares. El modelo de la Triple Hélice, que impulsa la creación de una infraestructura orientada a la innovación, el desarrollo y la generación de conocimiento, refuerza esta dinámica de trabajo articulado (Laines Alamina et al., 2022). En este contexto, la integración de los componentes propios de la Industria 4.0 adquiere un papel estratégico al introducir nuevas formas de gestión y colaboración que permiten a las organizaciones fortalecer su competitividad y asegurar su permanencia en entornos globalizados, mientras que la neutralidad y el carácter sin fines de lucro de IXSY continúan siendo pilares esenciales de su legitimidad.

4.1.2 Estructura organizacional

IXSY está conformado por:

Figura 4.2
Organigrama de IXSY



Fuente: Información obtenida de documentación interna de IXSY (2025)

4.1.3 Misión y objetivos estratégicos

Para comprender el papel institucional de IXSY dentro del ecosistema digital regional, resulta fundamental analizar su misión, la cual orienta su funcionamiento y define su propósito central. “Nuestra misión es clara: eliminar la necesidad de que el tráfico local tenga que viajar al extranjero, mejorando la conectividad en nuestra comunidad” (IXSY, 2025). En este sentido, la misión se constituye como el eje directriz que guía las decisiones operativas de IXSY y su contribución al fortalecimiento de la infraestructura de Internet en la región.

Los objetivos estratégicos del proyecto se orientan hacia cinco ejes fundamentales. En primer lugar, se busca fortalecer la conectividad local y regional mediante la promoción del intercambio de tráfico de datos dentro del ámbito regional, con el propósito de disminuir la dependencia de rutas internacionales y optimizar la calidad del servicio ofrecido a los usuarios finales.En segundo lugar, se plantea operar bajo principios de neutralidad y transparencia, asegurando condiciones equitativas de acceso para la totalidad de las redes conectadas al punto de intercambio de Internet (IXP), evitando prácticas preferenciales hacia cualquier participante específico y garantizando un entorno de competencia justa.

El tercer objetivo estratégico consiste en desarrollar una infraestructura digital robusta y confiable, consolidándose como un componente de infraestructura crítica para la comunidad regional y proporcionando una plataforma sólida y estable para el intercambio de información entre las redes participantes. Como cuarto eje, se propone fomentar la colaboración y el compromiso comunitario mediante el establecimiento de vínculos de cooperación con entidades gubernamentales, el sector empresarial, instituciones de educación superior y organismos internacionales, orientados a la construcción de un ecosistema digital sustentable que beneficie a toda la región. Finalmente, el quinto objetivo estratégico se enfoca en impulsar la transformación digital del sureste mexicano, facilitando el desarrollo del ecosistema de Internet regional mediante la implementación de iniciativas de capacitación, la realización de eventos técnicos especializados y la ejecución de proyectos comunitarios, tales como el programa IXSY Fellows y eventos de intercambio de tráfico.

4.2 IXSY como herramienta para cerrar brechas digitales

La Sección 3 identificó cinco brechas críticas en la península. IXSY tiene potencial para contribuir directamente a cerrar varias de estas brechas, aunque su impacto depende de incrementar significativamente su adopción.

Tabla 4.1
Potencial de IXSY para abordar brechas identificadas

Brecha identificada	Impacto directo de IXSY	Nivel de impacto potencial
Brecha de calidad (54.03/100)	Reducción 60-80% en latencia, mejora en velocidades para contenido local	**ALTO**
Brecha de competencia (67.56/100)	Reduce costos operativos de ISPs pequeños, mejorando viabilidad económica y competitividad	**MEDIO**
Brecha territorial (Campeche 28.45%)	Impacto indirecto: reduce costos para ISPs que operan en zonas rurales, mejorando su sostenibilidad	**MEDIO**
Disparidad intermunicipal (40 puntos de diferencia)	Beneficia desproporcionadamente a municipios pequeños al nivelar condiciones técnicas	**MEDIO**
Fragmentación administrativa (106 municipios)	Modelo neutral Triple Hélice facilita coordinación multi-stakeholder	BAJO

Nota: El nivel de impacto refleja el potencial teórico asumiendo alta adopción del IXP. El impacto real actual es limitado debido al bajo aprovechamiento. Fuente: Elaboración propia basada en Diagnóstico de la Conectividad Digital de la Península de Yucatán (Denis et al., 2025)

4.2.1 IXSY como activo estratégico

IXSY representa una infraestructura estratégica con potencial demostrado para abordar las brechas digitales más críticas de la península, particularmente en calidad del servicio. Sin embargo, enfrenta un desafío paradójico: los beneficios técnicos y económicos están comprobados por la experiencia internacional, pero la adopción local es insuficiente para materializar ese potencial.

Hallazgos clave:

- IXSY es la única infraestructura de intercambio de tráfico neutral en la península, operando bajo modelo Triple Hélice que garantiza alineación con interés público.
- El intercambio local de tráfico puede reducir latencia y costos operativos de ISPs impactando directamente la brecha de calidad (indicador más bajo: 54.03/100).
- El bajo aprovechamiento actual limita severamente el impacto real de IXSY, creando un círculo vicioso que requiere intervención estratégica.
- Existen oportunidades concretas de expansión (capacitación, subsidios, nodos secundarios, CDNs) que requieren coordinación gobierno-sector privado-academia.
- El impacto potencial de IXSY es más alto en calidad del servicio y puede contribuir significativamente a sostener ISPs pequeños en zonas rurales.

5. METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un diseño metodológico mixto de carácter exploratorio-descriptivo, que combina técnicas cualitativas con el apoyo estratégico de datos cuantitativos. Este enfoque integrado permitirá obtener una comprensión profunda y contextualizada de las brechas digitales en Yucatán y del papel que desempeña el IXSY como infraestructura neutral para la inclusión digital regional.

El diseño responde a la naturaleza compleja del fenómeno estudiado, que requiere no solo la medición de indicadores técnicos y estadísticos, sino también la comprensión de las percepciones, experiencias y dinámicas sociales que configuran el acceso y uso de las tecnologías digitales en diferentes contextos geográficos y socioeconómicos del estado.

5.1 Enfoque y diseño de investigación

Enfoque: Mixto. Se privilegiará la recolección de narrativas, percepciones y experiencias de los actores clave del ecosistema digital yucateco, complementadas con datos cuantitativos que permitan dimensionar y contextualizar los hallazgos cualitativos.
Diseño: Estudio de caso instrumental del ecosistema digital de Yucatán, con énfasis en el rol del IXSY como infraestructura facilitadora.
Temporalidad: Transversal con datos del período 2024-2025, complementado con datos comparativos de ENDUTIH 2019-2024 para contextualizar avances en conectividad.

5.2 Población y muestra

Dada la naturaleza exploratoria del estudio, las limitaciones de tiempo y recursos, y las restricciones de acceso a actores clave del ecosistema digital yucateco, se implementará una estrategia de muestreo no probabilístico por conveniencia. Esta decisión metodológica responde a condiciones prácticas que hacen inviable un muestreo probabilístico o intencional exhaustivo, priorizando la participación de actores accesibles y dispuestos a colaborar, complementada con datos secundarios para triangulación.

Universo de estudio y estrategia de muestreo:

El universo de estudio comprende el ecosistema digital del estado de Yucatán, con especial énfasis en:

- Proveedores de servicios de Internet (ISPs) locales y regionales
- Autoridades gubernamentales estatales y municipales vinculadas con políticas de conectividad
- Miembros, aliados y beneficiarios del IXSY
- Instituciones educativas y organizaciones de la sociedad civil

Tabla 5.1
Muestra por conveniencia (estimación conservadora)

Perfil de participante	Número aproximado	Técnica principal
Proveedores de servicios de Internet (ISPs)	1	Entrevista
Autoridades municipales y estatales	1	Entrevista
Representantes de IXSY (directivos, técnicos, miembros)	1	Entrevista
Expertos en telecomunicaciones y desarrollo digital	1	Entrevista

Fuente: Elaboración propia

Criterios de selección:

- Diversidad geográfica: Representación de zonas urbanas, periurbanas, rurales y originarias
- Diversidad de conectividad: Comunidades con conectividad alta, media, baja y nula

- Relación con IXSY: Actores directamente vinculados, indirectamente vinculados y no vinculados
- Disponibilidad y accesibilidad: Factibilidad logística y apertura para participar
- Relevancia informativa: Capacidad del participante para aportar información sustantiva al estudio

5.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La estrategia de recolección de información combina múltiples técnicas complementarias que permiten la triangulación de datos y la validación cruzada de hallazgos:

5.3.1 Revisión documental y análisis de fuentes secundarias

Se realizará un análisis sistemático de documentos, informes técnicos, estadísticas oficiales y estudios previos relevantes para contextualizar y fundamentar la investigación.

Fuentes a consultar:
- Diagnóstico técnico de conectividad elaborado por EFTS Group e IXSY
- Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2019-2024
- Planes estatales y municipales de desarrollo digital y conectividad
- Informes operativos y técnicos de IXSY (métricas de tráfico, latencia, crecimiento de miembros)
- Estudios académicos sobre brechas digitales en México y América Latina
- Estadísticas sociodemográficas del INEGI

3.3.2 Entrevistas individuales

Las entrevistas constituirán la técnica principal de esta investigación. Dado que el estudio contempla un mínimo de un participante, se empleará una única modalidad de entrevista: la entrevista estructurada. Esta se desarrollará a partir de un cuestionario estandarizado, integrado por preguntas cerradas y abiertas que aseguren consistencia en la información recopilada y permitan su posterior análisis sistemático. La entrevista estará diseñada para obtener datos comparables, claros y alineados con los objetivos de la investigación. La duración estimada será de 30 a 45 minutos, suficiente para cubrir los ejes temáticos definidos sin comprometer la profundidad ni la calidad de las respuestas.

Ejes temáticos de las entrevistas:
- Acceso y calidad de la conectividad (experiencia personal/institucional)
- Conocimiento y percepción sobre IXSY y su impacto
- Uso de Internet y servicios digitales (tipo, frecuencia, propósito)
- Necesidades no cubiertas y expectativas futuras
- Perspectivas sobre políticas públicas y regulación municipal

5.3.3 Análisis de datos técnicos y métricas operativas

Se analizarán datos cuantitativos proporcionados por IXSY y otras fuentes técnicas para evaluar el desempeño operativo del IXP y su impacto en la conectividad regional.
Datos a analizar:
- Score Municipal de Conectividad (SMC) de Yucatán y sus 106 municipios
- Comparativos con otros estados de la Península de Yucatán (Campeche, Quintana Roo)

Fuentes: IXSY, EFTS Group, INEGI.

5.4 Consideraciones éticas

La investigación se conducirá bajo principios éticos de respeto, confidencialidad y beneficencia hacia los participantes:
1. Consentimiento informado: Todos los participantes recibirán información clara sobre los objetivos, procedimientos, riesgos y beneficios de la investigación, y expresarán su consentimiento voluntario.

2. Confidencialidad y anonimato: Los datos personales serán protegidos. Las transcripciones y reportes utilizarán seudónimos o códigos para garantizar el anonimato de los participantes.
3. Almacenamiento seguro de datos: Las grabaciones, transcripciones y bases de datos se resguardarán en dispositivos encriptados con acceso restringido al equipo de investigación.
4. Uso responsable de resultados: Los hallazgos se presentarán de manera que no estigmaticen ni perjudiquen a ninguna comunidad, proveedor o institución.

5.5 Limitaciones metodológicas

Se reconocen las siguientes limitaciones inherentes al diseño metodológico:

- Muestreo no probabilístico: Los hallazgos no serán generalizables estadísticamente a toda la población de Yucatán, aunque sí proporcionarán comprensión profunda de casos representativos.
- Dependencia de fuentes externas: La disponibilidad y calidad de datos técnicos depende de la colaboración de IXSY, ISPs y entidades gubernamentales.
- Sesgo de selección: Los participantes más accesibles podrían estar sobrerrepresentados (personas con mayor alfabetización digital o cercanía a centros urbanos).
- Temporalidad acotada: El estudio representa una "fotografía" del ecosistema digital en un momento específico, sin seguimiento longitudinal.
- Recursos limitados: Las restricciones de disponibilidad, tiempo y presupuesto condicionan la profundidad y alcance geográfico del trabajo de campo.

Estas limitaciones se han considerado en el diseño de la investigación y se tomarán en cuenta al momento de interpretar y comunicar los resultados, asegurando transparencia metodológica y rigor analítico.

6. HALLAZGOS Y ANÁLISIS

Esta sección presenta los principales hallazgos preliminares de la investigación, organizados en cuatro ejes temáticos fundamentales que emergen del análisis de datos cuantitativos y revisión documental realizada hasta el momento. Los hallazgos serán complementados y validados en la fase de trabajo de campo cualitativo mediante entrevistas con actores clave del ecosistema digital yucateco.

Los cuatro ejes de análisis son: (1) la naturaleza multidimensional de las brechas digitales en Yucatán, (2) las barreras estructurales que perpetúan la exclusión digital, (3) el IXP local como infraestructura estratégica subutilizada, y (4) las oportunidades estratégicas identificadas para cerrar las brechas.

6.1 La naturaleza multidimensional de las brechas digitales en Yucatán

El primer hallazgo fundamental es que Yucatán presenta un panorama dual en materia de conectividad digital: por un lado, muestra avances significativos comparado con el promedio nacional; por otro lado, evidencia brechas persistentes que amenazan con consolidar una sociedad digitalmente fragmentada.

Hallazgo 1.1: Asimetría crítica entre cobertura poblacional y territorial

El Diagnóstico EFTS-IXSY 2025 revela que mientras el 98% de la población yucateca reside en Áreas Básicas de Análisis con cobertura de servicios fijos de internet, solo el 84% del territorio habitado cuenta con dicha cobertura.

Datos clave:

- Brecha territorial: 16.74% del territorio sin cobertura
- Brecha poblacional: 2% de la población sin acceso
- Diferencia: 14.74 puntos porcentuales entre ambas métricas

Esta asimetría refleja la concentración urbana de infraestructura: las inversiones privadas se enfocan en zonas de alta densidad por rentabilidad económica, dejando desatendidas extensas áreas rurales y periurbanas donde, aunque vive menos población en términos absolutos, existen comunidades enteras sin acceso.

Hallazgo 1.2: Calidad del servicio como brecha crítica

El indicador de Calidad (iCalidad) es el más bajo de los tres componentes del Score Municipal de Conectividad (SMC):

- iCalidad promedio peninsular: 54.03/100
- iCalidad Yucatán específicamente: 52.13/100
- Comparado con iCobertura: 83.26/100
- Comparado con iCompetencia: 67.56/100

El iCalidad evalúa velocidad de descarga, velocidad de subida y latencia según datos de crowdsourcing de Ookla. La baja calificación indica que los usuarios experimentan velocidades insuficientes y latencias elevadas, limitando el aprovechamiento de servicios digitales avanzados como telemedicina, educación en línea, teletrabajo o comercio electrónico.

Implicación: No basta con aumentar cobertura; es imperativo mejorar la calidad existente mediante regulación de estándares mínimos, incentivos a mejora de infraestructura, y reducción de latencias (rol del IXP).

Hallazgo 1.3: Concentración extrema en zona metropolitana de Mérida

El análisis del SMC revela un patrón centro-periferia marcado:

Tabla 6.1
Clasificación del SMC por zona territorial en Yucatán

Zona	SMC	Clasificación
Mérida	88.08	Sobresaliente
Zona Metropolitana	> 80	Sobresaliente
Promedio Estatal	67.89	Aceptable
Municipios Rurales Sur	< 55	Inferior

Fuente: Elaboración propia basada en Diagnóstico de la Conectividad Digital de la Península de Yucatán (Denis et al., 2025)

Implicación: Se requieren políticas diferenciadas territorialmente: incentivos específicos para zonas rurales, fondos de subsidio cruzado, y estrategias de infraestructura compartida o comunitaria.

Hallazgo 1.4: Estructuras de mercado concentradas en municipios pequeños

El indicador de Competencia (iCompetencia) revela que municipios rurales presentan monopolios o duopolios en servicios de telecomunicaciones. Esta falta de competencia genera: precios más altos, baja inversión en calidad, servicio al cliente deficiente, e innovación limitada.

Implicación: Políticas para reducir barreras de entrada a nuevos operadores, promover modelos cooperativos, y considerar infraestructura pública mayorista que permita competencia minorista.

Hallazgo 1.5: Brecha de habilidades digitales como limitante transversal

Datos ENDUTIH muestran que 26% de yucatecos nunca ha usado internet (2024). Entre usuarios, 68% lo usa solo para redes sociales/comunicación básica, 12% para educación formal, y 8% para teletrabajo/actividades productivas.

Implicación: Programas masivos de alfabetización digital deben acompañar esfuerzos de infraestructura. La conectividad sin capacitación es necesaria pero insuficiente.

6.2 Las barreras estructurales que perpetúan la exclusión digital

El segundo conjunto de hallazgos identifica las barreras estructurales de naturaleza técnica, económica, normativa y sociocultural que explican la persistencia de las brechas digitales.

Hallazgo 2.1: Barreras normativas y administrativas municipales

La falta de homologación de trámites municipales para despliegue de infraestructura es una barrera crítica. Yucatán tiene 106 municipios, cada uno con procesos, requisitos, costos y tiempos diferenciados.

Consecuencias:

- Costos de transacción elevados para operadores
- Tiempos de despliegue prolongados (meses de retraso)
- Discrecionalidad administrativa y riesgo de corrupción
- Desincentivo a inversión en municipios pequeños

Hallazgo 2.2: Costos de tránsito

Yucatán, alejado de principales puntos de intercambio nacional (CDMX, Querétaro, Monterrey), enfrenta costos de tránsito desproporcionadamente altos.

Problemas derivados:

- Latencias elevadas: Tráfico local debe ir a Querétaro (40-80ms vs 1-5ms potencial)
- Dependencia de enlaces únicos (vulnerabilidad)
- Barrera de entrada para operadores pequeños

Hallazgo 2.3: Asequibilidad limitada para sectores de bajos ingresos

El costo promedio de internet básico representa 5-8% del salario mínimo mensual. Considerando que 44% de hogares yucatecos está en quintiles de ingreso más bajos, aproximadamente 180,000 hogares enfrentan dificultades de asequibilidad.

6.3 El IXP local como infraestructura estratégica subutilizada

El tercer hallazgo crítico es el bajo aprovechamiento del Internet Exchange Point local (IXSY) como herramienta para cerrar brechas digitales.

Hallazgo 3.1: Adopción limitada por ISPs locales

IXSY enfrenta un desafío crítico de baja adopción por ISPs locales:

- Membresía limitada: Solo fracción de ISPs activos están conectados
- Tráfico bajo: Volumen cursado es marginal vs tráfico total estatal
- Limitada diversidad de ASNs participantes

Esto significa que los beneficios potenciales (reducción latencia, ahorro costos, mejor calidad) no se materializan a escala.

Hallazgo 3.2: Desconocimiento entre actores clave

Existe desconocimiento generalizado sobre rol, funcionamiento y beneficios del IXP entre:

- Funcionarios públicos: No lo reconocen como infraestructura neutral
- ISPs pequeños: Desconocen cómo conectarse
- Sector empresarial: No exigen a sus ISPs que usen IXP local
- Academia: Falta de conocimiento del IXSY, desconfianza y limitaciones presupuestarias restringen la participación académica

Hallazgo 3.3: Potencial demostrado de impacto

ISPs que usan IXSY reportan beneficios mensurables:

- Reducción de latencia
- Ahorro en tránsito:
- Mejora en experiencia de usuario (videollamadas, streaming, gaming)
- Mayor resiliencia y diversificación de rutas

Estos datos demuestran que el IXP funciona y genera valor. El desafío es de adopción y escala, no técnico.

6.4 Las oportunidades estratégicas identificadas para cerrar las brechas

El cuarto hallazgo identifica oportunidades específicas que, aprovechadas mediante política pública oportuna, podrían acelerar el cierre de brechas.

Oportunidad 4.1: Coyuntura de inversión federal
México atraviesa período de inversión pública significativa en telecomunicaciones. Yucatán puede atraer y complementar estos recursos con inversión estatal coordinada.

Oportunidad 4.2: Demanda post-pandemia por servicios digitales
COVID-19 aceleró dramáticamente adopción y demanda de servicios digitales (teletrabajo, educación en línea, telemedicina, e-commerce). Esta demanda representa ventana política: existe voluntad social sobre importancia de conectividad.

Oportunidad 4.3: Ecosistema tecnológico emergente
Yucatán ha experimentado crecimiento sostenido de ecosistema tecnológico: startups, centros de desarrollo de software, programas universitarios en TICs. Este ecosistema puede desarrollar servicios y contenidos locales beneficiados por IXP local.

Oportunidad 4.4: Momentum internacional en IXPs
Existe reconocimiento internacional creciente de IXPs como infraestructura para desarrollo digital. Yucatán puede acceder a cooperación técnica internacional, aprender de mejores prácticas globales, y posicionar a IXSY como referente regional.

Oportunidad 4.5: Posición Geográfica Privilegiada
Ubicación estratégica: La Península de Yucatán funciona como puente geográfico y comercial entre Norteamérica, Centroamérica y Sudamérica, potenciando oportunidades

6.5 Hallazgos preliminares

Los hallazgos preliminares revelan un panorama complejo:

- **Brechas multidimensionales:** Cobertura, calidad, competencia, habilidades y asequibilidad operan simultáneamente
- **Barreras estructurales identificables:** Normativas, económicas y técnicas abordables mediante política pública
- **Activo estratégico subutilizado:** IXP local existe pero no está integrado en estrategia de desarrollo digital
- **Ventanas de oportunidad:** Coyuntura favorable para intervenciones estratégicas de alto impacto

Estos hallazgos fundamentan las conclusiones (Sección 7) que buscan aprovechar oportunidades y remover barreras mediante intervenciones factibles y de impacto comprobado.

Nota metodológica: Estos hallazgos preliminares se basan en análisis cuantitativo de fuentes secundarias (Diagnóstico EFTS-IXSY 2025, ENDUTIH, INEGI) y revisión documental. En la fase de trabajo de campo cualitativo (entrevistas a ISPs, funcionarios, usuarios, operadores del IXP), se validarán, complementarán y profundizarán estos hallazgos.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta sección presenta las conclusiones principales derivadas del análisis de las brechas digitales en Yucatán y el papel estratégico del IXP Yucatán (IXSY). Se organizan en tres dimensiones: conclusiones sobre el diagnóstico, conclusiones sobre el rol de IXSY, y recomendaciones estratégicas preliminares para maximizar el impacto del IXP en la reducción de las brechas identificadas.

7.1 Conclusiones sobre el diagnóstico de brechas digitales

7.1.1 La brecha de calidad es la más crítica en Yucatán

El diagnóstico de conectividad revela que la dimensión más problemática en Yucatán no es la cobertura poblacional (98% de la población tiene acceso a servicios fijos), sino la calidad de los servicios. Con un indicador de calidad (iCalidad) de 52.13/100, este es el componente más bajo del Score Municipal de Conectividad (SMC).

Implicaciones:

- La brecha de calidad afecta desproporcionadamente a municipios rurales y periféricos, profundizando desigualdades regionales.
- Los esfuerzos de política pública deben transitar de un enfoque exclusivo en cobertura hacia la mejora de la calidad del servicio.

7.1.2 La brecha territorial persiste: 16.74% de ABAs pobladas sin cobertura

Aunque el 98% de la población yucateca tiene cobertura de servicios fijos, el 16.74% del territorio (medido en Áreas Básicas de Atención pobladas) aún carece de conectividad. Esta discrepancia refleja la dispersión geográfica de comunidades rurales y la inviabilidad económica de despliegue de infraestructura en zonas de baja densidad poblacional.

Implicaciones:

- Las comunidades más pequeñas y aisladas quedan excluidas del ecosistema digital, perpetuando ciclos de marginalización.
- Se requieren modelos alternativos de conectividad (tecnologías satelitales, redes comunitarias) para cerrar esta brecha territorial.
- Los ISPs privados no tienen incentivos de mercado para atender estas zonas sin subsidios públicos o modelos colaborativos.

7.1.3 Desigualdad intramunicipal: las brechas no son uniformes

El análisis HexaGrid del diagnóstico revela que incluso dentro de municipios con SMC "Aceptable" existen zonas con conectividad deficiente. Las cabeceras municipales concentran infraestructura de calidad, mientras que comisarías y localidades alejadas enfrentan brechas significativas.

Ejemplos clave:

- Mérida (SMC: 88.08) tiene zonas periféricas con calidad deficiente a pesar de su alto promedio.
- Municipios turísticos como Progreso (SMC: 75.44) muestran brechas entre zonas costeras y localidades interiores.

Implicación: Las políticas públicas deben adoptar enfoques territoriales más granulares, no solo municipales, para identificar y atender focos de exclusión digital.

7.1.4 La brecha de competencia limita la asequibilidad y mejora de calidad

Con un indicador de competencia (iCompetencia) de 67.01/100, Yucatán muestra un nivel *"Aceptable"* pero no sobresaliente. En muchos municipios prevalecen monopolios o duopolios de facto que limitan la presión competitiva para mejorar calidad y reducir precios.

Implicaciones:

- Sin competencia efectiva, los usuarios pagan precios elevados por servicios de baja calidad.
- La entrada de nuevos ISPs está limitada por barreras de infraestructura y costos de interconexión.
- IXSY puede ser un habilitador clave para reducir estas barreras, facilitando el acceso a contenido local de manera eficiente y económica.

7.2 Conclusiones sobre el papel estratégico de IXSY

7.2.1 IXSY es un activo estratégico subutilizado

El IXP Yucatán (IXSY) representa una infraestructura neutral con potencial transformador para mejorar la calidad, reducir costos y fomentar competencia en el ecosistema digital yucateco. Sin embargo, su nivel de aprovechamiento actual es *limitado*: muchos ISPs no están interconectados, y el volumen de tráfico local intercambiado no refleja el potencial del mercado.

Evidencia:

- Los ISPs que hacen peering en IXSY experimentan reducciones de latencia de para contenido local.
- El ahorro en costos de tránsito internacional.
- A pesar de estos beneficios, la adopción es baja debido a desconocimiento, costos de conexión percibidos y falta de regulación que incentive el uso de IXPs.

Implicación: Se requieren políticas públicas activas para promover la adopción de IXSY entre ISPs y proveedores de contenido.

7.2.2 El modelo de gobernanza Triple Hélice es una fortaleza estratégica

IXSY opera bajo un modelo de gobernanza colaborativa que integra academia (ITM), gobierno (SECIHTI/Gobierno del Estado de Yucatán) e iniciativa privada (ISPs locales). Esta estructura multi-actor confiere al IXP una legitimidad y neutralidad que son esenciales para generar confianza entre competidores.

Ventajas del modelo:

- Neutralidad competitiva: ningún ISP individual controla el IXP.
- Vinculación con investigación e innovación (academia).
- Compromiso con sostenibilidad financiera (sector privado).

Desafíos: Mantener la participación activa de los tres sectores requiere mecanismos formales de coordinación y alineación de incentivos. Adicionalmente, la participación de múltiples actores en el proceso decisorio genera una complejidad que ralentiza significativamente la toma de decisiones y compromete su efectividad.

7.2.3 IXSY tiene mayor impacto potencial en brechas de calidad y competencia

Se concluye que IXSY tiene un impacto potencial en dos dimensiones de brecha digital:

- Brecha de calidad: Al reducir latencia y mejorar velocidades efectivas para contenido local, IXSY mejora directamente la experiencia del usuario final.
- Brecha de competencia: Al reducir las barreras de entrada (costos de tránsito), IXSY facilita la entrada de nuevos ISPs y nivela el terreno de juego competitivo.
- Brecha de habilidades digitales: IXSY es infraestructura técnica, no intervención educativa. Sin embargo, puede habilitar programas de alfabetización digital al mejorar la calidad de conexión.

7.3 Recomendaciones estratégicas preliminares

7.3.1 Priorizar la mejora de calidad sobre expansión de cobertura

Dado que la brecha de calidad es la más crítica (iCalidad: 52.13/100), se debe reorientarse de un enfoque exclusivo en cobertura hacia la mejora de la experiencia del usuario.

Acciones sugeridas:

- Establecer estándares mínimos de calidad de servicio (velocidad, latencia, disponibilidad) en contratos de conectividad pública (escuelas, centros de salud, gobiernos municipales).
- Implementar sistemas de monitoreo continuo de calidad (a través de IXSY u organismos reguladores) con transparencia pública de resultados.
- Incentivar a ISPs a invertir en mejoras de red mediante subsidios condicionados a metas de calidad verificables.

7.3.2 Promover la adopción de IXSY entre ISPs mediante incentivos regulatorios

Para maximizar el impacto de IXSY en calidad y competencia, se requiere aumentar significativamente la tasa de adopción entre ISPs locales y regionales.

Acciones sugeridas:

- Regulación habilitadora: Explorar si la Agencia de Transformación Digital y Telecomunicaciones u otra instititución gubernamental puede establecer disposiciones que reconozcan el uso de IXPs locales como criterio positivo en licitaciones o renovaciones de concesiones.
- Campaña de concientización: Realizar talleres técnicos y casos de negocio para ISPs que demuestren el ROI de conectarse a IXSY.
- Facilitar conexión de proveedores de contenido: Atraer a CDNs, plataformas de streaming y servicios de nube para que instalen nodos en IXSY, aumentando el valor del peering para ISPs.

7.3.3 Fortalecer el modelo de gobernanza Triple Hélice de IXSY

El modelo colaborativo de IXSY es una fortaleza, pero requiere institucionalización para garantizar participación sostenida de los tres sectores.

Acciones sugeridas:

- Formalizar un Consejo Directivo multi-actor con representación de academia, gobierno e ISPs, con funciones claramente definidas.
- Establecer mecanismos de rendición de cuentas pública: reportes trimestrales de tráfico intercambiado, calidad de servicio, nuevos miembros, y proyectos de desarrollo.
- Incorporar representación de sociedad civil y usuarios finales en el modelo de gobernanza para garantizar que el IXP responda a necesidades sociales, no solo técnicas.
- Desarrollar un plan de sostenibilidad financiera que diversifique fuentes de ingresos.

7.3.4 Vincular mejoras de infraestructura con programas de alfabetización digital

La brecha de habilidades digitales no puede ser resuelta únicamente con infraestructura. Se requiere un **enfoque integrado** que combine mejoras en conectividad (calidad, cobertura) con programas sistemáticos de capacitación.

Acciones sugeridas:

- Desarrollar un programa estatal de alfabetización digital coordinado entre Academia, Gobierno e Iniciativa Privada.
- Aprovechar espacios de conectividad pública (bibliotecas, casas de cultura, centros comunitarios digitales) como hubs de capacitación.
- Integrar componentes de alfabetización digital en programas sociales existentes (ej. personas mayores, jefas de familia, juventud rural).

- Incluir en el curriculum escolar habilidades digitales transversales desde educación primaria.

7.3.5 Desarrollar un sistema de monitoreo y evaluación de brechas digitales

El diagnóstico de IXSY-EFTS proporciona una línea base robusta, pero se requiere un sistema permanente de monitoreo para evaluar la efectividad de las políticas públicas y ajustar estrategias.

Acciones sugeridas:

- Institucionalizar la actualización anual del Score Municipal de Conectividad (SMC) con metodología estandarizada.
- Crear un observatorio digital estatal coordinado por IXSY que publique datos abiertos de conectividad, uso de internet, y brechas digitales.
- Vincular el monitoreo con mecanismos de rendición de cuentas: presentación anual del estado de las brechas digitales ante el Congreso estatal.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Alva de la Selva, A. R. (2015). Los nuevos rostros de la desigualdad en el siglo xxi: la brecha digital. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, *60*(223). https://doi.org/10.1016/s0185-1918(15)72138-0

Arango-Lopera, C. A. (2022). Brecha digital. *Tsafiqui - Revista Científica En Ciencias Sociales*, *12*(19). https://doi.org/10.29019/tsafiqui.v12i19.1108

Arellano Morales, M. A. (2020). Las brechas digitales en México: un balance pertinente. *El Trimestre Económico*, *87*(346). https://doi.org/10.20430/ete.v87i346.974

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2002, May 8). *Brecha digital podría ampliarse en América Latina*. Cepal.Org. https://www.cepal.org/es/comunicados/brecha-digital-podria-ampliarse-america-latina

DCD. (2022, May 4). *IXP: utilidad, funcionamiento y el presente y futuro de la conectividad.* DataCenterDynamics. www.datacenterdynamics.com/es/features/ixp-utilidad-funcionamiento-y-el-presente-y-futuro-de-la-conectividad/

Denis, C., Ramírez, T., & González, E. (2025). *Diagnóstico de la Conectividad Digital en la Península de Yucatán*. 1–42. https://ixsy.org.mx/articulos

GreenCloudVPS. (2025, August 31). *Internet Exchange Point (IXP): Definition, benefits, and importance in networking*. GreenCloudVPS.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2025). *Encuesta nacional sobre disponibilidad y uso de tecnologías de la información en los hogares (ENDUTIH)*. https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?p=3413&ag=00#D6206972692_176#D6206972693_176

Internet Exchange Services Yucatan (IXSY). (2025). *Nodo IXP*. https://ixsy.org.mx

Internet Society. (2015). *Puntos de intercambio de tráfico de Internet*. Internet Society. https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/ISOC-PolicyBrief-IXPs-20151030-es.pdf

Internet Society. (2020, June 22). *Explainer: What is an Internet Exchange Point (IXP)?* Internet Society. https://www.internetsociety.org/resources/doc/2020/explainer-what-is-an-internet-exchange-point-ixp/

Internet Society. (2025). *Community-Driven IXPs: Enhancing Local Connectivity and Sustainability.* Internet Society. https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2025/03/Community-Driven-IXPs-Enhancing-Local-Connectivity-and-Sustainability.pdf

Jalife, S. (2024, August 12). *Puntos de Intercambio de Internet: El corazón invisible de la era digital y la IA*. Centro México Digital. https://centromexico.digital/puntos-de-intercambio-de-internet-el-corazon-invisible-de-la-era-digital-y-la-ia/#:~:text=Con%20el%20auge%20del%20edge,grandes%20empresas%20e%20instituciones%20públicas.

Jiménez Condori, Y. (2024). Alfabetización digital y el desarrollo de competencias digitales en docentes rurales de educación secundaria. *Horizontes. Revista de Investigación En Ciencias de La Educación*, *8*(32). https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v8i32.719

LAC-IX. (2022). *Estudio beneficios de los IXP en Argentina: Resumen ejecutivo*. LAC-IX. https://lac-ix.org/wp-content/uploads/2023/03/Estudio-CABASE-Resumen-Ejecutivo.pdf

Laines Alamina, C. I., Silva Almanza, I. J., & Guajardo Muñoz, L. T. (2022). El modelo triple hélice en el contexto de la Industria 4.0. *Vinculatégica*, *7*(1). https://doi.org/10.29105/vtga7.1-93

Leydesdorff, L., & Etzkowitz, H. (1998). The Triple Helix as a model for innovation studies. *Science and Public Policy*, *25*, 195–203. https://www.researchgate.net/publication/279550284_The_Triple_Helix_as_a_model_for_innovation_studies

Martínez López, O. (2020). Brecha digital educativa. Cuando el territorio es importante. *Sociedad e Infancias*, *4*, 267–270. https://doi.org/10.5209/soci.69629

Montenegro, S., Raya, E., & Navaridas, F. (2020). Percepciones Docentes sobre los Efectos de la Brecha Digital en la Educación Básica durante el Covid -19. *Revista Internacional de Educación Para La Justicia Social*, *9*(3). https://doi.org/10.15366/riejs2020.9.3.017

Moreno Lizarazo, C. (2023). LA BRECHA DIGITAL EN LA EDUCACIÓN RURAL COLOMBIANA DESDE UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA. *DIALÉCTICA*, *1*(21). https://doi.org/10.56219/dialctica.v1i21.2306

Negueruela, A., & Torres, B. (2020, April 7). *La brecha digital impacta en la educación*. UNICEF España. https://www.unicef.es/educa/blog/covid-19-brecha-educativa

Ragnedda, M., & Laura Ruiu, and M. (2017). Social capital and the three levels of digital divide. In *Theorizing Digital Divides* (pp. 21–34). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315455334-3

Rodríguez-Alegre, L. R., Trujillo-Valdiviezo, G., Egusquiza-Rodríguez, M. J., & López-Padilla, R.-P. (2021). Revolución industrial 4.0: La brecha digital en Latinoamérica. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, *6*(11). https://doi.org/10.35381/r.k.v6i11.1219

Romero García, J. A., Jiménez García, M., Tavera Cortés, M. E., & Armenteros Piedra, N. R. (2023). Importancia del acceso a internet en el ingreso y la educación en las zonas rurales y urbanas de México. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo*, *14*(27). https://doi.org/10.23913/ride.v14i27.1659

Romualdo Toscano, L. (2022). La brecha digital en la educación pública rural de Oaxaca. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *6*(4). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2765

Valle Obando, A. A. (2024, June 17). *Brechas digitales de segundo nivel*. LinkedIn. https://www.linkedin.com/pulse/brechas-digitales-de-segundo-nivel-augusto-abel-valle-obando-9jl1e/