

Difusión de Tecnologías Ambientales Potencializadas por Sensores Cuánticos en Economías Emergentes: Mecanismos de Transferencia y Barreras a la Adopción

Difusão de Tecnologias Ambientais Potencializadas por Sensores Quânticos em Economias Emergentes: Mecanismos de Transferência e Barreiras à Adoção

Diffusion of Environmental Technologies Enhanced by Quantum Sensors in Emerging Economies: Transfer Mechanisms and Barriers to Adoption

Anderson Nunes de Carvalho Vieira¹
Camila Andrea²

Resumen

La adopción de tecnologías ambientales en economías emergentes representa un desafío central para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. Este artículo examina los mecanismos de difusión tecnológica Norte-Sur en el contexto específico de sistemas de monitoreo ambiental potencializados por sensores cuánticos. A través de un análisis teórico fundamentado en la literatura sobre transferencia tecnológica y capacidad de absorción, identificamos las principales barreras que limitan la adopción de estas tecnologías en países en desarrollo: restricciones financieras, déficits de capital humano especializado, debilidades institucionales y limitaciones de infraestructura. El estudio propone que la efectividad de la difusión tecnológica depende críticamente de tres factores interrelacionados: la capacidad de absorción local, la calidad de las instituciones y el grado de apertura comercial. Argumentamos que las tecnologías cuánticas aplicadas al monitoreo ambiental ofrecen ventajas sustanciales en precisión y eficiencia energética, pero requieren adaptaciones contextualizadas y políticas públicas coordinadas para su implementación efectiva. Las conclusiones sugieren que estrategias de transferencia tecnológica exitosas deben combinar inversiones en educación técnica, fortalecimiento institucional y cooperación internacional Sur-Sur, mientras que las políticas de difusión deben considerar las heterogeneidades estructurales entre economías emergentes para maximizar el impacto en la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: Difusión Tecnológica; Sensores Cuánticos; Economías Emergentes; Monitoreo Ambiental; Capacidad De Absorción.

Resumo

A adoção de tecnologias ambientais em economias emergentes representa um desafio central para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável. Este artigo examina os mecanismos de difusão tecnológica Norte-Sul no contexto específico de sistemas de monitoramento ambiental potencializados por sensores quânticos. Através de uma análise teórica fundamentada na literatura sobre transferência tecnológica e capacidade de absorção, identificamos as principais barreiras que limitam a adoção dessas tecnologias em países em desenvolvimento: restrições financeiras, déficits de capital humano especializado, fragilidades institucionais e limitações de infraestrutura. O estudo propõe que a eficácia da

¹ UniSENAI-MT. E-mail: andersonvieira.nunes@hotmail.com

² AMLENTIA. <https://amlenia.org/>

difusão tecnológica depende criticamente de três fatores inter-relacionados: a capacidade de absorção local, a qualidade das instituições e o grau de abertura comercial. Argumentamos que as tecnologias quânticas aplicadas ao monitoramento ambiental oferecem vantagens substanciais em precisão e eficiência energética, mas exigem adaptações contextualizadas e políticas públicas coordenadas para sua implementação eficaz. As conclusões sugerem que estratégias bem-sucedidas de transferência de tecnologia devem combinar investimentos em educação técnica, fortalecimento institucional e cooperação internacional Sul-Sul, enquanto as políticas de difusão devem considerar as heterogeneidades estruturais entre as economias emergentes para maximizar o impacto na sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Difusão Tecnológica; Sensores Quânticos; Economias Emergentes; Monitoramento Ambiental; Capacidade De Absorção.

Abstract

The adoption of environmental technologies in emerging economies represents a central challenge in achieving the Sustainable Development Goals. This article examines the North–South technology diffusion mechanisms in the specific context of environmental monitoring systems powered by quantum sensors. Thru a theoretical analysis grounded in the literature on technology transfer and absorptive capacity, we identify the main barriers limiting the adoption of these technologies in developing countries: financial constraints, shortages of specialized human capital, institutional weaknesses, and infrastructure limitations. The study proposes that the effectiveness of technological diffusion depends critically on three interrelated factors: local absorptive capacity, institutional quality, and the degree of trade openness. We argue that quantum technologies applied to environmental monitoring offer substantial advantages in precision and energy efficiency, but require contextualized adaptations and coordinated public policies for their effective implementation. The conclusions suggest that successful technology transfer strategies should combine investments in technical education, institutional strengthening, and South–South international cooperation, while dissemination policies should consider the structural heterogeneities among emerging economies to maximize the impact on environmental sustainability.

Keywords: Technological Diffusion; Quantum Sensors; Emerging Economies; Environmental Monitoring; Absorptive Capacity.

Códigos JEL: O33, Q55, O13, O38

1. Introducción

La urgencia de la crisis ambiental global ha intensificado la búsqueda de soluciones tecnológicas que permitan un monitoreo preciso y continuo de variables ecológicas críticas. En este contexto, las tecnologías cuánticas emergen como herramientas prometedoras para revolucionar la capacidad de observación ambiental, ofreciendo niveles de sensibilidad sin precedentes en la detección de contaminantes, cambios climáticos y degradación de ecosistemas (Ho et al., 2024; Ashwani et al., 2024). Sin embargo, la distribución geográfica de estas innovaciones tecnológicas reproduce patrones históricos de desigualdad en el acceso al conocimiento científico y las capacidades productivas, concentrándose predominantemente en economías desarrolladas del Norte Global.

Las economías emergentes enfrentan el doble desafío de acelerar su desarrollo económico mientras gestionan presiones ambientales crecientes. La adopción de tecnologías ambientales avanzadas podría facilitar esta transición hacia trayectorias de crecimiento más sostenibles, permitiendo a estos países monitorear y mitigar impactos ecológicos de manera más efectiva (Priyanka et al., 2024; K G et al., 2025). No obstante, la literatura sobre difusión tecnológica

internacional documenta extensamente las dificultades que enfrentan los países en desarrollo para absorber y adaptar innovaciones generadas en contextos económicos radicalmente diferentes (Schiff and Wang, 2010; Juma et al., 2001).

El proceso de difusión tecnológica Norte-Sur ha sido objeto de intenso escrutinio académico durante las últimas décadas. Los trabajos seminales sobre el tema identificaron que la simple disponibilidad de nuevas tecnologías no garantiza su adopción efectiva en países receptores. La transferencia exitosa de conocimientos técnicos complejos requiere capacidades locales específicas, incluyendo capital humano especializado, infraestructura adecuada y marcos institucionales que faciliten la absorción y adaptación tecnológica (Schiff and Wang, 2010; Dahlman et al., 2016). Estas condiciones resultan particularmente desafiantes en el caso de tecnologías cuánticas aplicadas al monitoreo ambiental, que combinan complejidad técnica extrema con requisitos operacionales específicos.

La relevancia de este análisis se fundamenta en tres consideraciones centrales. Primero, las tecnologías cuánticas de sensoriamiento ofrecen ventajas significativas sobre instrumentos convencionales en términos de precisión, consumo energético y capacidad de detección temprana de degradación ambiental. Segundo, las economías emergentes albergan algunos de los ecosistemas más biodiversos y vulnerables del planeta, haciendo crítica la implementación de sistemas de monitoreo efectivos. Tercero, la experiencia histórica con otras oleadas de innovación tecnológica sugiere que, sin intervenciones políticas deliberadas, las brechas tecnológicas entre países desarrollados y en desarrollo tienden a ampliarse, perpetuando patrones de desigualdad global (Raja and Christiaensen, 2017; Rosario, 2012). Este artículo examina los mecanismos mediante los cuales las tecnologías ambientales potencializadas por sensores cuánticos pueden difundirse efectivamente hacia economías emergentes. El análisis se estructura en torno a tres preguntas centrales: ¿Cuáles son las características específicas de las tecnologías cuánticas de monitoreo ambiental que afectan su difusibilidad? ¿Qué barreras estructurales limitan la adopción de estas tecnologías en contextos de países en desarrollo? ¿Qué mecanismos de facilitación y políticas públicas pueden acelerar procesos de transferencia tecnológica efectiva?

Para abordar estas interrogantes, el estudio integra literatura teórica sobre difusión tecnológica internacional con análisis específicos de las potencialidades y limitaciones de tecnologías cuánticas en contextos ambientales. La metodología adoptada es fundamentalmente analítica y se basa en la síntesis crítica de trabajos empíricos y teóricos sobre transferencia tecnológica, construcción de capacidades en países en desarrollo y aplicaciones emergentes de tecnologías cuánticas.

Los hallazgos principales sugieren que la efectividad de la difusión tecnológica en este dominio depende críticamente de inversiones previas en educación científica, fortalecimiento de instituciones de investigación y desarrollo de políticas que incentiven la colaboración internacional. Adicionalmente, argumentamos que las estrategias de transferencia tecnológica deben considerar las heterogeneidades significativas entre economías emergentes, adaptando mecanismos de difusión a contextos institucionales, económicos y ambientales específicos.

El artículo se organiza de la siguiente manera. La segunda sección examina el marco teórico sobre transferencia tecnológica Norte-Sur, identificando factores determinantes del éxito en procesos de difusión internacional. La tercera sección caracteriza las tecnologías cuánticas aplicadas al monitoreo ambiental, evaluando su potencial disruptivo y requisitos técnicos. La cuarta sección analiza las barreras estructurales que limitan la adopción en economías emergentes. La quinta sección propone mecanismos de facilitación y políticas públicas para acelerar la difusión tecnológica. La sexta sección discute el papel central de la capacidad de absorción tecnológica. La séptima sección presenta las conclusiones y recomendaciones de política.

2. Transferencia Tecnológica Norte-Sur en el Contexto Ambiental

El análisis de la transferencia tecnológica internacional constituye un campo consolidado en la economía del desarrollo, con raíces que se remontan a los debates sobre convergencia económica y catch-up tecnológico. La literatura ha evolucionado desde modelos simples de difusión automática hacia marcos conceptuales más sofisticados que reconocen la naturaleza compleja y condicionada de los procesos de transferencia (Schiff and Wang, 2010; Juma et al., 2001).

El concepto de difusión tecnológica relacionada con el comercio Norte-Sur representa una contribución fundamental a esta literatura. El análisis seminal de Schiff and Wang (2010) demuestra que la investigación y desarrollo realizada en países del Norte Global genera externalidades positivas para economías en desarrollo a través de múltiples canales. El valor de estos spillovers tecnológicos para un país receptor puede conceptualizarse como el promedio ponderado del stock de conocimiento científico-técnico de sus socios comerciales del Norte, donde las ponderaciones reflejan la intensidad de las relaciones comerciales bilaterales.

Este marco analítico revela varios hallazgos de importancia crítica para entender la difusión de tecnologías ambientales. Primero, la apertura comercial amplifica los beneficios de la innovación tecnológica externa al incrementar la exposición a conocimientos avanzados y prácticas productivas más eficientes. Segundo, el impacto de la transferencia tecnológica sobre la productividad total de los factores depende crucialmente de características estructurales del país receptor, particularmente su dotación de capital humano y la calidad de sus instituciones. Tercero, existe una complementariedad fuerte entre inversiones en educación y el aprovechamiento de conocimientos tecnológicos disponibles internacionalmente (Schiff and Wang, 2010).

En el dominio específico de tecnologías ambientales, estos mecanismos operan con particularidades importantes. Las innovaciones para monitoreo ecológico frecuentemente requieren adaptaciones contextuales significativas, dado que las condiciones ambientales, la disponibilidad de datos de referencia y las prioridades de conservación varían sustancialmente entre regiones. Por ejemplo, sistemas de sensoriamiento diseñados para monitorear la calidad del aire en ciudades industriales del hemisferio norte requieren recalibraciones importantes para operar efectivamente en contextos tropicales con diferentes patrones de circulación atmosférica y fuentes de contaminación predominantes.

La literatura sobre gobernanza global de la tecnología amplía esta perspectiva al enfatizar que la transferencia efectiva de capacidades técnicas hacia países en desarrollo requiere más que la simple provisión de equipos o manuales de operación (Juma et al., 2001). Los procesos exitosos de transferencia involucran la construcción de capacidades locales para adaptar, mantener y eventualmente mejorar las tecnologías adoptadas. Esto implica inversiones sostenidas en formación de recursos humanos especializados, desarrollo de infraestructura de soporte técnico y fortalecimiento de instituciones científicas capaces de generar conocimiento contextualizado.

El análisis de Raja and Christiaensen (2017) sobre el futuro del trabajo en países en desarrollo introduce una dimensión adicional relevante para esta discusión. Los autores argumentan que las tecnologías digitales avanzadas, lejos de representar una amenaza para las economías emergentes, constituyen oportunidades para saltos cualitativos en productividad y competitividad. Sin embargo, la materialización de estos beneficios potenciales está condicionada por políticas que faciliten la adquisición de habilidades técnicas relevantes y la creación de ecosistemas de innovación que conecten capacidades locales con oportunidades globales.

En el contexto de tecnologías ambientales potencializadas por sensores cuánticos, esta perspectiva sugiere que la difusión efectiva requiere estrategias deliberadas de construcción de capacidades técnicas locales. Las economías emergentes no pueden limitarse a ser receptores pasivos de tecnologías desarrolladas externamente, sino que deben desarrollar capacidades endógenas para adaptar estas innovaciones a sus contextos ecológicos, institucionales y económicos específicos.

Un aspecto particularmente relevante es el papel de las instituciones educativas en facilitar la absorción tecnológica. La evidencia empírica documenta que universidades e institutos de investigación en países en desarrollo desempeñan funciones cruciales como intermediarios entre el conocimiento global y las necesidades locales (Saleem and Higu- chi, 2014; Rosario, 2012). Estas instituciones no solo forman profesionales técnicamente competentes, sino que también generan conocimiento adaptado y facilitan redes de cola- boración con centros de investigación internacionales.

La experiencia con tecnologías de información y comunicación en economías emer- gentes ofrece lecciones instructivas para el caso de tecnologías ambientales cuánticas. El trabajo de Dahlman et al. (2016) sobre aprovechamiento de la economía digital en países en desarrollo identifica varios principios generales aplicables. Primero, el éxito depende críticamente de inversiones en infraestructura habilitadora, que en el caso de tecnologías cuánticas incluye capacidades de refrigeración, blindaje electromagnético y conectividad de datos de alta velocidad. Segundo, las políticas públicas deben crear incentivos para que actores privados inviertan en capacidades complementarias. Tercero, la construcción de marcos regulatorios apropiados resulta fundamental para garantizar el uso responsable y equitativo de tecnologías avanzadas.

La difusión de tecnologías ambientales en economías emergentes enfrenta, sin embargo, desafíos específicos que trascienden los obstáculos documentados para otras categorías de innovación. Los beneficios de inversiones en monitoreo ambiental frecuentemente tienen naturaleza de bien público, con externalidades positivas que exceden el retorno privado para adoptantes individuales. Esta característica puede generar subinversión desde una perspectiva social óptima, justificando intervenciones públicas para corregir esta falla de mercado.

Adicionalmente, las tecnologías cuánticas de sensoriamiento se encuentran aún en eta- pas relativamente tempranas de desarrollo comercial. Muchas aplicaciones permanecen en fase de demostración de concepto o primeras implementaciones piloto en entornos controlados. Esta inmadurez tecnológica introduce incertidumbres adicionales para adop- tantes potenciales en economías emergentes, que enfrentan restricciones presupuestarias más severas y menor margen para experimentación con soluciones no probadas.

No obstante, la literatura identifica también ventajas potenciales que economías emer- gentes podrí- an explotar en la adopción de tecnologías ambientales cuánticas. La ausencia de sistemas de monitoreo ambiental heredados puede facilitar la implementación de so- luciones tecnológicas más avanzadas, evitando problemas de compatibilidad con infraes- tructura preexistente. Adem ás, algunas economías en desarrollo han desarrollado nichos de excelencia en investigación cuántica fundamental, creando bases para traducir estos conocimientos en aplicaciones ambientales (Priyanka et al., 2024).

3. Tecnologías Cuánticas y Monitoreo Ambiental

Las tecnologías cuánticas representan una familia de innovaciones que explotan pro- piedades fundamentales de sistemas cuánticos, tales como superposición, entrelazamiento y coherencia, para lograr capacidades que exceden los límites teóricos de sistemas clásicos. En el dominio del sensoriamiento ambiental, estas tecnologías ofrecen ventajas transfor- madoras en términos de sensibilidad, precisión y eficiencia energética (Ho et al., 2024; Ashwani et al., 2024).

Los sensores cuánticos operan midiendo perturbaciones extremadamente sutiles en sis- temas cuánticos cuidadosamente preparados. A diferencia de sensores convencionales, que están limitados por el ruido térmico y otras fuentes de fluctuación clásica, los dispositivos cuánticos pueden alcanzar sensibilidades cercanas al límite fundamental impuesto por las leyes de la mecánica cuántica. Esta característica resulta particularmente valiosa para de- tección temprana de contaminantes en concentraciones ultrabajas, moni-
5

atmosférica y medición precisa de campos gravitacionales para estudios geofísicos.

Las aplicaciones más prometedoras de sensores cuánticos en contextos ambientales incluyen magnetómetros cuánticos para detección de anomalías geológicas y monitoreo de infraestructura subterránea, gravímetros cuánticos para estudios hidrológicos y detección de cambios en almacenamiento de agua subterránea, y relojes atómicos para sincronización precisa de redes de sensores distribuidos. Adicionalmente, técnicas de espectroscopía cuántica permiten identificación molecular ultrasensible, facilitando detección de contaminantes orgánicos persistentes y gases de efecto invernadero en concentraciones ambientales relevantes (Priyanka et al., 2024).

La literatura técnica documenta varios casos de aplicación práctica que ilustran el potencial de estas tecnologías. Los sistemas de gravimetría cuántica han demostrado capacidad para detectar variaciones en la distribución de masa terrestre con resoluciones espaciales y temporales sin precedentes, información crítica para entender dinámicas de acuíferos, movimientos de masas de hielo y subsidencia de terrenos. Los magnetómetros basados en átomos fríos permiten mapeos detallados de campos magnéticos naturales y antropogénicos, con aplicaciones en arqueología ambiental y evaluación de impacto de infraestructura eléctrica sobre ecosistemas sensibles (Ashwani et al., 2024).

Particularmente relevante para economías emergentes es el potencial de sensores cuánticos para mejorar monitoreo de calidad del aire en contextos urbanos. La rápida urbanización en muchas economías en desarrollo ha generado problemas severos de contaminación atmosférica, con impactos documentados sobre salud pública y productividad económica. Sistemas de sensoriamiento cuántico podrían proporcionar datos de alta resolución espacial y temporal sobre concentraciones de material particulado, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, facilitando intervenciones de política pública más efectivas y evaluaciones precisas de impacto de medidas de mitigación.

Sin embargo, la implementación de tecnologías cuánticas de sensoriamiento enfrenta desafíos técnicos y operacionales considerables. Muchos sistemas cuánticos requieren condiciones ambientales controladas, incluyendo temperaturas criogénicas, blindaje de campos electromagnéticos externos y aislamiento de vibraciones mecánicas. Estos requisitos incrementan significativamente la complejidad de despliegue en campo y los costos de operación y mantenimiento. Para economías emergentes con recursos limitados, estas consideraciones prácticas pueden representar barreras importantes para adopción (Mudhol, 2024).

El estado de madurez tecnológica de diferentes aplicaciones cuánticas varía considerablemente. Mientras que algunos sistemas, como relojes atómicos compactos, han alcanzado niveles de fiabilidad comercial y están siendo incorporados en redes de posicionamiento satelital y sistemas de telecomunicaciones, otras aplicaciones permanecen en fases de investigación básica o desarrollo de prototipos. Esta heterogeneidad implica que estrategias de adopción deben ser selectivas, priorizando tecnologías con trayectorias de desarrollo más avanzadas y casos de uso claramente definidos.

Un aspecto crucial para la viabilidad de estas tecnologías en economías emergentes es su eficiencia energética relativa. La literatura técnica sugiere que, una vez superadas las barreras iniciales de implementación, muchos sensores cuánticos operan con consumos energéticos significativamente menores que sistemas convencionales de sensibilidad comparable (Ajagekar and You, 2019). Esta característica resulta especialmente valiosa en contextos donde el acceso a energía eléctrica estable es limitado o costoso, situación común en regiones rurales de países en desarrollo donde el monitoreo ambiental es frecuentemente más necesario.

Las tecnologías cuánticas también ofrecen ventajas en términos de miniaturización y robustez. Desarrollos recientes en fotónica integrada cuántica han permitido la creación de dispositivos de sensoriamiento con factores de forma compactos, facilitando su despliegue en plataformas móviles como vehículos aéreos no tripulados o boyas oceanográficas. Esta portabilidad amplía significativamente el rango de aplicaciones potenciales, permitiendo monitoreo de ecosistemas remotos o de difícil acceso que son particularmente prevalentes en economías emergentes con vastas extensiones territoriales y limitada infraestructura de transporte.

La integración de sensores cuánticos con infraestructura digital existente plantea tanto oportunidades como desafíos. Por un lado, la capacidad de estos dispositivos para generar datos de alta precisión y resolución temporal crea sinergia con técnicas de análisis de big data y aprendizaje automático, permitiendo la identificación de patrones ambientales complejos y predicción de eventos críticos. Por otro lado, el volumen y la velocidad de generación de datos pueden exceder las capacidades de procesamiento y almacenamiento disponibles en muchas economías emergentes, requiriendo inversiones complementarias en infraestructura digital (Morstyn and Wang, 2024).

Un factor adicional que merece consideración es la dependencia de cadenas de suministro globales altamente especializadas para componentes críticos de sistemas cuánticos. La fabricación de átomos ultrafríos, cavidades ópticas de alta fineza y sistemas de control electrónico de precisión requiere capacidades industriales sofisticadas que están actualmente concentradas en un número limitado de países desarrollados. Esta dependencia crea vulnerabilidades para economías emergentes que adopten estas tecnologías, particularmente en contextos de tensiones geopolíticas que puedan interrumpir flujos comerciales. La experiencia con otras tecnologías ambientales avanzadas, como sistemas de monitoreo satelital y redes de sensores inalámbricos, sugiere que la adopción exitosa en economías emergentes frecuentemente involucra procesos de adaptación tecnológica que simplifican diseños, reducen costos y ajustan especificaciones a condiciones operacionales locales. Procesos similares de adaptación probablemente serán necesarios para tecnologías cuánticas de sensoriamiento, requiriendo capacidades locales de ingeniería y experimentación controlada (Otgonbaatar et al., 2024).

4. Barreras a la Adopción en Economías Emergentes

La adopción de tecnologías ambientales potencializadas por sensores cuánticos en economías emergentes enfrenta múltiples barreras que operan en diferentes niveles del sistema económico y social. La identificación precisa de estos obstáculos resulta fundamental para diseñar estrategias efectivas de facilitación tecnológica y políticas públicas que aceleren procesos de transferencia.

La primera categoría de barreras se relaciona con restricciones financieras. Las tecnologías cuánticas de sensoriamiento, particularmente en sus etapas iniciales de desarrollo comercial, presentan costos de adquisición e implementación significativamente superiores a alternativas convencionales. Estos costos incluyen no solo el precio de los dispositivos mismos, sino también inversiones en infraestructura habilitadora, capacitación de personal operativo y sistemas de soporte técnico. Para países en desarrollo con presupuestos públicos limitados y competencia intensa entre prioridades de gasto, justificar inversiones sustanciales en tecnologías ambientales avanzadas puede resultar políticamente difícil, especialmente cuando beneficios tangibles se materializan en horizontes temporales extendidos.

La estructura de financiamiento para proyectos ambientales en economías emergentes frecuentemente exacerba estas restricciones. El monitoreo ecológico típicamente recibe financiamiento inferior comparado con sectores percibidos como más directamente productivos. Adicionalmente, los mecanismos de cooperación internacional y asistencia para el desarrollo, aunque importantes, frecuentemente operan con ciclos de proyecto de duración limitada que dificultan el mantenimiento a largo plazo de sistemas tecnológicos complejos. La dependencia de financiamiento externo crea también vulnerabilidades a cambios en prioridades de donantes o fluctuaciones en disponibilidad de recursos internacionales (Juma et al., 2001).

Una segunda categoría fundamental de barreras se relaciona con déficits en capital humano especializado. La operación, mantenimiento y adaptación de tecnologías cuánticas requieren conocimientos técnicos altamente especializados que combinan física fundamental, ingeniería de precisión y competencias en análisis de datos complejos. Los sistemas educativos en muchas

economías emergentes enfrentan desafíos para producir graduados con estas competencias específicas, reflejando tanto limitaciones en infraestructura académica como desconexión entre currículos formativos y demandas tecnológicas emergentes (Saleem and Higuchi, 2014; Rosario, 2012).

La migración de talento técnico hacia economías desarrolladas agrava esta situación. Profesionales con formación avanzada en tecnologías cuánticas frecuentemente encuentran oportunidades de empleo más atractivas en centros de investigación y empresas tecnológicas del Norte Global, generando fuga de cerebros que debilita capacidades locales de absorción tecnológica. Este patrón crea círculos viciosos donde la ausencia de masa crítica de expertos locales desalienta inversiones en tecnologías avanzadas, perpetuando brechas de conocimiento.

Las debilidades institucionales constituyen una tercera categoría crucial de barreras. La efectividad de sistemas de monitoreo ambiental depende críticamente de marcos institucionales que definan responsabilidades claras, establezcan protocolos de recolección y análisis de datos, y garanticen que información generada se traduzca en acciones de política. En muchas economías emergentes, las instituciones ambientales operan con recursos limitados, capacidades técnicas restringidas y mandatos que frecuentemente entran en conflicto con otros objetivos de desarrollo económico. Esta fragilidad institucional puede minar la utilidad de tecnologías avanzadas de sensoriamiento, generando datos de alta calidad que no se traducen en mejoras de gestión ambiental (Dahlman et al., 2016).

La coordinación entre diferentes niveles de gobierno y entre agencias con mandatos superpuestos representa un desafío adicional. El monitoreo ambiental efectivo típicamente requiere colaboración entre autoridades ambientales, meteorológicas, de salud pública y de planificación urbana. En contextos de capacidades institucionales débiles y competencia por recursos escasos, lograr esta coordinación resulta particularmente difícil. La fragmentación institucional puede generar duplicación de esfuerzos, incompatibilidad de sistemas de datos y subutilización de infraestructura tecnológica costosa.

Las limitaciones de infraestructura física representan barreras operacionales importantes. Muchas aplicaciones de sensores cuánticos requieren conectividad de datos de alta velocidad para transmitir información en tiempo real a centros de análisis. En regiones donde la cobertura de telecomunicaciones es limitada o irregular, esta dependencia de conectividad robusta puede imposibilitar el despliegue efectivo de redes de sensores distribuidos. Similarmente, requisitos de suministro eléctrico estable y protección contra condiciones ambientales extremas pueden resultar desafiantes en contextos de infraestructura energética precaria o exposición a fenómenos meteorológicos severos.

La incertidumbre tecnológica y la percepción de riesgo constituyen barreras adicionales a la adopción. Las tecnologías cuánticas de sensoriamiento, al encontrarse en etapas relativamente tempranas de desarrollo comercial, generan incertidumbre sobre su desempeño en condiciones operacionales reales, particularmente en ambientes tropicales o de alta altitud que difieren significativamente de contextos donde fueron desarrolladas inicialmente. Los tomadores de decisiones en economías emergentes, operando con restricciones presupuestarias severas, frecuentemente exhiben aversión al riesgo que favorece tecnologías probadas sobre soluciones innovadoras con beneficios potenciales pero inciertos.

La ausencia de demanda articulada para datos ambientales de alta precisión puede también limitar incentivos para adopción tecnológica. En contextos donde la aplicación de regulaciones ambientales es débil, las industrias contaminantes enfrentan pocos incentivos para invertir en monitoreo riguroso de sus emisiones. Similarmente, cuando la capacidad gubernamental para procesar y utilizar información ambiental compleja es limitada, la generación de datos sofisticados puede tener valor limitado para informar decisiones de política. Esta desconexión entre capacidades tecnológicas y demanda efectiva sugiere que la difusión de tecnologías avanzadas debe acompañarse de fortalecimiento de marcos regulatorios y capacidades analíticas.

Los desafíos de propiedad intelectual y transferencia de conocimiento técnico también merecen atención. Las tecnologías cuánticas frecuentemente incorporan conocimientos propietarios

protegidos por patentes y secretos comerciales. Las restricciones para acceso a estos conocimientos pueden limitar la capacidad de instituciones en economías emergentes para adaptar tecnologías a sus contextos específicos, mantener sistemas de manera independiente o desarrollar variantes innovadoras. Negociar términos favorables de licenciamiento y transferencia tecnológica requiere capacidades de negociación y comprensión de marcos legales internacionales que pueden estar ausentes en muchos países en desarrollo.

Finalmente, factores culturales e institucionales informales pueden influir en procesos de adopción tecnológica. Las percepciones sobre la importancia relativa de protección ambiental versus otros objetivos de desarrollo, la confianza en instituciones científicas y la valoración de evidencia empírica en procesos de toma de decisiones varían significativamente entre contextos nacionales. Estas diferencias culturales pueden afectar tanto la disposición para invertir en tecnologías ambientales avanzadas como la efectividad con la que datos generados se integran en procesos políticos.

5. Mecanismos de Facilitación y Políticas Públicas

La superación de barreras identificadas en la sección anterior requiere estrategias deliberadas de facilitación tecnológica y políticas públicas coordinadas que operen en múltiples niveles del sistema económico y social. La literatura sobre transferencia tecnológica y construcción de capacidades en países en desarrollo ofrece orientación sobre mecanismos efectivos, aunque su aplicación al caso específico de tecnologías cuánticas ambientales requiere adaptaciones contextualizadas.

Las inversiones en educación técnica y científica representan quizás el mecanismo más fundamental para habilitar la adopción de tecnologías avanzadas. La formación de recursos humanos con competencias en física cuántica, ingeniería de precisión y ciencia de datos ambientales requiere horizontes temporales extendidos, pero genera beneficios que trascienden aplicaciones específicas de sensoriamiento cuántico. Las estrategias educativas deben operar en múltiples niveles, desde fortalecimiento de educación básica en ciencias y matemáticas hasta creación de programas de posgrado especializados en tecnologías cuánticas aplicadas (Saleem and Higuchi, 2014).

La cooperación internacional en formación de capacidades puede acelerar estos procesos. Programas de intercambio académico que permitan a investigadores de economías emergentes acceder a centros de excelencia en tecnologías cuánticas facilitan transferencia de conocimientos tácitos difíciles de codificar en textos técnicos. Similarmente, establecimiento de programas de doctorado conjuntos y redes de investigación colaborativa crean vínculos duraderos que facilitan flujos de conocimiento y desarrollo de proyectos de investigación aplicada relevantes para contextos de países en desarrollo.

El fortalecimiento de instituciones científicas nacionales constituye un complemento crucial a inversiones en capital humano individual. Universidades e institutos de investigación requieren equipamiento de laboratorio adecuado, acceso a literatura científica actualizada y recursos para participar en conferencias internacionales donde se discuten desarrollos de frontera. Adicionalmente, estas instituciones necesitan autonomía administrativa y estabilidad de financiamiento que les permitan planificar actividades a largo plazo y atraer talento de alta calidad (Juma et al., 2001).

Las políticas de incentivos para innovación y adaptación tecnológica local pueden estimular desarrollo de capacidades endógenas para trabajar con tecnologías cuánticas. Fondos competitivos para investigación aplicada que prioricen proyectos de adaptación de sensores cuánticos a condiciones ambientales locales pueden generar conocimiento contextualizado y entrenar nuevas generaciones de investigadores. Los incentivos fiscales para empresas que inviertan en desarrollo de capacidades tecnológicas avanzadas pueden también movilizar recursos del sector privado hacia construcción de ecosistemas de innovación. La cooperación Sur-Sur emerge como estrategia

particularmente prometedora para difusión de tecnologías ambientales entre economías emergentes. Países en desarrollo que han logrado avances en dominios tecnológicos específicos pueden servir como fuentes más apropiadas de conocimiento y tecnología para otras economías emergentes, dado que enfrentan desafíos contextuales más similares que economías desarrolladas. La identificación de centros de excelencia en tecnologías cuánticas en países como Brasil, China, India o Sudáfrica puede facilitar flujos de conocimiento adaptados a realidades de países en desarrollo (Schiff and Wang, 2010).

Los marcos regulatorios apropiados resultan fundamentales para maximizar beneficios sociales de inversiones en tecnologías de monitoreo ambiental. Regulaciones que establezcan estándares de calidad ambiental basados en evidencia científica crean demanda para datos ambientales precisos, incentivando adopción de tecnologías de sensoriamiento avanzadas. Paralelamente, marcos que requieran transparencia en reporte de datos ambientales y participación ciudadana en procesos de toma de decisiones pueden incrementar la valoración social de inversiones en monitoreo ecológico.

La coordinación de políticas entre diferentes agencias gubernamentales puede mejorar significativamente la efectividad de inversiones en tecnologías ambientales. Estrategias nacionales de desarrollo que integren explícitamente objetivos de sostenibilidad ambiental con metas de crecimiento económico y reducción de pobreza facilitan la justificación de inversiones en sistemas de monitoreo avanzados. La creación de mecanismos institucionales para coordinación interagencial, como comités de alto nivel sobre sostenibilidad o gabinetes verdes, puede superar fragmentación y generar sinergias entre iniciativas sectoriales (Dahlman et al., 2016).

El financiamiento innovador para proyectos ambientales puede aliviar restricciones presupuestarias que limitan adopción tecnológica. Mecanismos como bonos verdes, fondos climáticos internacionales y esquemas de pago por servicios ecosistémicos pueden movilizar recursos adicionales para inversiones en monitoreo ambiental. Adicionalmente, la estructuración de proyectos que generen beneficios cuantificables, como mejoras en eficiencia de gestión de recursos hídricos o reducción de pérdidas agrícolas por eventos climáticos extremos, puede facilitar acceso a financiamiento basado en resultados.

Las alianzas público-privadas representan otra vía para movilizar recursos y capacidades técnicas. Empresas de tecnología con intereses en desarrollo de aplicaciones cuánticas pueden encontrar valor en colaboraciones con instituciones públicas de países en desarrollo, accediendo a datos ambientales únicos y demostrando viabilidad comercial de sus tecnologías en contextos diversos. El diseño cuidadoso de estos acuerdos resulta crítico para garantizar que beneficios se distribuyan equitativamente y que transferencia de conocimiento sea genuina.

La estandarización de protocolos y plataformas de datos ambientales facilita interoperabilidad entre sistemas y maximiza el valor de inversiones en tecnologías de sensoriamiento. El desarrollo de estándares abiertos para formato de datos, interfaces de comunicación y metodologías de calibración reduce costos de integración de sistemas y permite comparaciones entre mediciones realizadas en diferentes contextos geográficos o temporales. La participación de economías emergentes en procesos de desarrollo de estándares internacionales garantiza que sus necesidades y contextos sean considerados.

Las estrategias de comunicación y divulgación científica juegan roles importantes en construir apoyo social y político para inversiones en tecnologías ambientales. La traducción de datos técnicos complejos en información accesible para tomadores de decisiones y el público general incrementa la valoración de sistemas de monitoreo y facilita uso de evidencia en procesos políticos. El desarrollo de capacidades en ciencia ciudadana, donde comunidades locales participan en recolección e interpretación de datos ambientales, puede también democratizar acceso a información y fortalecer gobernanza ambiental participativa.

6. Capacidad de Absorción Tecnológica

El concepto de capacidad de absorción tecnológica ocupa un lugar central en la literatura sobre transferencia tecnológica internacional y catch-up económico. Esta noción, desarrollada originalmente en contextos de gestión empresarial, ha sido extendida al análisis de dinámicas tecnológicas a nivel nacional, reconociendo que la habilidad de países para beneficiarse de conocimientos disponibles globalmente depende críticamente de inversiones previas en capacidades endógenas.

En su formulación más básica, la capacidad de absorción se refiere a la habilidad de un sistema económico para identificar, asimilar y explotar conocimientos generados externamente. Esta conceptualización multidimensional reconoce que la adopción efectiva de tecnologías avanzadas requiere más que la simple adquisición de equipos o acceso a manuales técnicos. Los procesos exitosos de absorción involucran comprensión profunda de principios subyacentes, capacidad para adaptar tecnologías a contextos locales específicos y competencias para mantener y eventualmente mejorar sistemas adoptados (Schiff and Wang, 2010; Saleem and Higuchi, 2014).

Para tecnologías cuánticas aplicadas al monitoreo ambiental, la construcción de capacidad de absorción presenta desafíos específicos derivados de la complejidad técnica inherente y la naturaleza altamente especializada de conocimientos requeridos. A diferencia de tecnologías más maduras donde conocimientos están ampliamente codificados y accesibles, muchas aplicaciones cuánticas permanecen en etapas donde conocimiento tácito y experiencia práctica resultan fundamentales para implementación exitosa.

La capacidad de absorción tecnológica en economías emergentes está determinada por interacciones complejas entre múltiples factores estructurales. La dotación de capital humano constituye quizás el determinante más fundamental. La presencia de científicos e ingenieros con formación en física cuántica, fotónica y áreas relacionadas determina la velocidad con la que instituciones locales pueden comprender nuevas tecnologías, identificar aplicaciones relevantes y adaptar sistemas a condiciones operacionales específicas. Sin embargo, la simple presencia de individuos entrenados resulta insuficiente si estos profesionales no están organizados en equipos funcionales con recursos adecuados y objetivos claros.

La calidad de instituciones de investigación y desarrollo desempeña un papel complementario crítico. Universidades e institutos nacionales de investigación sirven como repositorios de conocimiento especializado y espacios donde se forma la próxima generación de expertos. La efectividad de estas instituciones depende de múltiples factores: autonomía académica que permite perseguir agendas de investigación de largo plazo, estabilidad de financiamiento que facilita planificación estratégica, conexiones con redes científicas internacionales que garantizan acceso a desarrollos de frontera, y vínculos con sectores productivos que permiten traducir conocimiento en aplicaciones prácticas (Juma et al., 2001).

El grado de apertura económica y la intensidad de relaciones comerciales internacionales también influyen en capacidad de absorción. Las economías más integradas en cadenas globales de valor y con patrones comerciales diversificados tienden a experimentar mayor exposición a prácticas tecnológicas avanzadas y conocimientos incorporados en bienes importados. Sin embargo, la simple apertura comercial resulta insuficiente en ausencia de capacidades locales para procesar y utilizar conocimientos accesibles. Esta observación subraya la complementariedad entre apertura externa y construcción de capacidades endógenas (Schiff and Wang, 2010).

La experiencia previa con tecnologías relacionadas puede facilitar significativamente la absorción de innovaciones cuánticas. Los países que han desarrollado competencias en áreas como óptica de precisión, criogenia industrial o procesamiento de señales complejas poseen bases tecnológicas sobre las cuales construir capacidades en sensoriamiento cuántico. Esta acumulación secuencial de competencias técnicas sugiere que trayectorias de desarrollo tecnológico deben

considerar dependencias de camino y aprovechar capacidades existentes.

El marco institucional más amplio que gobierna actividades científicas y tecnológicas afecta profundamente la capacidad de absorción. Sistemas de propiedad intelectual que balanceen incentivos para innovación con acceso a conocimiento, regulaciones que faciliten colaboración internacional sin imponer restricciones onerosas, y políticas de empleo en sector público que permitan retención de talento técnico influyen en la velocidad y efectividad de procesos de absorción tecnológica.

La capacidad de absorción no es una característica estática, sino que evoluciona en respuesta a inversiones deliberadas y aprendizaje acumulativo. Esta naturaleza dinámica implica que políticas efectivas deben operar con horizontes temporales extendidos, reconociendo que construcción de capacidades tecnológicas requiere inversiones sostenidas que solo generan beneficios plenos en plazos medianos a largos. La discontinuidad de políticas y la volatilidad de prioridades gubernamentales pueden minar estos procesos de acumulación gradual.

Las heterogeneidades entre economías emergentes en términos de capacidad de absorción son sustanciales. Países como China, India o Brasil han realizado inversiones masivas en educación técnica superior y construcción de infraestructura científica, desarrollando capacidades que rivalizan con economías desarrolladas en dominios específicos. En contraste, economías más pequeñas o con menor desarrollo institucional enfrentan desafíos más severos para construir capacidades endógenas suficientes. Esta diversidad sugiere que estrategias de difusión tecnológica deben adaptarse a contextos específicos, con enfoques diferenciados según el nivel de desarrollo de capacidades preexistentes.

El papel de la diáspora científica merece atención especial en este contexto. Profesionales de economías emergentes que han recibido formación avanzada en centros de excelencia internacionales y permanecen conectados con sus países de origen pueden servir como puentes para transferencia de conocimiento. El diseño de políticas que faciliten estas conexiones, incluyendo programas de investigación colaborativa transnacional y esquemas de retorno temporal de talento, puede acelerar construcción de capacidades locales sin depender exclusivamente de formación doméstica (Raja and Christiaensen, 2017).

La capacidad de absorción debe entenderse también en términos de habilidad para generar demanda articulada por conocimientos específicos. Las instituciones que comprenden potencialidades de tecnologías cuánticas y pueden identificar aplicaciones prioritarias para sus contextos están mejor posicionadas para dirigir esfuerzos de adopción hacia áreas de mayor valor. Esta capacidad de articular necesidades y evaluar opciones tecnológicas requiere literacy técnica extendida más allá de círculos especializados, incluyendo formadores de política y tomadores de decisiones en sectores productivos.

7. Conclusiones

La difusión de tecnologías ambientales potencializadas por sensores cuánticos hacia economías emergentes representa tanto una oportunidad transformadora como un desafío complejo que requiere estrategias deliberadas y sostenidas. El análisis presentado en este artículo identifica mecanismos cruciales, barreras estructurales y políticas habilitadoras que determinan la efectividad de procesos de transferencia tecnológica en este dominio.

Las tecnologías cuánticas de sensoriamiento ofrecen ventajas sustanciales sobre sistemas convencionales en términos de sensibilidad, precisión y eficiencia energética. Estas características resultan particularmente valiosas para economías emergentes que enfrentan desafíos ambientales significativos, incluyendo contaminación atmosférica urbana, degradación de ecosistemas críticos y vulnerabilidad creciente a impactos del cambio climático. La capacidad de estos sistemas para generar datos ambientales de alta calidad puede facilitar decisiones de política más informadas y

evaluaciones rigurosas de efectividad de intervenciones de mitigación.

Sin embargo, la materialización de estos beneficios potenciales está condicionada por múltiples factores que operan en diferentes niveles del sistema económico y social. Las restricciones financieras, déficits de capital humano especializado, debilidades institucionales y limitaciones de infraestructura representan barreras reales que no pueden superarse mediante provisión tecnológica simple. La experiencia histórica con otras oleadas de innovación tecnológica demuestra que la simple disponibilidad de tecnologías avanzadas no garantiza su adopción efectiva en ausencia de capacidades locales apropiadas.

La construcción de capacidad de absorción tecnológica emerge como requisito fundamental para difusión exitosa. Esta capacidad, que refleja la habilidad de sistemas económicos para identificar, asimilar y explotar conocimientos disponibles globalmente, depende críticamente de inversiones sostenidas en educación técnica, fortalecimiento de instituciones científicas y desarrollo de marcos regulatorios que incentiven innovación y adaptación tecnológica. Estas inversiones requieren horizontes temporales extendidos y continuidad de políticas que trasciendan ciclos políticos de corto plazo.

Las estrategias efectivas de difusión tecnológica deben reconocer y responder a heterogeneidades sustanciales entre economías emergentes. Los países con mayor desarrollo institucional y dotaciones superiores de capital humano especializado están mejor posicionados para adoptar tecnologías cuánticas ambientales en horizontes temporales más cortos. Para economías con capacidades más limitadas, trayectorias de desarrollo tecnológico pueden requerir etapas intermedias que construyan competencias básicas antes de intentar saltos hacia tecnologías de frontera.

La cooperación internacional desempeña roles múltiples y complementarios en facilitar difusión tecnológica. Los mecanismos de colaboración Sur-Sur permiten aprovechar conocimientos contextualizados generados en economías emergentes con desafíos similares. Las alianzas entre instituciones de investigación en países desarrollados y en desarrollo pueden acelerar transferencia de conocimientos tácitos difíciles de codificar. El financiamiento internacional para proyectos ambientales puede aliviar restricciones presupuestarias que limitan adopción de tecnologías costosas. Sin embargo, el diseño de estos mecanismos debe garantizar que cooperación genere capacidades endógenas genuinas en lugar de crear dependencias persistentes.

Las políticas públicas coordinadas resultan fundamentales para maximizar impacto social de inversiones en tecnologías ambientales. La integración explícita de objetivos de sostenibilidad ambiental en estrategias nacionales de desarrollo facilita justificación de recursos para monitoreo ecológico. El fortalecimiento de marcos regulatorios que establezcan estándares ambientales basados en evidencia crea demanda para datos de alta precisión.

El desarrollo de mecanismos institucionales para coordinación interagencial supera fragmentación y genera sinergias entre iniciativas sectoriales. El momento actual presenta oportunidad única para que economías emergentes participen en desarrollo y aplicación de tecnologías cuánticas desde etapas relativamente tempranas. A diferencia de oleadas tecnológicas previas donde el retraso en adopción resultó en desventajas persistentes, el estado incipiente de comercialización de muchas aplicaciones cuánticas permite a países en desarrollo influir en trayectorias de desarrollo tecnológico y garantizar que soluciones resultantes sean apropiadas para contextos diversos.

Las limitaciones de este análisis sugieren direcciones para investigación futura. La evaluación empírica de costos-beneficios de inversiones en tecnologías cuánticas de sensoramiento en contextos específicos de países en desarrollo requiere estudios de caso detallados y datos de implementación en campo. El análisis de modelos institucionales alternativos para gestión de sistemas de monitoreo ambiental podría identificar arreglos organizacionales más efectivos para diferentes contextos nacionales. La investigación sobre procesos de adaptación tecnológica que simplifiquen diseños y reduzcan costos sin sacrificar funcionalidad esencial podría acelerar procesos de difusión.

En síntesis, la difusión efectiva de tecnologías ambientales cuánticas hacia economías

emergentes requiere enfoque comprensivo que combine inversiones en capacidades humanas e institucionales con políticas habilitadoras y cooperación internacional estratégica. Los beneficios potenciales para mejora de gestión ambiental y avance hacia trayectorias de desarrollo sostenible justifican esfuerzos sostenidos en esta dirección, reconociendo que procesos exitosos de adopción tecnológica trascienden provisión de equipos para involucrar transformaciones más profundas de capacidades sistémicas.

Referencias

- Ajagekar, A. and You, F. (2019). Quantum computing for energy systems optimization: Challenges and opportunities. *Energy*, 179:76–89.
- Ashwani, S., Tripathy, A. J., Karna, S., Reddy Jahanve, P., and Rajagopal, S. M. (2024). Quantum computing for climate change: A comprehensive review of current applications, challenges, and future directions. In *2024 15th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, pages 1–7. IEEE.
- Dahlman, C. J., Mealy, S., and Wermelinger, M. (2016). Harnessing the digital economy for developing countries. Technical report, Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD).
- Ho, K. T. M., Chen, K.-C., Lee, L., Burt, F., Yu, S., and Lee, P.-H. (2024). Quantum computing for climate resilience and sustainability challenges. In *2024 IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering (QCE)*, pages 262–267. IEEE.
- Juma, C., Fang, K., Honca, D., Perez, J. H., Konde, V., Lee, S. H., Arenas, J., Ivinson, A., Robinson, H., and Singh, S. (2001). Global governance of technology: meeting the needs of developing countries. *International Journal of Technology Management*, 22(7/8):629.
- K G, S., L, V., MD, B., R, S., and Magesh, A. (2025). A review on role of advances in computing in achieving sustainable development goals. *Recent Research Reviews Journal*, 3(2):468–481.
- Morstyn, T. and Wang, X. (2024). Opportunities for quantum computing within net-zero power system optimization. *Joule*, 8(6):1619–1640.
- Mudhol, A. C. (2024). Integrating quantum computing into business analytics: Opportunities and challenges. *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, pages 2451–2463.
- Otgonbaatar, S., Nurmi, O., Johansson, M., Mäkelä, J., Gawron, P., Puchala, Z., Mielczarek, J., Miroszewski, A., Dumitru, C., Oberpfaffenhofen, D., Lmu, München, Kocman, T., and Mielczarek, J. (2024). Quantum computing for climate change detection, climate modeling, and climate digital twin.
- Priyanka, Dhuliya, P., Singh Rana, D., Goyal, S., Kukreti, S., and Pundir, S. (2024). Quantum computing for sustainable development: A framework for environmental and social impact. In *2024 International Conference on Advances in Computing, Communication and Materials (ICACCM)*, pages 1–7. IEEE.
- Raja, S. and Christiaensen, L. (2017). The future of work requires more, not less technology in developing countries.
- Rosario, M. d. (2012). Ict in education policies and national development. In *Post-Secondary*

Education and Technology, pages 17–38. Palgrave Macmillan US.

Saleem, A. and Higuchi, K. (2014). Globalization and ict innovation policy: Absorption capacity in developing countries. In *16th International Conference on Advanced Communication Technology*, pages 409–417. Global IT Research Institute (GIRI).

Schiff, M. and Wang, Y. (2010). *North-South Trade-Related Technology Diffusion: Virtuous Growth Cycles In Latin America*. World Bank.