



Vigilada Mineducación

**BLOCKCHAIN, UNA OPORTUNIDAD PARA EL DESARROLLO DE LAS  
ASOCIACIONES PÚBLICO-PRIVADAS EN INFRAESTRUCTURA EN COLOMBIA**

Blockchain, an opportunity for the development of Public-Private Partnerships in infrastructure  
in Colombia

**OSCAR JAVIER ÁLVAREZ ZAMBRANO**

Trabajo de grado, artículo publicable

**Asesor**

Diego Alexander Restrepo Tobón

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**Escuela de finanzas, economía y gobierno**

**Programa: maestría en economía aplicada**

**Pasto**

**2022**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	7
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	8
JUSTIFICACIÓN	11
OBJETIVOS	15
OBJETIVO GENERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
REVISIÓN DE LA LITERATURA	16
DESARROLLO DE LOS PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA Y LAS ASOCIACIONES PÚBLICO-PRIVADAS EN COLOMBIA	16
ESTADO DE LA FINANCIACIÓN DE LOS PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA. (INVERSIÓN)	23
IMPACTO DE LA INFRAESTRUCTURA EN LA ECONOMÍA	26
EL BLOCKCHAIN Y LA TOKENIZACIÓN	29
La Tecnología de contabilidad distribuida (DLT) y el Blockchain	29
Tokenización	31
Contrato inteligente (Smart Contract)	32
Aporte del blockchain a los proyectos de inversión de infraestructura	33
Proceso de tokenización	34
Ventajas del uso del Blockchain para la tokenización de activos de infraestructura	34
CASOS DE APLICACIÓN	37
Token ZiyenCoin – Sector Energético	37
La Iniciativa de la Franja y la Ruta (BRI).	38
Belarus 252 / USD	39
WePower (WPR)	39
Tokenestate	40
DESAFÍOS PARA LA TOKENIZACIÓN	40
Regulación	40
Tecnología	41
Afectación de los mercados	42

Escalabilidad y conciencia pública	42
Contaminación	43
ANÁLISIS	44
CONCLUSIONES	46
REFERENCIAS	47

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Registro acumulado RUAPP, según tipo de APP	13
<b>Figura 2.</b> Inversión en Infraestructura de transporte (% del PIB)	17
<b>Figura 3.</b> Participación INVIAS y ANI en la Red Primaria	18
<b>Figura 4.</b> Composición de la red vial nacional	19
<b>Figura 5.</b> Estado de la Red Primaria Nacional	19
<b>Figura 6.</b> Calificación Infrascopio 2019	20
<b>Figura 7.</b> Dotación en infraestructura de transporte en Colombia	21
<b>Figura 8.</b> Resultados encuesta de opinión ejecutiva del Foro Económico Mundial	22
<b>Figura 9.</b> Impacto de la inversión en infraestructura en la sociedad y la economía	27

## RESUMEN

El presente artículo investiga la manera en que la tecnología de Blockchain puede resolver algunas fricciones en la financiación de infraestructura a través de Asociaciones Publico-Privadas, en Colombia. Ésta es clave para aliviar la pobreza y generar crecimiento a largo plazo, sin embargo, el financiamiento se enfrenta a un decrecimiento de capitales, debido al aumento de los déficits públicos, los problemas de transparencia y el alto costo de financiamiento. Este documento hace una revisión exhaustiva de literatura para estudiar el potencial del Blockchain en el mejoramiento de eficiencia de finanzas públicas y en atracción de fuentes privadas para cerrar la brecha existente en infraestructura.

El Blockchain impacta la inversión en infraestructura, democratizando la participación en los proyectos de tres maneras: i) Ampliando el grupo de inversores, atrayendo capitales potenciales de pequeños financiadores, ii) Descentralizando la formulación de proyectos hacia instituciones como alcaldías y gobernaciones y iii) Proponiendo modelos financieros que acojan proyectos de mediana y pequeña envergadura tales como las redes secundarias y terciarias. El Blockchain mejora la liquidez de los activos de infraestructura, elevando la transparencia y la confianza y disminuyendo los costos de transacción facilitando el acceso a diferentes capitales.

**Palabras clave:** Blockchain, Tokenización, Asociaciones Publico-Privadas, Infraestructura, Democratización.

## ABSTRACT

This article investigates the way in which Blockchain technology can solve some frictions in the financing of infrastructure through Public-Private Associations, in Colombia. This is key to alleviate poverty and generate long-term growth, however, financing faces a decrease in capital, due to the increase in public deficits, transparency problems and the high cost of financing. This document makes an exhaustive review of the literature to study the potential of Blockchain in improving the efficiency of public finances and in attracting private sources to close the existing gap in infrastructure.

The Blockchain impacts investment in infrastructure, democratizing participation in projects in three ways: i) Expanding the group of investors, attracting potential capital from small financiers, ii) Decentralizing the formulation of projects to institutions such as mayors and governors and iii) Proposing financial models that accommodate medium and small-scale projects such as secondary and tertiary networks. The Blockchain improves the liquidity of infrastructure assets, increasing transparency and trust and reducing transaction costs by facilitating access to different capitals.

**Keywords:** Blockchain, Tokenization, Public-Private Partnerships, Infrastructure, Democratization.

## INTRODUCCIÓN

Partiendo de una revisión exhaustiva de literatura y casos al respecto, donde se examina la manera en que la tecnología de Blockchain puede resolver algunas fricciones en la financiación de proyectos de infraestructura mediante las Asociaciones Publico-Privadas en Colombia; este artículo, constituye un marco conceptual sobre la financiación mediante Blockchain de activos de infraestructura, en donde se resaltan las oportunidades que brindan las nuevas tecnologías y el modo en que podrían complementar a los instrumentos convencionales de financiamiento.

El país, actualmente tiene una brecha en el desarrollo de infraestructura con respecto a economías de la región y a economías desarrolladas. Dicho rezago se debe a la incapacidad del estado en invertir recursos públicos y a la falta de capitales privados que están concentrados en unos pocos actores.

El Blockchain, contribuye al desarrollo de proyectos de infraestructura a través de las Asociaciones Público-Privadas, al abrir la puerta a nuevos inversionistas que antes no podían participar en este tipo de proyectos y al crear un escenario con mejores condiciones de costos, confianza, transparencia y gobernabilidad. Además, es asumido como un catalizador para la generación de nuevas relaciones en la que se crean instituciones y organizaciones bajo una gobernanza económica, basada en la descentralización a partir de Contratos Inteligentes auto gestionables, que reflejan menores costos transaccionales. De esta manera el Blockchain puede ser abordado desde la teoría de los contratos incompletos de Hart, la economía de los costos de transacción de Coase, el área de recursos compartido o bienes comunes de Ostrom o desde la coordinación del mercado de Hayek entre otros.

Asimismo, el Blockchain, son organizaciones espontaneas que facilitan las transacciones, coordinando un grupo distribuido de personas, definiéndose además como un bien común sin confianza y creando su propio universo de eficiencia democrática. Buterlin (2015) define el Blockchain como,

una computadora mágica a la que cualquiera puede cargar programas y dejar que los programas se autoejecuten, donde los estados actuales y todos los estados anteriores de cada programa siempre son visibles públicamente, y que conlleva una garantía criptoeconómicamente segura de que los programas que se ejecutan en la cadena continuarán ejecutándose exactamente en la forma en que especifica el protocolo Blockchain. (parr. 2)

Esta tecnología, convierte fuentes de datos en datos no sensibles o inmutables, indescifrables e irreversibles llamados “tokens”, beneficiando con ello, la eficiencia administrativa y financiera, fomentando la relación de confianza entre las partes y reduciendo los costos de intermediación.

Existen varios estudios que vinculan el crecimiento económico, con la inversión en infraestructura, demostrando una relación directa entre el crecimiento del PIB, la disminución de la pobreza y la inversión en este tipo de activos. En este sentido, se utilizó una revisión sistemática de la literatura para identificar conceptos bases, y luego hacer la relación entre infraestructura y Blockchain, analizando los beneficios de esta tecnología y enumerado los desafíos a los que se enfrenta para su implementación, así pues, finalmente mencionar algunos casos de su aplicación, con los que se determinan algunas conclusiones al respecto.

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Partiendo de la revisión exhaustiva de literatura y casos al respecto, el presente artículo investiga la manera en que la tecnología de Blockchain puede resolver algunas fricciones en la financiación de proyectos de infraestructura mediante las Asociaciones Público-Privadas en Colombia.

Buterlin (2015) menciona que el Blockchain como tecnología, no se trata de un conjunto de reglas en particular, se trata de crear la libertad, un nuevo mecanismo con un nuevo conjunto de reglas extremadamente rápido y expulsarlo. Según él, el Blockchain es “*el Lego Mindstorms para construir instituciones económicas y sociales*”(parr. 3). De aquí que, se mire esta tecnología como un nuevo tipo de economía, una organización espontánea, autónoma, con las propiedades de coordinación de un mercado, las propiedades de gobierno de un bien común (Ostrom 1990), y las propiedades constitucionales de un Estado nación (Hayek 1945, 1978; Brennan y Buchanan 1985, citados en Davidson, Filippi, & Potts, 2016).

El Blockchain representa una revolución de las instituciones, las organizaciones y la gobernanza (Davidson, Filippi, & Potts, 2016), entendiéndose como una tecnología de propósito general (Breshahan & Trajtenberg, 1995), que, desde la perspectiva de la “destrucción creativa” Shumpeteriana estaría en la fase disruptiva temprana cuyo desarrollo se dará a medida que se produzca su adopción y difusión (Rogers, 1996).

El Blockchain dentro de la economía, se podría ver como un sistema descentralizado abierto, concepto estudiado por Adam Smith y que se relaciona con un cambio de la gobernanza política, la ley y la comunicación hacia un sistema más abierto evitando la acumulación del poder y su mal manejo. Ésta tecnología mueve los pilares mismos de la economía involucrándose directamente con las organizaciones y mercados, al crear nuevas formas organizativas e institucionales de gobernanza económica entrando en el marco de la Economía del Costo de Transición basada en las ideas de Coase (Coase, *The Nature of the firm*, 1937) (Coase, *The Problem of social cost*, 1960) y que se fundamenta en agentes que buscan economizar estos costos (Davidson, Filippi, & Potts, 2016).

Dicha tecnología, también se encaja en la teoría del contrato, debido a que el corazón de su funcionamiento es la ejecución de Contratos inteligentes (Smart Contract) que deben ser contratos completos, sin embargo, la mayoría de las empresas recaen en los contratos incompletos (Hart, 1989) involucrando costos de transacción que el Blockchain evitaría.

En sí, el Blockchain son organizaciones espontáneas que facilitan las transacciones, coordinando un grupo distribuido de personas, definiéndose además como un bien común sin confianza y creando su propio universo de eficiencia democrática donde la participación del gobierno en su regulación es necesaria.

Por otro lado, según el Informe Nacional de Competitividad 2020-2021 del Consejo Privado de Competitividad de Colombia, tan solo 7 de los 32 Departamentos existentes en Colombia, cuentan con más del 73% de sus vías pavimentadas en buen estado (Consejo Privado de Competitividad, 2020). Colombia ocupa el puesto 104 entre 141 países en materia de calidad de infraestructura de transporte terrestre y dentro de América Latina ocupa el puesto 11 entre 17 países con un puntaje de tan solo 39.7 / 100, lo mismo sucede con el índice de conectividad de las carreteras donde Colombia obtiene un puntaje de 65,4/100 (World Economic Forum, 2019).

La pandemia afectó el Índice de Competitividad Global de Colombia bajando sus niveles a los que traía en 2018<sup>1</sup>. De acuerdo con el reporte presentado por el Intitute for Management Development (IMD) en 2021, Colombia perdió dos posiciones frente a la medición realizada en 2020, ocupando el puesto 56 entre 64 economías evaluadas con un puntaje de 46.7/100 (Toro J. , 2021), lo que deja entrever que no existe mucho avance en inversión en proyectos de infraestructura<sup>2</sup>, aunque es claro; que la pandemia afectó a nivel global todas las economías, de ahí que Colombia esté en la posición 3 a nivel regional por debajo de Chile y México.

Además, Colombia sufrió en 2021 una pérdida del grado de calificación en los índices de Fitch Ratings y Standard & Poor's, afectando la atracción de capitales. El último reporte de Competitividad correspondiente al periodo 2021–2022, destaca que la inversión privada que se ha realizado entre 1990 y 2020, equivale al 0,8% del PIB, posicionando a Colombia por debajo de países como Honduras, Brasil, Perú y Bolivia (Consejo Privado de Competitividad, 2021).

Colombia tiene el 75% de la red terciaria en mal estado, representando el 70% en promedio de la totalidad de la red vial y solo el 6% de ellas están pavimentadas (Consejo Privado de Competitividad, 2021). En promedio en el año 2020, el 84.4% de la carga efectuada, fue mediante transporte por carreteras (Ministerio de Transporte, 2021), aspecto en el cual la red terciaria juega un papel preponderante, encontrándose con enormes rezagos, limitando los indicadores productivos y competitivos que impactan sobre el crecimiento del país (Rojas Lopez & Ramirez Muriel, 2018). Lo anterior, destacando que Colombia en los últimos años ha tenido grandes progresos en materia de infraestructura.

El avance en infraestructura, logística y transporte, son primordiales para conectar los mercados y para poder sacar los productos, mayormente cuando se trata de un país con la geografía que caracteriza a Colombia. Una buena interconexión de infraestructura reactiva la economía de las regiones, mejorando las cadenas de suministro, aumentando su productividad, generando empleo, aumentando los índices de salud y educación, disminuyendo la pobreza y movilizandolos capitales.

De acuerdo a un informe del Banco Mundial y el Fondo Mundial para la Reducción de los Desastres y la Recuperación (2019), el beneficio neto de invertir en infraestructura más resiliente en los países de ingreso bajo y de ingreso mediano ascendería a los USD 4.2 billones, lo que representa un beneficio de USD 4 por cada dólar invertido (Hallegate, Rentschler, & Rozenberg, 2019) y un estudio del McKinsey Global Institute (2017) estima que, por cada centavo de dólar invertido en el sector de la infraestructura, el PIB se ve impactado en un aumento de 20 centavos (Consejo Privado de Competitividad, 2020).

Colombia tiene un gran desafío respecto a la diversificación de fuentes de financiación para la infraestructura. La vinculación del sector privado entra a dinamizar esta actividad bajo el modelo de las Asociaciones Público-Privadas —en adelante APPs—. Éstas, son un mecanismo para impulsar el diseño y construcción de infraestructura<sup>3</sup> y sus servicios asociados, o su construcción, reparación, mejoramiento o equipamiento, involucrando a la vez la operación y mantenimiento de estas. Es pertinente establecer que el sistema de otorgamiento al privado de la consecución y administración de la infraestructura obedece a la incapacidad de inversión del estado. La inversión privada en transporte tiene una relación directa positiva sobre el incremento del PIB (Rojas Lopez

---

<sup>1</sup> En el periodo 2017–2018 ocupó la posición 110 entre 137 economías evaluadas (World Economic Forum, 2018)

<sup>2</sup> Infraestructura en el presente estudio se refiere a la infraestructura de transporte terrestre.

<sup>3</sup> También puede verse aplicado para el caso de infraestructura para la prestación de servicios públicos.

& Ramirez Muriel, 2018), por ello, Colombia precisa asegurar el financiamiento en este tipo de activos.

En la actualidad la principal fuente de recursos del programa 4G<sup>4</sup>, es la contribución de banca nacional con más del 45%, afectando el indicador de la solvencia bancaria por fuera de las buenas prácticas internacionales. La banca local proyecta no superar una participación del 30% en este tipo de proyectos (Consejo Privado de Competitividad, 2019), y la participación privada la ocupa un grupo pequeño de grandes capitales, estando el mercado de las APPs concentrado en unas pocas empresas (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019), por tal motivo, es necesario buscar instrumentos de financiación alternativos, con lo que se rompan estas barreras.

Pero, ¿qué es el Blockchain y que podría aportar? El Blockchain no es más que una base de datos compartida, no sensible o inmutable, encriptada y descentralizada la cual puede almacenar todo tipo de información vinculada al usuario siendo la base de las finanzas digitales, permitiendo la representación de activos mediante la tokenización es decir convertir fuentes de datos en datos no sensibles o inmutables, indescifrables e irreversibles llamados “tokens”, beneficiando con ello, la eficiencia administrativa y financiera, fomentando la relación de confianza entre las partes y reduciendo los costos de intermediación.

La tokenización mediante la tecnología Blockchain, permite cubrir el problema de la participación de grandes capitales en los proyectos de infraestructura, fraccionando los activos en partes más pequeñas, permitiendo la democratización de las inversiones, atrayendo y dejando participar a capitales minoristas de gran potencial (OCDE, 2020).

Colombia tiene planteada la Agenda 2030<sup>5</sup>, con la que busca estimular transformaciones que impacten la calidad de vida de sus pobladores bajo el desarrollo sostenible y una visión de país a largo plazo, asimismo en la esfera económica, social y medioambiental, donde la infraestructura juega un papel supremamente importante, surgiendo el siguiente interrogante: ¿Cómo y de qué manera la tecnología del Blockchain puede contribuir al desarrollo de la infraestructura vial en Colombia a través de las Asociaciones Publico-Privadas?, pregunta que aborda el presente artículo, partiendo de revisión de literatura y casos al respecto que permitan entender la contribución que aportaría el Blockchain como base para la tokenización de activos, limitando el estudio a la financiación de proyectos de infraestructura pero abriendo interrogantes que amplifiquen su uso.

---

<sup>4</sup> Programa de vías de cuarta generación en Colombia.

<sup>5</sup> La agenda 2030 está acompañada por el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que nace como un llamado de las Naciones Unidas para acelerar acciones efectivas que promuevan la solución a los problemas de desarrollo global

## JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con un informe del CEPAL, el crecimiento y la productividad de los países de América latina, ha sido deficiente durante las últimas décadas (Sánchez & Chauvet, 2019), existiendo estudios que demuestran la relación directa que hay entre la inversión en infraestructura, el crecimiento del PIB y el impacto de la pobreza.

Según el informe de INFRASCOPIO (2019), en 2017, América Latina y el Caribe invirtió menos en infraestructura como proporción del producto interno bruto (PIB) que cualquier otra región, excepto África subsahariana (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019), así; en los años ochenta la inversión en infraestructura económica para las principales economías de AL<sup>6</sup> en promedio alcanzo el 3,6% del PIB, cifra que se redujo a 2.2% del PIB para la década de los noventa y a 1,9% del PIB para inicios del nuevo siglo, teniendo un promedio de 1.8% entre los años 2011 y 2016 (Sánchez & Chauvet, 2019).

El mismo informe señala que en la última década, el promedio de la inversión de infraestructura ha alcanzado el 3.5% del PIB (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019), como sea, se connota la existencia de una brecha en esta materia frente a países con mayor desarrollo, por lo que en general, la región de América Latina y el Caribe necesita mejorar sus condiciones y la políticas que promuevan progresos en este sentido para sostener un nivel apropiado de crecimiento, dicha brecha; de acuerdo al CEPAL es del orden de 5% del PIB (Sánchez & Chauvet, 2019).

La carencia de una óptima infraestructura, está marcada como una de las principales barrera potenciales de crecimiento en la gran mayoría de los países de ALC<sup>7</sup> con excepción de Ecuador, Guayana, y Jamaica (Cavallo & Powell, 2018) y estudios recientes, formulan que para cerrarla, se requiere que la infraestructura en América Lantina crezca por el orden del 7.4% del PIB anual para el periodo entre 2016 y 2030 (Sánchez & Chauvet, 2019), destacando que según un informe del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, a nivel mundial, los países de ingreso bajo y medio invierten por el orden del 3.4% y el 5% del su producto interno bruto (Hallegate, Rentschler, & Rozenberg, 2019).

El problema de la infraestructura no es solo cuestión de aumentar la inversión, sino de hacerlo de mejor manera en términos de eficiencia y eficacia bajo índices de calidad que den cobertura, suscitando igualdad y sostenibilidad. En el caso de Colombia, el bajo desarrollo de la infraestructura afecta la conectividad y encarece los servicios, con lo que las actividades de logística se tornan ineficaces, deteriorando el índice de competitividad del país. Buscar esquemas que fortalezcan este sector, resulta de gran importancia en la perspectiva de desarrollo de la región, modelos que se logren integrar a los existente para aumentar el porcentaje de financiación, dinamizando los mercados e incrementando la conectividad internacional de la economía.

Un estudio de Fedesarrollo del año 2013 plantea que Colombia debería haber hecho una inversión continua año tras año hasta 2020 por el orden del 3,1% del PIB, del cual 20% debería ser para cerrar la brecha existente en infraestructura de transporte multimodal<sup>8</sup> y 80% para atender el esperado aumento de la demanda (Yepes, Ramirez, Villar, & Aguilar, 2013), un porcentaje más conservador al trazado para la región de América Latina, pero que igual ha implicado un reto en la consecución de recursos financieros por parte del Estado.

---

<sup>6</sup> América Latina

<sup>7</sup> América latina y el Caribe

<sup>8</sup> puertos, vías férreas y carreteras

La inversión en infraestructura de transportes decayó en los últimos años, si bien en el periodo comprendido entre el 2014 y 2016 logró llegar a 3.1% del PIB<sup>9</sup>, para el periodo 2017-2018 la inversión disminuyó al 1.3% del PIB<sup>10</sup> (Mejía & Delgado, 2020) debido a problemas de financiamiento, de ahí que, se necesite diversificar las fuentes de inversión integrando el sector productivo en la priorización de proyectos que promuevan la iniciativa privada, siendo el modelo de las Asociaciones Publico-Privadas la mejor manera de crear dicho vínculo y de lograr los niveles de inversión requeridos, más aún; considerando que la crisis por COVID-19 y la situación macroeconómica del país así lo demandan (Consejo Privado de Competitividad, 2020).

De acuerdo al informe de INFRASCOPIO (2019), la “financiación” es el área en la que ALC obtiene el menor puntaje, lo que demuestra la insipiente de las instituciones financieras en la zona, resaltando además; que el puntaje de Colombia para el “clima de inversiones y negocios” se redujo en cinco puntos según el mismo reporte (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019) (Ver figura 1), y que en el 2021, Colombia sufrió una disminución en su calificación de riesgo por parte de Fitch Ratings y Standard & Poor’s, de esta manera; entre 1990 y 2020, la inversión privada en infraestructura como porcentaje del PIB acumulado en este periodo alcanzó tan solo el 0.8% del PIB (Consejo Privado de Competitividad, 2021).

Aunque el país tiene una buena regulación que brinda confianza y promueve la inyección de capital en este tipo de proyectos, la financiación en infraestructura tiene muy poca efectividad en cuanto a tiempo, costos y cumplimiento, aparte de estar permeabilizada por la corrupción, con esto; el llamado a la participación, se ha visto encaminado a un grupo selecto de grandes capitales, estando altamente concentrado el mercado de las APPs<sup>11</sup> en unas pocas empresas, a quienes se les adjudica muchos de estos contratos (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

Vale la pena distinguir que, con corte al cuarto trimestre de 2021 se tenían 812 proyectos registrados en el RUAPP<sup>12</sup> de los cuales 288 se encuentran en evaluación<sup>13</sup> y de estos el 73,61% son de iniciativa privada, habiendo 193 planteados sin recursos públicos y siendo el sector de Transporte y Movilidad el que presenta mayor participación con el 49.54% de las iniciativas vigentes, pese a esto; a dicho corte tan solo se han adjudicado o contratado el 14.58% de los proyectos vigentes (Departamento Nacional de Planeación, 2021), dejando percibir que no existe aún una vinculación fuerte del sector privado lo que puede deberse a la presentación de propuestas no alineadas con las necesidades de infraestructura proyectadas por el gobierno nacional o a la presentación de propuestas no muy bien preparados y o poco bancables o a un problema institucional. (ver figura 1)

---

<sup>9</sup> Esto se debió a la puesta en marcha del programa 4G

<sup>10</sup> Problemas de corrupción y la baja de los precios del petróleo, generaron problemas de financiamiento

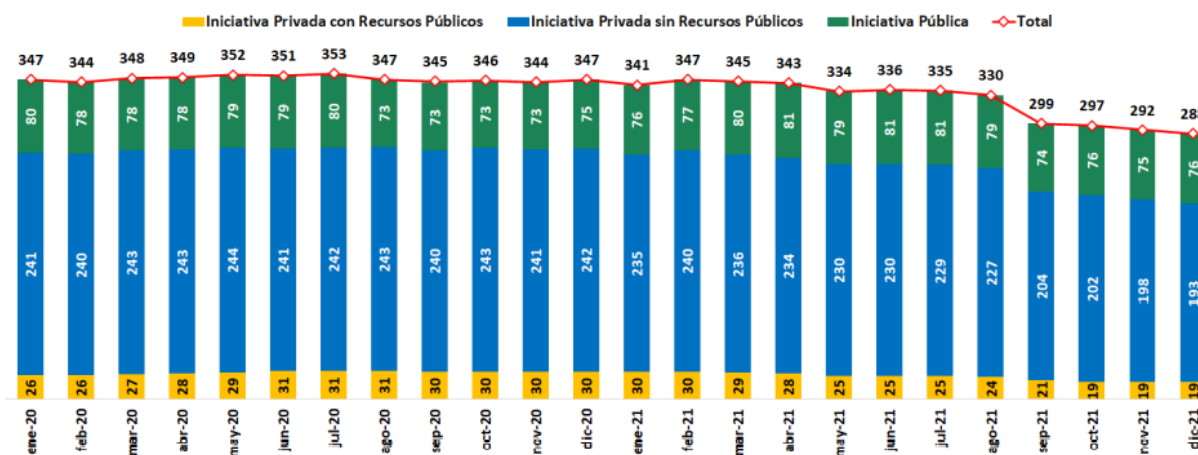
<sup>11</sup> Colombia como Chile tienen este problema de acuerdo con el informe de Infrascopio 2019

<sup>12</sup> Registro Único de Asociaciones Publico-Privadas

<sup>13</sup> Los 524 proyectos restantes se encuentran rechazados, desistidos por el proponente, fallidos o declarados desiertos

**Figura 1**

*Registro acumulado RUAPP, según tipo de APP*



*Nota:* Tomada de Informe Cuarto Trimestre 2021, Registro Único De Asociaciones Publico Privadas, Boletín Núm. 32 (p. 3) por Departamento Nacional de Planeación, 2021.

Constituyendo la iniciativa privada un mecanismo de participación considerablemente utilizado en el sector productivo, la baja adjudicación y contratación de los proyectos presentados bajo este esquema, refleja solidas oportunidades de mejora para maximizar su impacto (Consejo Privado de Competitividad, 2021) y aquí, el planteamiento de nuevas formas de financiación toma protagonismo, aún más cuando estas, por un lado ayudarían en un sentido a la democratización de la participación en inversión de los grandes proyectos,<sup>14</sup> y por otro, al desarrollo de proyectos menos robustos desde la descentralización del estado, ejemplo de ello serian la redes viales secundarias y terciarias.

El Blockchain se ha convertido en uno de los pilares de las llamadas finanzas digitales y en la tokenización como implementación de esta tecnología, así que, aquí puede estar la clave para lograr la eficiencia en la obtención de capitales y el mejoramiento de la liquidez para la inversión en infraestructura, factor que podría conjugarse con las finanzas sostenibles, aportando al camino del cumplimiento la agenda 2030 en Colombia, de ahí que, el Ministerio de Transporte haya expedido lineamientos de infraestructura vial verde, vinculando elementos ambientales, sociales, tecnológicos y de ingeniería (Departamento Nacional de Planeación, 2020).

La tokenización como implementación del Blockchain, puede permitir una mejor actuación de los capitales al generar confianza en los inversionistas, aportando transparencia, optimización de los costos y tiempos de transacción mediante contratos inteligentes (Smart Contract), en los que el gran número de intermediarios desaparecen, elevando así; el interés de los inversionistas en este tipo de activos. Desde el ángulo de los gobiernos de las economías en desarrollo, se logra encontrar

<sup>14</sup> Ya que como fue mencionado, en la actualidad solo un pequeño grupo de inversionistas institucionales son los que participan en este mercado, por ejemplo, los fondos de inversión, los fondos de pensiones o las compañías de seguros, bancos y cajas, sociedades de inversión e instituciones de inversión colectiva.

mayores eficiencias administrativas y de inversión mediante la automatización de las auditorías (Tian, y otros, 2020) como parte de la transparencia proporcionada por esta tecnología.

El Blockchain, disminuiría algunas paredes que se crean en la financiación tradicional de infraestructura, tales como una mejor distribución para el inversor, liquidez, eficiencia administrativa, seguridad digital, pagos inteligentes, entre otros, ayudando a la atracción de mayores recursos, además, éste complementaría eficazmente a instrumentos novedosos tales como la deuda de infraestructura colateralizada (Consejo Privado de Competitividad, 2020) o los fondos de deuda, e impulsaría enormemente el crowdfunding y los fondos de inversión colectiva, extendiendo de esta manera, la participación en los grandes proyectos de infraestructura de pequeños capitales que se están dejando por fuera del mercado. Se plantea la hipótesis de que el Blockchain podría ser un catalizador para acoger nuevos capitales y permitir la financiación de proyectos de infraestructura.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar la aplicabilidad de la tecnología Blockchain para contribuir al desarrollo de proyectos de infraestructura a través de las Asociaciones Publico Privadas en Colombia.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Exponer la situación actual de la financiación de los proyectos infraestructura vial en Colombia.

Explicar el marco conceptual de la tecnología Blockchain e identificar las oportunidades que ofrece, comparando sus características con los instrumentos de financiación convencionales.

Hacer una revisión exhaustiva a la literatura respecto al uso del Blockchain para la financiación de proyectos de infraestructura.

## REVISIÓN DE LA LITERATURA

### DESARROLLO DE LOS PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA Y LAS ASOCIACIONES PÚBLICO-PRIVADAS EN COLOMBIA

Los proyectos de infraestructura demandan grandes inversiones que se salen de los presupuestos públicos, razón por la cual, los gobiernos deben hacer partícipes a capitales del sector privado transfiriendo los servicios de infraestructura o parte de ellos. Esta participación privada se da mediante contratos de concesión (Sánchez & Chauvet, 2019) una manera común de llamar a las Asociaciones Publico-Privada sin querer significar lo mismo<sup>15</sup>.

Bajo la figura de las Asociaciones Publico-Privada, el concesionario privado construye (financiado con fondos propios, créditos y recursos del mercado de capitales), y cuando la obra entra en operación, realiza el mantenimiento y cobra peajes y recibe transferencias fiscales del Gobierno<sup>16</sup> (Ramírez Giraldo, y otros, 2021), creando incentivos para generar innovación en sistemas de financiación alternativos, transferencia de conocimientos, experiencias y tecnología (Sánchez & Chauvet, 2019).

Los programas de Asociación Público-Privada, resultan ser bastante efectivos por marcar mejores indicadores en sobrecostos y retrasos, de acuerdo con Guasch (2017) quienes analizaron una muestra de 500 proyectos de contratos tradicionales vs una muestra de igual número de contratos APPs, obtuvieron que los sobrecostos en los contratos de obra pública fueron superiores al 85% en promedio, mostrando un retraso de aproximadamente 92%, mientras que los sobrecostos bajo la modalidad de APPs disminuyen a un 21%, con retrasos de alrededor del 26% (Sánchez & Chauvet, 2019).

En Colombia, las Asociaciones Publico Privadas se remontan a los años 90, década en la que se lanzó la primera generación de proyectos dentro del marco de la apertura económica propuesta por el entonces presidente Cesar Gaviria, de ahí, el país seguiría apostándole a este modelo bajo tres oleadas de proyectos, cada una bajo condiciones particulares que fueron mejorando el marco normativo e institucional para crear mejores condiciones de atracción de capitales de inversionistas privados.

En 2012 se expidió la Ley 1508, con la que se consolidó el esquema regulatorio rector de los procesos y procedimientos de selección y contratación, con mejores prácticas internacionales en materia de estructuración de proyectos que promueven una mayor inversión privada. Bajo esta nueva normatividad, se lanzó los proyectos de cuarta generación que se vienen ejecutando en la actualidad y que entre sus objetivos se encuentra el cerrar la brecha de infraestructura, aumentar la participación privada y reducir los costos de transporte y tiempos, entre otros (DNP & CONPES, 2013).

Hay que mencionar que Colombia posee la mejor calificación junto con Chile en el tema de “Regulación” de acuerdo con INFRASCOPIO (2019), lo que refleja sus mejoras en temas de transparencia y mayores posibilidades para que los Gobiernos regionales y municipales, así como, las empresas estatales, participen en las APPs (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

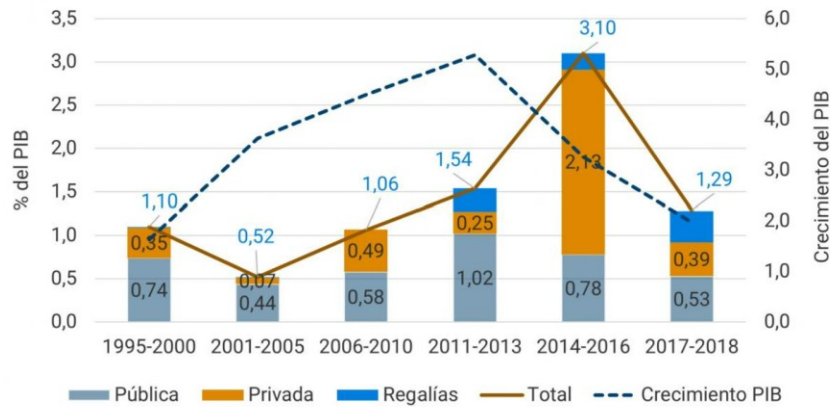
---

<sup>15</sup> El contrato de concesión es una tipología o clase de APP.

<sup>16</sup> En Colombia garantizados por medio de las vigencias futuras.

Además, bajo la Ley 1508 de 2012, la inversión sufrió un aumento de 1,1% del PIB en el período 2006-2010, a 1,5% durante 2011-2013 y a 3,1% para el período 2014-2016. No obstante, el dinamismo no se mantuvo y la inversión en infraestructura de transporte cayó a 1,3% del PIB en el período 2017-2018 (Mejía & Delgado, 2020).

**Figura 2**  
*Inversión en Infraestructura de transporte (% del PIB)*



*Nota:* Tomada de Impacto macroeconómico y social de la inversión en infraestructura en Colombia, 2021 – 2030, (p. 13) por Mejía & Delgado, 2020.

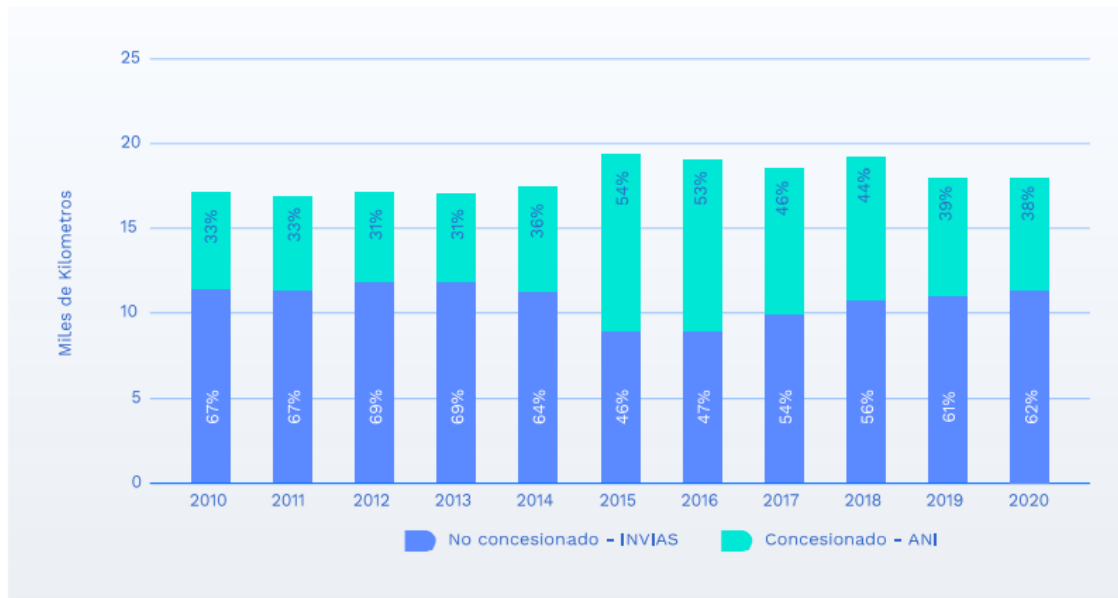
En la actualidad, el gobierno viene impulsado el proyecto de quinta generación (5G), llamado “Concesiones del Bicentenario”, el cual tiene un enfoque intermodal y busca mejorar la logística del país y responder a las exigencias de sostenibilidad a nivel global, contribuyendo con la agenda 2030 de las Naciones Unidas. Este plan, se lanzó en 2021 con 12 proyectos que favorecerán a la reactivación económica del país (Toro, 2021), luego de un periodo importante de contracción económica debida al Covid-19 y a situaciones de geopolítica internacional tal como lo es la guerra entre Rusia y Ucrania.

En los últimos 25 años, el Gobierno nacional ha estructurado y concesionado un total de 60 proyectos viales, 16 aeropuertos, 61 puertos y 2 líneas férreas (Departamento Nacional de Planeación, 2021), aun así; sin duda, Colombia aún tiene un largo camino que recoger para estar a la par de economías del primer orden en estos aspectos.

Institucionalmente, a la posición de gobierno central, Colombia dispone del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), la primera; maneja el 62% de la red primaria administrada bajo el modelo tradicional de contratación, y la segunda, maneja el 38% de la red primaria, mediante Asociaciones Publico-Privado, en otras palabras, el 38% de las vías primarias están concesionadas en Colombia.

**Figura 3**

*Participación INVIAS y ANI en la Red Primaria*

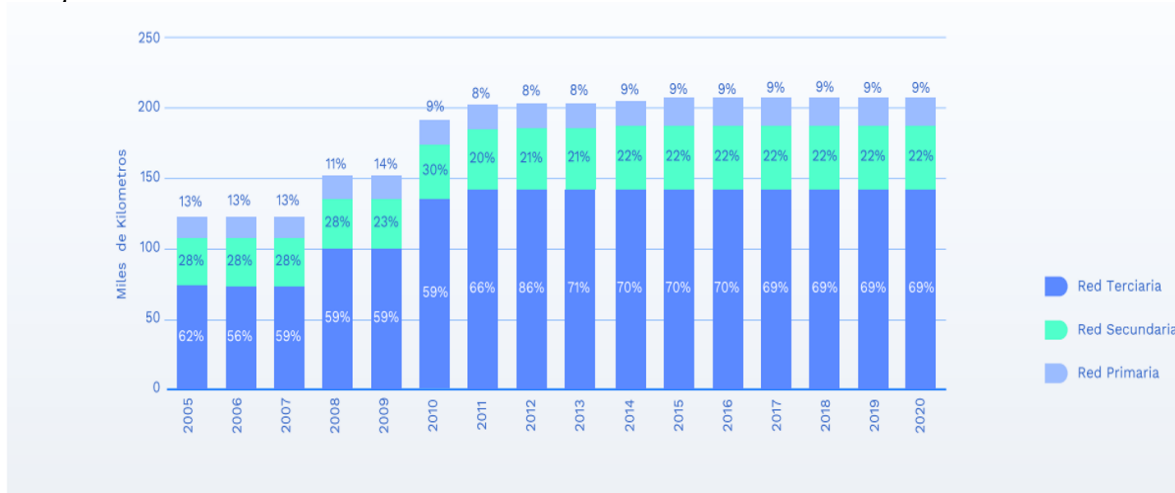


Fuente: Elaboración propia con datos del INVIAS y la ANI

*Nota:* Tomada de Transporte en cifras estadísticas 2020 (p.22) por Ministerio de Transporte, 2021.

Los proyectos que hacen parte de estas oleadas de concesiones corresponden a proyectos robustos de primer orden, para interconectar los grandes centros de comercio, no obstante; Colombia tiene una deuda con activos tales como las vías secundarias y terciarias que interconecta los sectores primarios de producción. La mayor longitud de vías de interconexión en Colombia, corresponden a estos dos últimos activos (Consejo Privado de Competitividad, 2021). (ver figura 4)

**Figura 4**  
*Composición de la red vial nacional*



*Nota:* Tomada de Transporte en cifras estadísticas 2020 (p.27) por Ministerio de Transporte, 2021.

La planificación de proyectos de infraestructura se encuentra concentrados en unas pocas instituciones, la mayoría de estos, están en manos de la ANI, la Alcaldía de Bogotá, la Gobernación del Magdalena y la alcaldía de Medellín (Departamento Nacional de Planeación, 2021), lo que indica que, se debe fortalecer la institucionalidad para que exista más participación desde la descentralización del gobierno, permitiendo acometer toda la infraestructura rezagada a nivel departamental y municipal concerniente a redes secundarias y terciarias.

Si se analiza la red primaria, de 11.644 km de red, aún falta por pavimentar el 19% del cual tan solo un 14% se encuentra en buen estado o muy buen estado y de los kilómetros pavimentados el 48% está en regular o mal estado.

**Figura 5**  
*Estado de la Red Primaria Nacional*



*Nota:* Tomada de Transporte en cifras estadísticas 2020 (p.28) por Ministerio de Transporte, 2021.

Un buen documento de consulta para lograr percibir el rezago de la infraestructura de transporte tanto terrestre, como fluvial y aéreo y sus repercusiones en el impacto en la logística del país, es el informe “Transporte en cifras, Estadísticas 2020” del Ministerio del Transporte. Dicho rezago, históricamente ha estado en términos de inversión en infraestructura, entendida esta, como la diferencia entre las inversiones realizadas y aquellas necesarias para sostener cierto nivel de crecimiento o alcanzar metas de provisión (Sánchez & Chauvet, 2019). Este atraso, se aprecia incluso frente a regiones de igual o parecidas condiciones geográficas y topográficas, que para el caso de Colombia se componen de un sistema montañoso que dificultan el desarrollo de la interconectividad terrestre (Ramírez Giraldo, y otros, 2021).

Por su lado; en la figura 6 se puede observar un resumen de la calificación de Colombia de acuerdo a INFRASCOPIO (2019), donde claramente se denota que al país aún le falta conformar un ambiente adecuado de inversión y de clima de negocios (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019), más aún si se desea alcanzar las metas planteadas para el 2030, entre las que se encuentra duplicar la red férrea, pasando de 420 km actuales a 1077 km en 2022, y el facilitar el desarrollo de infraestructura sostenible mediante mayor apoyo financiero y tecnológico.

**Figura 6**  
*Calificación Infrascopio 2019*

Categorías	Posición*	Puntuación/100 **	Clasificación ***
1. Regulación	1	95	Maduro
2. Institucional	5	80	Maduro
3. Madurez	3	75	Maduro
4. Inversión y clima de negocios	17	61	Emergente
5. Financiación	2	73	Desarrollado
<b>Puntuación general de 2019</b>	<b>2</b>	<b>77</b>	<b>Desarrollado</b>

\*Rango de 21 países en LAC, 1 = mejor,

\*\*Puntuación 0-100 donde 100 = mejor.

\*\*\*Maduro (80-100) Desarrollado (60-79) Emergente (30-59) Naciente (0-29)

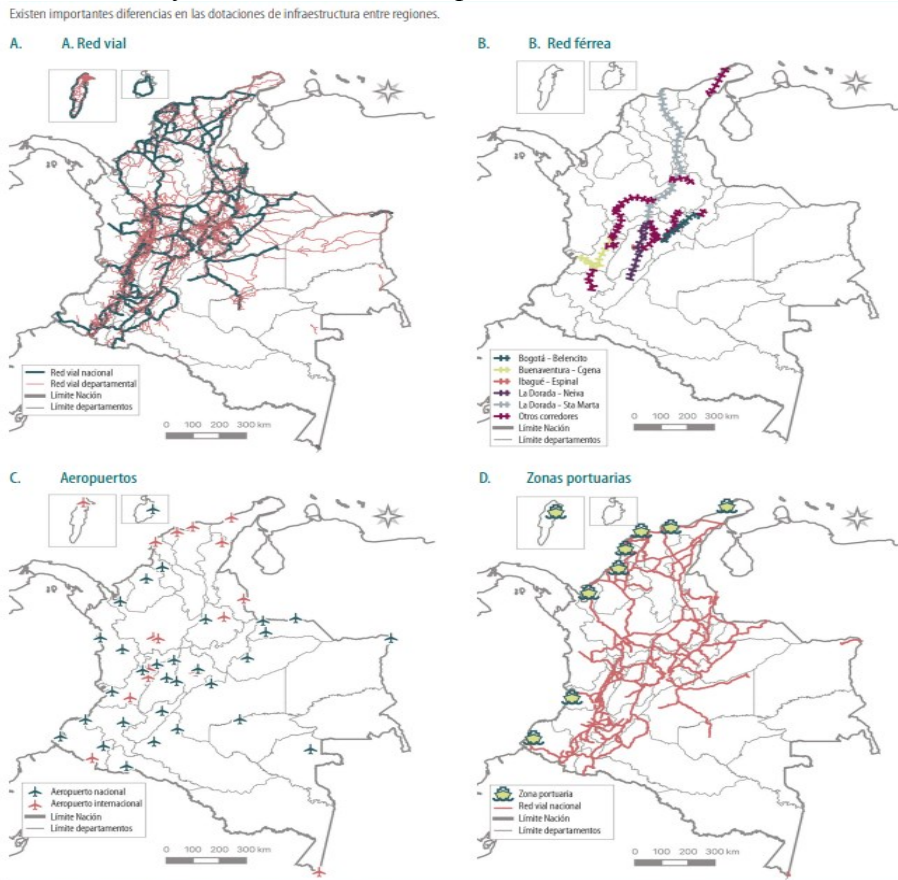
*Nota:* Tomada de INFRASCOPIO 2019: Evaluando el entorno para la asociaciones público-privadas en América Latina y el Caribe (p.18) por Banco Interamericano de Desarrollo, 2019.

La baja puntuación “inversión y clima de negocios” se da inclusive, pese a que de acuerdo con los resultados del Procuring Infrastructure PPPs 2018 que mide las condiciones para el desarrollo de proyectos bajo el esquema de las APPs, Colombia ocupa el tercer puesto entre 135 países a nivel global, estando únicamente por encima el Reino Unido y Australia (International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank, 2018) y dentro de América Latina según el INFRASCOPIO (2019), Colombia comparte el segundo lugar junto con Perú, superados solamente por Chile en el índice general (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

En febrero de 2021, se dio a conocer el índice de capacidades productivas, publicado por la UNCTAD<sup>17</sup>, en el cual Colombia ocupó el puesto 93 entre 193 países en el periodo comprendido entre 2000-2018, registrando bajos índices respecto al transporte y a tecnologías de información y comunicación. Este índice multidimensional, incluye 46 indicadores, agrupados en ocho categorías: tecnologías de información y comunicaciones, cambios estructurales, capital natural, capital humano, energía, transporte, indicadores del sector privado e instituciones (Ramírez Giraldo, y otros, 2021).

Por su parte, si se analiza los siguientes mapas que contienen las diferentes redes de infraestructura del país, claramente se nota una concentración en el área andina, y un abandono en algunas regiones tal como la Costa Pacífica, la Amazonia y la Orinoquia, sobre todo en medios de comunicación terrestres y conforme a esto; también se ubican las zonas con los índices de mayor pobreza del país.

**Figura 7**  
*Dotación en infraestructura de transporte en Colombia*



*Nota:* Tomada de La inversión en infraestructura de transporte y la economía colombiana (p.18) por Ramírez Giraldo, y otros, 2021.

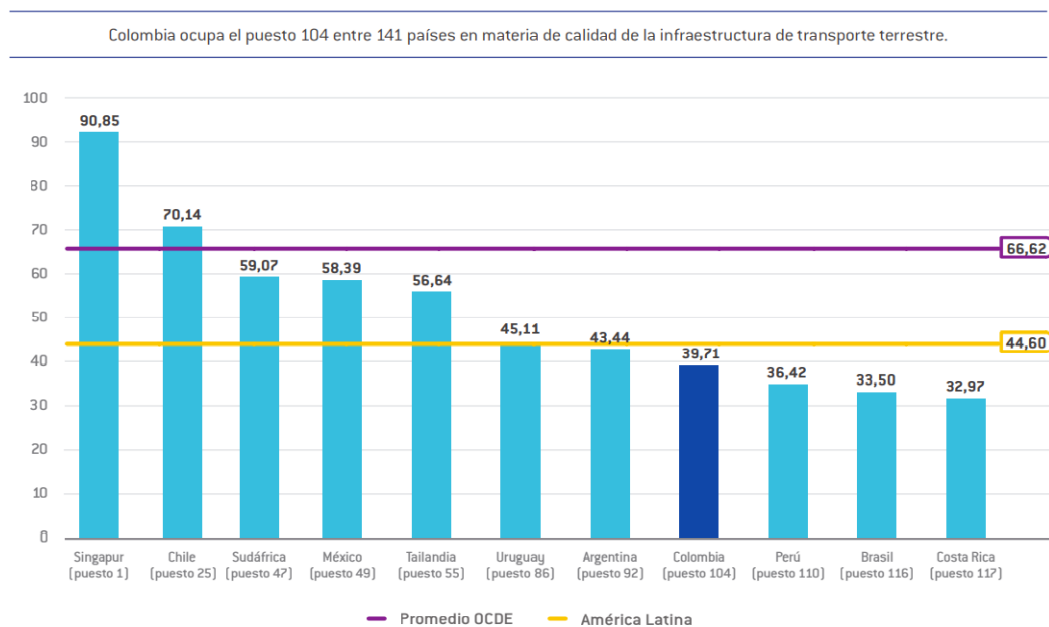
<sup>17</sup> Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo

Dentro del análisis Global Competitiveness Index 4.4 2019 edition, Colombia a nivel general ocupa el puesto 57 entre 141 economías, en la evaluación del segundo pilar correspondiente a “Infraestructura” obtiene un puntaje de 64.3 que la lleva a estar en el puesto 81, por debajo de Singapur (World Economic Forum, 2019), es decir, el 42% de los países evaluados, están por encima de Colombia, descendiendo su posición con respecto al año 2017-2018 en el cual ocupó el puesto 87 sobre 137 países evaluados sobrepasándola el 36.49% de las economías y reflejando la corrupción como la principal problemática para hacer negocios en el país (World Economic Forum, 2018), lo que da lugar a la creación de barreras en el mercado para la entrada de nuevos capitales por ejemplo.

Por otro lado, según la encuesta de opinión ejecutiva del Foro Económico Mundial sobre la calidad de la infraestructura, entre 141 países, Colombia ocupa el puesto 104, con un puntaje de 39.71 inferior al puntaje promedio de la OCDE que es de 66.62 y del promedio de América Latina cuyo puntaje es de 44.60. (Consejo Privado de Competitividad, 2020)

### Figura 8

Resultados encuesta de opinión ejecutiva del Foro Económico Mundial



Nota: Tomada de Informe Nacional de Competitividad 2020-2021 (p.11) por Consejo Privado de Competitividad, 2020.

Lo anterior para indicar el bajo despliegue del componente de infraestructura con que cuenta el país, razón por la cual, la ampliación de fuentes de financiación es fundamental para evitar algunas dificultades y sobrecostos en las concesiones, además de, elevar la competencia entre los

financiadores. Un paso en esta dirección consiste en el compromiso de la FDN<sup>18</sup> para apoyar con sus créditos y garantías los proyectos de 4G.

Igualmente, el Gobierno promovió y permitió la creación de fondos de crédito financieros con inversiones de los fondos de pensiones, y abrió canales para que el mercado de capitales y los bancos del exterior se vinculen a las concesiones (Ramírez Giraldo, y otros, 2021), a pesar de lo anterior y debido a la corrupción en el caso Odebrecht, la banca local reaccionó con temor y la inyección de capital disminuyó, estimulando mayormente, la necesidad de ampliar las fuentes de recursos para la infraestructura.

Aunque no se desconoce que la infraestructura terrestre, aeroportuaria y fluvial ha mejorado en los últimos años, así como el esfuerzo que ha hecho el gobierno para impulsar estos proyectos, el cual ha gozado con un respaldo político tanto en la presidencia como en el congreso, dichos avances no son suficientes y el país muestra gran debilidad en los índices de este componente en el mundo, por lo que la inversión adquiere especial relevancia en este sector (Mejía & Delgado, 2020). De acuerdo con un artículo de Fedesarrollo, un país con las características de Colombia debería tener un 26% más de kilómetros de carreteras de los que tiene un déficit de aproximadamente 45 mil kilómetros que se explica en los bajos niveles de inversión tanto pública como privada (Yepes, Ramirez, Villar, & Aguilar, 2013).

Por último, aunque el país ha evolucionado en la institucionalidad y en la financiación de las redes primarias, esto no ha ocurrido en las redes secundarias y terciarias para lograr un mayor desarrollo de la infraestructura regional y rural. Villa y Ramírez (2014) proponen realizar ajustes en el esquema de descentralización del sector (citados en Ramírez Giraldo, y otros, 2021), con lo que se promovería proyectos de menores categorías desde las entidades departamentales y municipales, y se daría cabida a nuevos tipos de capitales para lo cual se deben diseñar modelos de financiación acordes a ello.

## **ESTADO DE LA FINANCIACIÓN DE LOS PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA. (INVERSIÓN)**

En la historia reciente, el crecimiento económico de las naciones ha estado estrechamente vinculado al grado de inversión y desarrollo de su infraestructura y a la calidad en la prestación de los servicios relacionados. De acuerdo con el informe publicado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe —en adelante CEPAL—, las economías requieren redes de infraestructura de comunicaciones, energía y transporte para expandir su mercado interno y competir internacionalmente. En ese estudio CEPAL resalta los aportes más importantes de la infraestructura al desarrollo económico (i) la articulación y reorganización del diseño territorial mediante la interconexión de sus centros de producción y sus sistemas de distribución, y (ii) la conectividad internacional de su economía (Vasquez Villalpando, 2021).

A pesar de este nexo entre infraestructura, la prosperidad económica, el bienestar social y la seguridad nacional, existe un creciente desajuste entre la necesidad de una infraestructura más resiliente y la financiación disponible a nivel mundial (Bartlomiej & Marcin, 2018). El McKinsey Global Institute —en adelante MGI— pronosticó que el mundo necesitaría invertir \$ 3.7 billones por año en infraestructura hasta 2035 para acelerar el crecimiento económico y realizar un

---

<sup>18</sup> Financiera de Desarrollo Nacional.

desarrollo sostenible (Tian, y otros, 2020), por su parte, el Banco Mundial estima que las economías en desarrollo necesitan triplicar el gasto anual actual en este propósito durante la próxima década (Mapila, Lauridsen, & Chastenay, 2017).

Para el caso de Colombia, aunque en el periodo 2014-2016 la inversión en infraestructura estuvo por el orden de 3.1% del PIB<sup>19</sup>, en el periodo 2017-2018 la inversión bajó a 1.3% del PIB, consecuencia de los escándalos de corrupción originados por Odebrecht. Los factores institucionales como las regulaciones deficientes, la corrupción, el crimen, la baja calidad y disponibilidad de infraestructura afectan negativamente a los incentivos de inversión (Cavallo & Powell, 2018). Actualmente, Colombia afronta los efectos de la crisis desatada por la pandemia, la disminución de la calificación de riesgo por parte de Fitch Ratings y Standard & Poor's y los efectos transversos de la guerra entre Rusia y Ucrania, que han forjado un crecimiento de la inflación a niveles históricos alrededor del mundo.

Las fuentes de recursos para que el país financie la inversión en infraestructura, son: el PGN<sup>20</sup>, el Sistema General de Participación para los gobiernos regionales<sup>21</sup>, las regalías debidas a la explotación minera y energética y el capital privado mediante las Asociaciones Publico-Privadas<sup>22</sup>, de acuerdo con el documento CONPES 4060 (2021), estas se tornan limitadas para los proyectos de concesión, debido a que el espacio fiscal para comprometer recursos es reducido y los mercados financieros locales no cuentan con la capacidad de financiar todos los proyectos (Departamento Nacional de Planeación, 2021).

Las vigencias futuras como fuente de pago se encuentran comprometidas para el programa 4G y no existen mecanismos de financiación sostenible que vayan a la par de la estructuración de nuevos proyectos, la banca comercial se encuentra copada y deben controlar su indicador de solvencia bajo las buenas prácticas internacionales, de hecho; su proyección es no superar una participación mayor al 30% en este tipo de propósitos (Consejo Privado de Competitividad, 2019).

Esto limita la financiación de nuevos proyectos de infraestructura debido a que el mercado de capitales colombiano es poco profundo, ilíquido, concentrado y relativamente costoso para la entrada de nuevos jugadores (Hacienda, 2019) generando una reducción en la velocidad de inversión en donde los bancos locales solo han alcanzado a financiar un 36% del total de inversiones (Departamento Nacional de Planeación, 2021).

Según el informe de Competitividad 2021-2022, entre 1990 y 2020, en Colombia la inversión privada en infraestructura fue de USD 49 mil millones; del cual, el 54 % se dedicó a la red vial (Banco Mundial, 2021). No obstante, a la hora de analizar esta cifra como porcentaje del PIB acumulado en este periodo, alcanza solo un 0,8% (Consejo Privado de Competitividad, 2021).

Es claro que, los proyectos 4G necesitan diversificar sus fuentes de financiamiento y más aún, los proyectos 5G necesitan encontrar una financiación sostenible, por la cual se deben obtener

---

<sup>19</sup> Esto se debió al impacto del programa de carreteras de cuarta generación (4G) que consideró 28 APPs por valor de un capex de \$47 billones a precios de 2012 (Becerra, Cordoba, & Solano, 2020)

<sup>20</sup> Presupuesto General de la Nación

<sup>21</sup> teniendo límites de ley

<sup>22</sup> Las APP se han convertido en la mejor manera de vincular capital privado a los proyectos de infraestructura. Las Asociaciones Publico-Privada se definen como la contratación por parte del gobierno de una empresa privada para la administración integral (Diseño, construcción, operación y mantenimiento) de un activo de infraestructura durante un tiempo definido, que para el caso de Colombia es de máximo de 30 años. La empresa privada; en contra prestación recibe un flujo de ingresos durante el tiempo del contrato que pueden provenir del gobierno, o del usuario, al finalizar el contrato el activo devuelve a manos de nación.

mayores recursos del mercado de capitales, buscando mecanismos alternativos de las fuentes clásicas de pago, y nuevos esquemas que vinculen el potencial capital existente en los pequeños inversionistas. Además, se debe integrar a estos procesos a los entes departamentales y municipales permitiendo desarrollar proyectos que logren interconectar las regiones primarias de producción con los grandes centros, por ejemplo, el sistema de redes secundaria y terciarias.

En la actualidad están surgiendo opciones de financiación alternativa para las APPs en infraestructura, por ejemplo, se ha propuesto la enajenación de activos del Estado<sup>23</sup> como una oportunidad para obtener opciones de financiación con miras a apalancar proyectos de infraestructura (ANIF, 2019), según el CONPES 4060, se propone esquemas como las obras por impuesto, (Departamento Nacional de Planeación, 2021), o también los fondos de deuda o la deuda colateralizada (*collateralized infrastructure debt obligation*), que es un instrumento de reciclaje de capital bancario con el que se titulariza la cartera crediticia de los bancos locales en el sector de la infraestructura (Consejo Privado de Competitividad, 2020).

Desde 2017, tres países de la región han comenzado a emitir bonos de impacto en el desarrollo de proyectos de infraestructura: Colombia, México y Perú; el éxito de estos primeros ejemplos y el respaldo que han recibido de organizaciones multilaterales y otras organizaciones podrían alentar la implementación en otros países de la región, lo que abriría formas alternativas de financiación que podrían aplicarse a las inversiones en infraestructura y APP (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

Colombia, por ejemplo, emitió en 2018 un bono de impacto social por USD 133.3 millones vencidos a tres y cinco años, donde en su estructuración participo el BID<sup>24</sup> (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019), y desde 2016 ha venido emitiendo bonos verdes por más de USD 500 millones (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

En las concesiones Pacífico 3 y Costera, los esquemas de emisión de bonos representaron el 60% y el 66% del financiamiento total respectivamente (Consejo Privado de Competitividad, 2020). En el primer caso, Pacífico 3 fue el primer proyecto en financiarse mediante una emisión de bonos en el mercado internacional y sus esquemas han sido novedoso y replicables para el sector, aumentando las opciones de financiación, especialmente en proyectos con enfoque en la sostenibilidad. En 2021, la firma española Sacyr emitió su segundo bono social y el mayor en Latinoamérica ligado a una concesión de infraestructura por un valor de USD 262 millones para financiar la autopista Rumichaca-Pasto (Fernández Magariño, 2022).

De acuerdo con el informe de Competitividad del periodo 2019-2020, los fondos de deuda pueden ser una opción de financiamiento, teniendo en cuenta que, poseen un capital de casi 4 billones de pesos colombianos, manejados hoy en día por CAF—Ashmore, Credicorp— Sura y Blackrock. Finalmente, se cita los REIT-FICI o fondos de inversión colectiva inmobiliaria que adquieren y/o gestionan activos inmobiliarios de distintos tipos y que podrían convertirse en una opción de financiamiento importante (ANIF, 2019; citado en Consejo Privado de Competitividad, 2019).

Para utilizar estas alternativas, es necesario tener claro el escenario tributario en términos de exención de la retención de la fuente, para que los activos puedan negociarse en la rueda de renta variable de la Bolsa de Valores de Colombia (ANIF, 2019). De igual forma, la Misión del Mercado

---

<sup>23</sup> Se estima que la Nación cuenta con participación en 105 empresas por un valor cercano a COP 79 billones (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2019).

<sup>24</sup> Banco Interamericano de Desarrollo

de Capitales (2019) también recomienda algunas modificaciones regulatorias para generar incentivos y atraer mayores recursos hacia el sector de la infraestructura. Por ejemplo, propone que el Gobierno diseñe garantías para activos alternos, como los de este sector, que se pueden movilizar en el mercado de capitales (Consejo Privado de Competitividad, 2020).

Para apreciar la magnitud de lo que representan los contratos de concesión en las economías de la región de Latinoamérica, se puede citar que, en una muestra de 1.000 proyectos de infraestructura mediante APPs entre 2006 y 2015, mayormente en los sectores de energía y transporte, sumaron inversiones por 361.000 millones de dólares, siendo Brasil, México y Colombia quienes mayormente las absorbieron (BID, 2017). Sin embargo, según estudios propios de la CEPAL, la inversión total promedio en infraestructura de la región apenas superó el 2% del PBI regional, porcentaje que es sustancialmente menor al registrado en otras economías tales como China (8.5%), Japón (5%), India (4,7%) y Unión Europea y Estados Unidos (2,6%) durante el mismo periodo (Sánchez & Chauvet, 2019).

Si se parte de que Colombia tiene trazado el objetivo de ser uno de los tres países más competitivos de América Latina en 2030 (Consejo Privado de Competitividad, 2019), entonces es imperante en su hoja de ruta, superar los grandes retos que enfrenta en materia de inversión de infraestructura, para impactar la cadena de suministro comercial propiciando a un mejor transporte y logística.

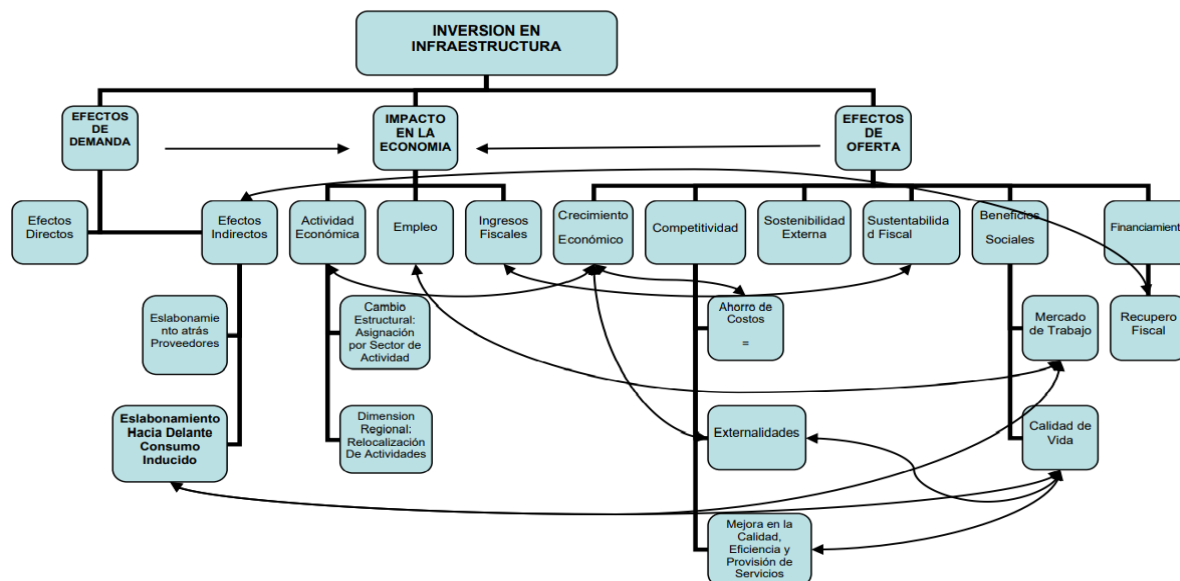
## **IMPACTO DE LA INFRAESTRUCTURA EN LA ECONOMÍA**

En la literatura económica se ha reconocido a la infraestructura de transporte como uno de los pilares del desarrollo de un país. Si se realiza una mayor inversión en esta área, ello se reflejará en un crecimiento económico, aumentando los activos disponibles para la producción, perturbando a la oferta y a la demanda, aumentando la generación de capital privado. Sánchez & Chauvet (2019), plantean que una economía con mejores carreteras, puertos y ferrocarriles puede verse beneficiada en los siguientes aspectos: i) reducción de los costos de transporte, ii) aumento de la competitividad de las empresas locales, iii) aumento de la provisión de energía y comunicaciones, iv) ampliación de las posibilidades de producción y el acceso generalizado a servicios de agua y saneamiento y v) reducción de la desigualdad y lucha contra la pobreza.

La relación de la inversión en infraestructura con los diferentes agentes económicos se puede observar en la figura 9.

**Figura 9**

*Impacto de la inversión en infraestructura en la sociedad y la economía*



*Nota:* Tomada de Políticas anticíclicas y propuesta para el cálculo de la recuperación fiscal de la inversión en infraestructura (p.25) por Coremberg, Larde, Sanchez, & Sanguinetti, 2021.

De acuerdo con el gráfico, la inversión en infraestructura acarrea efectos en el corto y largo plazo. A corto plazo se podría citar, por ejemplo, la generación de empleo directo e indirecto que se refleja en un mayor ingreso per cápita e igualmente mayor gasto, generando también beneficios inducidos con industrias que actúan indirectamente en la generación de este tipo de infraestructura, que, de acuerdo con la teoría económica, podría ser un componente contra cíclico (Ramírez Giraldo, y otros, 2021) en periodos de crisis como el forjado por el Covid -19.

Por su parte, en el largo plazo logra afectar hacia la baja los diferentes productos, aumentar la competitividad regional y del país, propiciando temas como la especialización del trabajo, aparte de mejorar la cobertura de servicios tan elementales como educación o salud, creando mayor bienestar y propiciando la equidad, disminuyendo así los índices de desigualdad y pobreza.

Existen muchos estudios que relacionan la inversión de la infraestructura con el crecimiento económico y la disminución de la pobreza, por ejemplo, un estudio de 2019 realizado por la Universidad Federal de Vicosa de Brasil y la Universidad Nacional de Asunción, analiza el impacto de este tipo de inversiones en el periodo comprendido entre 1996 y 2016, llegando a la conclusión de que por cada punto porcentual que aumente la inversión en transporte, se reduce la pobreza extrema en 0,33% y la pobreza en 0,23% (Lopez Cuenca & Torres, 2020).

Otros estudios como el de Sánchez (2021), se centran en analizar la inversión óptima para cierto crecimiento deseado, así sus resultados econométricos plantean que con una inversión anual de al menos el 4.7% del PIB se obtendría un crecimiento del 3,2% y si esta inversión asciende al 6% del PIB anual, entonces el crecimiento obtenido sería del 3,9% (Coremberg, Larde, Sanchez, &

Sanguinetti, 2021). Por su parte Ramey (2020), examina los efectos a corto y largo plazo que tiene la inversión pública en infraestructura sobre la economía (citado en Ramírez Giraldo, y otros, 2021).

Conforme a un análisis de interrelación de variables macroeconómicas asociadas con la inversión en infraestructura realizado por Rojas y Ramírez (2018), se encuentra una relación lineal entre el crecimiento del PIB y la inversión en transporte con participación privada, además de, un impacto moderado inverso de la variable inflación sobre la variable de inversión en infraestructura; y un impacto moderado directo, con respecto al efecto del índice de la construcción sobre la inversión.

Por su lado, un estudio basado en el modelo de equilibrio general computable de Fedesarrollo y modelos econométricos resuelve que un aumento del 0,5% del PIB por año en promedio por los próximos 10 años, aumentaría la tasa de crecimiento económico en 0,8 puntos por año.

Uno de los estudios pioneros en Colombia dirigido a estudiar la relación entre el gasto en infraestructura y el impacto sobre el crecimiento económico fue el de Cárdenas, Escobar, & Gutiérrez (1995) que con base en el trabajo de Aschauer (1989), estiman una función de producción tipo CobbDouglas con los factores de capital privado – sin vivienda –, empleo, capital humano y capital público. Este estudio, encuentra que un incremento de 1% en la inversión en capital público, está asociado a un incremento entre 0,10% y 0,18% en el PIB. Al estimar el impacto de la infraestructura pública en la producción del sector privado, se observa que un crecimiento de 1% en los kilómetros de carreteras se asocia con un aumento de 0,54% en la producción industrial del país (Mejia & Delgado, 2020).

Hallagate (2019), estimó que el beneficio neto de invertir en una infraestructura más resiliente en los países de ingreso bajo y medio es de USD 4,2 billones, es decir, USD 4 de beneficio por cada USD 1 invertido; por su lado, Villar y Ramírez (2014) encuentran una relación negativa entre indicadores de pobreza rural y densidad de vías terciarias por municipio (citados en Ramírez Giraldo, y otros, 2021).

Como se puede ver, la incidencia de la inversión en infraestructura sobre la economía es directa<sup>25</sup>, lo que advierte que Colombia debe tomar estrategias para lograr cerrar la brecha existente en esta materia, si desea elevar su productividad y competitividad a nivel internacional e impactar su crecimiento económico.

La ampliación de la malla vial, se traduce en una expansión del comercio internacional, debido a la reducción de los costos asociados a la importación y exportación de mercancías, que impulsa especialmente el comercio de productos agropecuarios y manufacturas en las cadenas de producción globales. El sector transporte desempeña un rol fundamental dentro de la economía nacional, de acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en 2020 representó cerca del 1,75% del PIB nacional a precios constantes (Ministerio de Transporte, 2021). Existe evidencia de que el desarrollo de infraestructura de transporte ayuda a atraer una mayor cantidad de inversión extranjera directa en países en vía de desarrollo (Asiedu, 2001, citado en Mejia & Delgado, 2020).

---

<sup>25</sup> A parte de lo aquí mencionado, ver por ejemplo el trabajo de Calderón y Servén (2004) que hace un repaso de los trabajos empíricos sobre la relación entre inversión en infraestructura y crecimiento económico y también entre infraestructura e inequidad, o el trabajo de Sánchez, Lardé, Chauvet, Jaimurzina (2017) en el que resumen los resultados empíricos principales entre inversión en infraestructura y crecimiento económico. (Sánchez & Chauvet, 2019), resulta interesante.

Por su parte, el McKinsey Global Institute (MGI) pronosticó que el mundo necesitaría invertir USDT 3.7 billones por año en infraestructura hasta 2035, para acelerar el crecimiento económico y realizar un desarrollo sostenible (Woetzel et al. 2017); este esfuerzo, permite al sector público y privado lograr estándares aceptables de competitividad al nivel financiero en una economía globalizada que requiere satisfacer la demanda creciente de infraestructura necesaria para el crecimiento del sector transporte, de carga y pasajeros.

Según estudios, el poco dinamismo de la inversión gubernamental en países en desarrollo se enmarca en el denominado sesgo contra el gasto de capital, lo que impide una inversión continua dentro del gasto primario y no permite tener una visual de inversión de largo plazo (Becerra, Cordoba, & Solano, 2020), lo anterior hace que, el gasto corriente aumente en épocas de prosperidad y que no disminuya en tiempos críticos. Contrario pasa con el gasto de capital que baja durante el paso de crisis, pero no sube durante épocas de bonanza (Ardanaz e Izquierdo, 2017), una razón para que suceda esto, tiene que ver con el acceso limitado del mercado de capitales internacionales<sup>26</sup>, acentuándose en tiempos de crisis y que sugiere un comportamiento procíclico sobre la inversión pública (citados en Ramírez Giraldo, y otros, 2021).

## EL BLOCKCHAIN Y LA TOKENIZACIÓN

**La Tecnología de contabilidad distribuida (DLT) y el Blockchain.** La tecnología de contabilidad distribuida—en adelante DLT— como lo es el Blockchain, tiene un fuerte potencial en los mercados financieros aun cuando todavía es una tecnología incipiente. Las finanzas digitales ofrecen herramientas potencialmente importantes para dirigir los recursos de manera rápida y eficiente a las partes interesadas que más lo necesitan. La naturaleza basada en datos de las finanzas digitales proporciona a los responsables de la formulación de políticas, la capacidad de estructurar y escalar el estímulo con precisión (Arner, Barberis, & Walker, 2020).

La DLT<sup>27</sup> por sus siglas en inglés, es una base de datos transaccional almacenada en nodos, interconectados entre sí y que reemplaza la confianza con la prueba; es decir, es un facilitador para mejorar los problemas de confianza, fundamental para el éxito de los proyectos. La confianza se transfiere de personas o intermediarios al código computacional (Li, Greenwood, & Kassem, 2018). El Blockchain es un sistema más amplio que implica el cotejo y almacenamiento de más información (incluso no digitalizada) en una base de datos descentralizada (Baum, 2020).

El funcionamiento aparentemente es sencillo, luego de crear una transacción, los detalles de estas se verifican y de ser considerada validada, entonces el bloque se anexa al Blockchain y este es actualizado; lo que hace especial a este proceso, es que la cadena queda con muchas copias idénticas al ser usados varios dispositivos; sin embargo, se garantiza la no presencia de conflictos. Una vez realizada la encadenación, no puede ser modificado y el historial se guarda con todas sus modificaciones junto con los metadatos<sup>28</sup>, quedando protegido con el equivalente a una firma

---

<sup>26</sup> Estas deficiencias se hicieron más evidentes a medida que entraron en vigor regulaciones financieras y requisitos de capital más estrictos después de la crisis financiera de 2008. Esto dio lugar a una disminución de los flujos de capital disponibles y a un mayor costo de financiación, especialmente para los activos ilíquidos a largo plazo, como la infraestructura. (Uzsoki, 2019).

<sup>27</sup> Distributed ledger technologies

<sup>28</sup> Marcas de tiempo e información del autor.

digital criptográficamente fuerte, sin que exista una centralización o una autoridad central de confianza (Turk & Klinc, 2017).

El Blockchain es la primera tecnología de contabilidad distribuida peer-to-peer—p2p— que registra transacciones, acuerdos, contratos y ventas; fue introducida en 2008 como soporte al Bitcoin<sup>29</sup>. Al ser una base de datos con múltiples copias, la información se convierte en inmutable, almacenando de manera completa el récord del histórico (Tian, y otros, 2020), cuyo uso aparte de la verificación de criptomonedas, está en los procesos industriales, tales como: gestión de la información, big data, publicidad y seguros entre otros, de ahí el potencial económico, político, social y legal que alberga (Li, Greenwood, & Kassem, 2018).

De acuerdo a Turk & Klinc (2017), el uso del Blockchain en la construcción ha sido limitado (Turk & Klinc, 2017) y se ha adoptado para mejorar procesos de productividad y eficiencia, teniendo un gran potencial en la industria de la infraestructura (Woo, y otros, 2020), en la cual se están desarrollando una gran cantidad de prototipos de trabajo e iniciativas de colaboración dirigidas a las industrias del transporte, la energía y la agricultura (Tian, y otros, 2020).

El Blockchain puede ser: i) Público, el cual no posee ninguna limitación y toda persona puede tener acceso. ii) Privado, cuyo acceso se limita para miembros certificados y iii) De consorcio (autorizado), en que el Blockchain combina atributos públicos y privados, pero con permiso necesario (Woo, y otros, 2020). La mayoría de las aplicaciones de Blockchain diseñadas con contratos inteligentes no tienen permiso, lo que permite a cualquiera, participar en el sistema y tiene sentido para inversiones en empresas que poseen y operan activos como las REIT<sup>30</sup> o empresas financiadas por oferta inicial de monedas (ICO)<sup>31</sup>.

Para las inversiones relacionadas con la infraestructura, el Blockchain puede ser autorizado, para permitir la validación de la información por parte de los titulares de los tokens y propietario de la cadena; cabe anotar que los sistemas con permiso son más rápidos y escalables, pero, tienen una mayor centralización en las transacciones (Tian, y otros, 2020). Al desarrollar sistemas basados en Blockchain, se debe tener en cuenta si se requiere o no acceso público o privado, al igual que la escalabilidad y los requisitos de frecuencia de datos, seguridad e integración son los sistemas tecnológicos de información del proyecto (Li, Greenwood, & Kassem, 2018).

El Blockchain, está tomando tal importancia que, un informe del Foro Económico Mundial reveló que el 10% del PIB mundial, o aproximadamente \$ 12 billones, se pasará a través de Blockchain para 2025 (World Economic Forum, 2018). El mayor avance reciente, es la probabilidad de que las Blockchains privadas, no sean necesarias, porque un sistema público de código abierto basado en Ethereum facilitará las transacciones privadas a través de contratos inteligentes, existiendo muchos nodos que aprueben los pagos, pero los detalles de las partes implicadas pueden ocultarse a todos, excepto a los que necesitan saberlo, esto se conoce como “contrato escudo” (Baum, 2020).

Dentro de la teoría económica el Blockchain es un nuevo tipo de economía, que trastoca las organizaciones, la institucionalidad y la gobernanza. Teniendo la propiedad de coordinar el

---

<sup>29</sup> Dado a que el Blockchain está muy relacionado con el Bitcoy, se introdujo el termino Blockchain 2.0 para hacer dicha distinción y el cual se define como una infraestructura de confianza distribuida programable (Turk & Klinc, 2017)

<sup>30</sup> Sociedades de inversión del sector inmobiliario

<sup>31</sup> Es un mecanismo por medio del cual se recauda capital a través de la emisión de criptoactivos

mercado (Hayek 1945, 1978), propiedades de gobierno de un bien común (Ostrom 1990), y propiedades constitucionales de un Estado nación (Brennan y Buchanan 1985).

El Blockchain puede ser abordado como un sistema descentralizado de Smith, y estudiado desde la economía de costos de transacción de Coase, la teoría de los contratos incompletos de Hart o desde la innovación y la teoría Schumpeteriana, y visto como una tecnología de gobernanza a partir de la economía de las instituciones, la economía de la información y las nuevas tecnologías, o la economía del dinero de Hayec.

Esta tecnología envuelve los pilares mismos de la economía, puesto que, crea espontáneamente nuevas instituciones coordinando un nuevo mercado. Una cadena de bloques es en este sentido una nueva especie de sistema de reglas para la coordinación económica, por tanto, junto con las empresas, los mercados, los clubes, los bienes comunes y los gobiernos, ahora también tienen cadenas de bloques. El Blockchain compite con las organizaciones sin llegar a ser una y tiene propiedades similares a los mercados sin llegarlo a ser, acercándose más a ser una economía en sí. (Davidson, Filippi, & Potts, 2016)

**Tokenización.** Uno de los aplicativos de la tecnología Blockchain es la tokenización, cuyo potencial permite superar los rezagos en las finanzas públicas y privadas. Ésta, es la digitalización de un activo, es decir, es la representación digital de activos tangibles o intangibles (Uzsoki, 2019), dividiéndolos en cierto número de partes, cada una de las cuales se llaman “token”.

Teóricamente, un token digital representa la propiedad fraccionaria de cualquier activo de infraestructura o activos financieros asociados en la forma tradicional (acciones, bonos, préstamos y derivados) transferidos al Blockchain (OCDE, 2020). El fraccionamiento del activo permite la entrada al mercado de pequeños inversionistas, ya que, la infraestructura, dadas sus características, actualmente está direccionada a modelos de financiación que limitan las inversiones a un conjunto limitado de capitales institucionales, dejando así al margen una cantidad significativa de recursos (Tian, y otros, 2020).

Con el proceso de tokenización, se logra convertir un activo, en un valor económico respaldado por los derechos de un proyecto de infraestructura que lo subyace por fuera del universo del Blockchain (OCDE, 2020). Cada token representa una parte de propiedad sobre el activo la cual puede ser negociada en mercados secundarios o peer-to-peer sin plantear mayores problemas técnicos, pero si siendo necesario revisar los requisitos regulatorios. El Blockchain, permite el almacenamiento y la transferencia de estos tokens criptográficos de una manera sin fricción (Uzsoki, 2019) y admitiendo guardar la información del activo, el valor y los derechos asociados (Bankex, 2018).

Los tokens suelen clasificarse en: i) Tokens de utilidad (Utility Token), los cuales permiten acceso y uso de los productos o servicios del emisor, haciéndolo a través de ICOs<sup>32</sup>, sin existir gobernanza alguna y con beneficios tangibles; ii) Token de seguridad (Security Token), se generan mediante oferta de tokens de seguridad (STO) y están vinculados a los valores financieros convencionales, cumpliendo con las normas de valores y estando respaldos por activos financieros; iii) Equity (Equity Token), el Equity token es un tipo de token de seguridad que respalda a un activo

---

<sup>32</sup> ICO es un acrónimo que significa Initial Coin Offering, es decir, oferta inicial de moneda.

tradicional ya sea una acción o un inmueble. Esto quiere decir que, aquel que lo posea tiene un derecho de propiedad, de ganancias y de voto sobre este activo (Tian, y otros, 2020).

La tokenización de activos reales aún se encuentra en sus primeras etapas, sin embargo, ya hay varias iniciativas que están ganando una tracción considerable. Algunos de los actores institucionales de la industria han reconocido desde el principio la importancia de la tokenización de la infraestructura y prevén una rápida adopción entre los gestores de activos (Uzsoki, 2019).

Deloitte (citado en Laurent, 2018), informó que el proceso de la tokenización, podría hacer que la industria financiera sea más accesible, más barata, más rápida, más fácil, con mayor liquidez y con un aumento enorme de los volúmenes de operación; además de, mejorar la transparencia, el acceso a fuentes alternativas de capital, la descentralización, la escalabilidad, y también, lograr una participación inclusiva de los inversores minoristas en activos de acceso restringido en formas tradicionales, promoviendo transacciones de activos no corrientes y facilitando los micro pagos (Uzsoki, 2019; OCDE, 2019; Woo, y otros, 2020).

Debido a que la tokenización tiene sentido para activos intensivos en capital, entonces, la infraestructura toma relevancia por ser especialmente adecuado para ello (Uzsoki, 2019). Los valores tokenizados, podrían verse como una forma de valores desmaterializados, habilitados para criptografía que se basan y registran en un libro mayor descentralizado impulsado por DLT, en lugar de anotaciones electrónicas en los registros de valores de los depositarios centrales de seguridad (OCDE, 2020).

Según propone Burniske (2017), la tokenización de activos puede ser testigo de una tasa de crecimiento sin precedentes durante la próxima década (Burniske & White, 2017) y muestra de ello es el crecimiento que ha tenido, alcanzando el 0,8% del PIB mundial en solo dos años (Tian, y otros, 2020).

Por lo anterior, ahora se habla de la “Tokenomics” o economía del token, que pretende crear un ecosistema económico, sostenido precisamente por los tokens y las distintas interrelaciones que puede haber con activos reales; tales como, un inmueble, una canción, un vehículo o un activo financiero entre muchas más posibilidades, pero dentro de la tecnología del Blockchain. Entonces, si bien pueden existir los tokens, sin Blockchain no existe una economía del token, ya que, el Blockchain es el medio para alcanzar la descentralización necesaria que exige este paradigma económico (Bit2Me, 2018).

**Contrato inteligente (Smart Contract).** Los tokens digitales respaldados por activos de infraestructura subyacentes, se rigen y ejecutan a través de un Smart Contract<sup>33</sup> (Lauslahti, Mattila, & Seppala, 2017), que realizan una serie de tareas en base al desencadenamiento de instrucciones predefinidas por su programador, a diferencia de los contratos tradicionales cuyo cumplimiento está sujeto a la interpretación de abogados o jueces.

Los Smart Contracts, al ser autoejecutables, se aseguran del cumplimiento de sus cláusulas (Nespral & Hergueta, 2021), utilizando códigos que contienen reglas administrativas o estatutos (Woo, y otros, 2020). Lo anterior supone prescindir de un tercer actor que brinde confianza y que

---

<sup>33</sup> Aun cuando no se tiene una definición perfectamente establecida, se podrían precisar como un programa digital, basado en Blockchain, con ejecución automática cuando se cumpla los términos que en él se establecen, además; son autoajustables e inviolables.

sea intermediador, es decir, no se necesita ninguna agencia para llevar a cabo las reglas prescritas, aumentando la eficiencia y la reducción de costos transaccionales.

Los Smart Contracts, son los instrumentos mediante los cuales se rigen y se ejecutan los tokens en Blockchain (Bankex, 2018), estos contratos, por tanto, son rastreables, accesibles, visibles y verificables<sup>34</sup>, brindando transparencia, aumentando a la vez, la confianza de las partes involucradas (Tian, y otros, 2020), por lo cual, se ha usado para la emisión de acciones e incluso propuesto como una solución para la compensación y liquidación de activos financieros (Turk & Klinc, 2017). A través de un contrato inteligente, los tokens se pueden transferir a los inversores sin ninguna intervención de intermediarios, una vez que se cumplen los términos del contrato (por ejemplo, métricas de rendimiento basadas en los grupos de valor) (Shirai 2019).

## **APORTE DEL BLOCKCHAIN A LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN DE INFRAESTRUCTURA**

Partiendo por un lado, de que la mayoría de los instrumentos de financiamiento disponibles en el mercado han sido criticados por su baja eficiencia, debido a las altas tarifas de transacción, y la desalineación con los atributos de rendimiento de los activos de infraestructura (Croce Y otros, 2015) y por otro, que los proyectos de infraestructura necesitan liquidez; el uso de Blockchain y los Smart Contract en la tokenización de activos, tienen el potencial de ofrecer una serie de beneficios, incluidas las ganancias de eficiencia impulsadas por la automatización y la desintermediación, la transparencia, la mejora del potencial de liquidez y la comerciabilidad de los activos ilíquidos, así como, la compensación y liquidación más rápidas y la eficiencia en los procesos (OCDE, 2020).

Al lograr fraccionar el activo<sup>35</sup> en partes más pequeñas, se quiebra las barreras de la inversión, promoviendo la democratización de los inversores minoristas en un mercado financiero que se encuentra actualmente estructurado para grandes capitales, mejorando el acceso de las PYMES a la financiación (OCDE, 2020).

Bajo lo anterior, y partiendo de que los proyectos de construcción se enmarcan en procesos colaborativos, donde se involucra varios actores a través de todas sus etapas (Turk & Klinc, 2017), y de que para su ejecución y operación se necesitan de altos capitales y tiempos largos para el retorno de la inversión, proporcionando iliquidez y complejidad en su desarrollo (Walter, 2016); se puede definir la infraestructura, como activos propicios para ser tokenizados, ya que, son proyectos invertibles<sup>36</sup>, que generan flujos de efectivo a largo plazo, y que, permanecen bien estructurados durante todo su ciclo de vida, desempeñando un papel importante en el apoyo a las economías, e incentivando la participación en inversión de nuevos capitales (Tian, y otros, 2020).

---

<sup>34</sup> Esto podría entenderse como la primera desventaja, por la pérdida de privacidad que se produce y en ocasiones la pérdida de la seguridad

<sup>35</sup> Para el caso se refiere a un proyecto de infraestructura

<sup>36</sup> Específicamente, la infraestructura invertible debe incorporar siete características básicas, a saber, el uso público, el poder monopolístico, el gobierno relacionado, esencial, generador de efectivo, conductivo a la privatización del control e intensivo en capital con horizontes operativos a largo plazo La idoneidad de un activo de infraestructura para la tokenización se mide por la medida en que se cumplen estos siete elementos (Anson, Chambers, & Hossein Kaze, 2012).

**Proceso de tokenización.** De acuerdo con Tian y otros (2020), el primer paso en la emisión de tokens mediante Blockchain para infraestructura, es identificar el tipo de activo subyacente, entenderlo y revisar su naturaleza jurídica de acuerdo con las leyes y regulaciones de seguridad existentes. Posteriormente, se debe fijar el precio conforme se audita el activo subyacente.

Las expectativas de riesgo y rentabilidad de la inversión deben entenderse claramente, al igual que, el potencial e incertidumbre de flujo de caja que se desprende del proyecto para el pago de la deuda.

Posteriormente, se determina y confirma el proveedor de servicios para la emisión de tokens de seguridad, de custodia y de evaluación del cliente (KYC<sup>37</sup> / AML<sup>38</sup>). Subsiguientemente, se procede a crear el Smart Contract bajo los requisitos y regulaciones del caso, mientras que la SPV<sup>39</sup>, establece los precios de los tokens para ser comercializados, luego de lo cual, los Security tokens se transfieren a las Wallet<sup>40</sup> de las inversiones.

Importante tener en cuenta que los inversores acreditados, pueden transferir sus tokens a otros inversores acreditados o intercambiar estos tokens, en mercados secundarios; y los futuros dividendos y pagos de intereses generados a partir de activos tokenizados, se envían a las billeteras de los propietarios de tokens en forma de criptomonedas o moneda fiduciaria equivalente (Tian, y otros, 2020).

La tokenización es adecuada para la financiación de proyectos tipo APPs, con acuerdos de concesión entre el propietario del activo público y el operador del sector privado (SPV) (Croce & Gatti, 2014). Cabe decir que, en el proceso de tokenización, existen unos participantes claves entre los cuales están: emisor, inversor, proveedor de servicios de emisión, compañía de custodia, regulador<sup>41</sup>, firma legal<sup>42</sup>, plataforma de negociación entre otros (Tian, y otros, 2020).

### **Ventajas del uso del Blockchain para la tokenización de activos de infraestructura.**

Cuando se habla de Blockchain, hay que tener en cuenta que esta tecnología tiene en sí, ciertas características inherentes, de las cuales se benefician los procesos que la utilizan como estructura base, tal como, la tokenización, estas son: Descentralización, inmutabilidad, consenso, interoperabilidad e identidad digital. La tokenización a través del Blockchain, puede crear un sistema transparente y democratizado al reducir significativamente la fricción durante la creación, distribución y transacción de tokens. Las principales propiedades de la tokenización incluyen:

**Liquidez:** La infraestructura es una clase de activo poco líquido, es decir, su capacidad de transformarse en dinero no es rápida e involucran a un gran número de intermediarios con sin número de procesos (Uzsoki, 2019), muchos de ellos burocráticos. Con la tokenización, se logra eliminar o mejorar muchos de esos procesos, iniciando por el hecho de que, al poder dividir un activo o la inversión inicial de él en unidades pequeñas, se permite la entrada de nuevos jugadores, pequeños inversores a nivel mundial con gran potencial (Tian, y otros, 2020). La Tokenización

---

<sup>37</sup>Know your customer

<sup>38</sup> Anti-Money Laundering

<sup>39</sup> Vehículo de propósito especial

<sup>40</sup> Se refiere a las instalaciones de almacenamiento digital en las que se depositan tokens Blockchain

<sup>41</sup> Agencias gubernamentales que son responsables de la regulación financiera de los valores

<sup>42</sup> Diseña estructuras de negocios legítimos para garantizar el cumplimiento de las regulaciones.

crea mercados secundarios aumentando de mayor medida la liquidez y bajando las primas por este concepto, logrando bajar los costos transaccionales (Uzsoki, 2019).

Debido a los elevados tamaños de las inversiones mínimas, a los altos costos relativos de las transacciones y a los estrictos requisitos de idoneidad de los clientes, debido a la naturaleza ilíquida de los activos, los proyectos de infraestructura requieren grandes músculos financieros, cerrando la accesibilidad a capitales desaprovechados como el de pequeños inversores. La tokenización accede romper esta barrera democratizando las finanzas y en la distribución de la riqueza y ahorrando costos de transacción al trabajar bajo Smart Contracts (Uzsoki, 2019), que repercutirán en la atracción de inversión.

**Eficiencia de las transacciones:** Al introducir los Smart Contracts, se ejecutan procesos automáticamente en el Blockchain tales como: las transacciones, el pago de dividendos y distribución de intereses, el almacenamiento y la administración de la información. El Blockchain, limita la intermediación al mínimo necesario, reduciendo los costos de transacción asociados, que, además se completan en poco tiempo, por ejemplo, en Ethereum se confirman en un tiempo medio de espera de 36 - 25 segundos (Tian, y otros, 2020).

De acuerdo a Uzsoki (2019), los costos de salir a la bolsa están entre un 15% y 22% del valor de la transacción, con la tokenización, los expertos estiman que, debido a la desintermediación, este valor este por debajo del 5%. Plataformas p2p<sup>43</sup> como Binance, cobran comisiones de 0,10% por transacción, un valor bajo en comparación con los costos resultantes de la banca comercial, sector que maneja un sinnúmero de intermediarios volviendo ineficiente el crédito y bloqueando a los pequeños inversionistas.

Los Smart Contracts, pueden automatizar la gestión de fondos de infraestructura mucho más allá de las soluciones existentes disponibles, pueden ofrecer ganancias de eficiencia en las operaciones, tanto del proyecto como en la entidad que administra el activo, pueden facilitar la presentación de informes de los clientes, la recopilación y el intercambio de datos de los dispositivos de Internet de las cosas, al tiempo que mejora la transparencia, y automatiza las transacciones financieras incluidos los nuevos fondos entrantes de los inversores, las llamadas de capital de los inversores, los reembolsos y los tiempos (Uzsoki, 2019).

El potencial de un Smart Contract es inmenso, y sus bondades se transferirán finalmente a generar un mejor mercado de capitales de inversión que podría operar 24 horas los siete días de la semana, brindando mayor dinamismo de liquidez en todo momento.

**Transparencia:** La transparencia se presenta como una bondad intrínseca del blockchain, ya que, al ser una red inmutable, no permite la manipulación indebida de datos y admite realizar un monitoreo del desempeño de todos sus componentes (Social, ambiental, financiero, operacional), mejorando la planificación de los proyectos y sus modelaciones. Lo anterior, repercutirá en una mejor toma de decisiones, en la que los propietarios de los tokens pueden participar en este proceso, ejerciendo su derecho a voto (Tian, y otros, 2020), otorgando menores costos y una mejor bancabilidad del proyecto, al conseguir una mejor valoración del activo al optimizar la debida diligencia (Uzsoki, 2019).

Dentro del monitoreo que se logra hacer mediante el sistema administrativo construido en el Blockchain mediante la tokenización, está el de rastrear los datos de rendimiento, así como los usos y pagos del proyecto de infraestructura de manera integrada con los componentes financieros

---

<sup>43</sup> Per to Per

y operativos, incluidos los procesos de contabilidad, impuestos y auditorías, todo en tiempo real haciendo uso de IA<sup>44</sup> en cuanto a instrumentación de medidas (Tian, y otros, 2020).

**Descentralización:** La descentralización es una de las principales propuestas de valor de la mayoría de las soluciones basadas en Blockchain. La ventaja de los sistemas descentralizados es que no hay ningún punto central de fallo. En un contexto financiero, esto significa que hay menos riesgo de contrapartida, ya que, los sistemas pueden funcionar sin necesidad de confiar en un tercero.

A través de la tokenización de la infraestructura, se sigue teniendo el riesgo de contrapartida, pues, en el caso de la deuda, por ejemplo, el prestatario puede seguir incumpliendo sus obligaciones, sin embargo; la tokenización elimina el riesgo de contrapartida asociado a los intermediarios financieros, en los que las partes que realizan las transacciones; que normalmente se necesitan para confiar en el caso de las transacciones financieras tradicionales (Uzsoki, 2019).

Los proyectos de tokenización como lo mencionan Turk & Klink (2017) puede tener diferentes escenarios de encadenamiento y descentralización, pueden ser, proyectos encadenados y muy descentralizados, o proyectos encadenados y ligeramente descentralizados, o también proyectos totalmente desencadenados.

**Bancabilidad de proyectos:** La infraestructura en las economías emergentes ha sido tradicionalmente financiada, entregada y administrada por el sector público a través de subvenciones directas, subsidios y préstamos a bajo interés (concesionarios). Este sector público, representa el 70% de la inversión total en infraestructura (Kim, 2016). Por su lado, la contribución del sector privado asciende aproximadamente al 20% (Inderst y Stewart 2014) y en el 10% restantes entra a actuar la Banca Multilateral (Delmon y Delmon 20013).

Siendo la financiación mediante banca la que ocupa mayor porción del mercado, no deja de ser ineficiente debido a los altos costos de transacción y tiempos de ejecución, esto es lo que hace que las fuentes privadas de financiamiento a menudo no sean económicas por debajo de un cierto tamaño de proyecto, condenando a los pequeños proyectos a depender su inversión de los recursos públicos.

Una financiación más barata permite vincular proyectos de índole municipal o departamental, impulsando la cadena de suministros, mejorando el impacto económico y social. Uzsok (2019), postula que, los proyectos a pequeña escala a menudo generan mayor impacto por dólar invertido, de esta forma, la tokenización ayuda a bancarizar los pequeños proyectos construyendo carteras para exposiciones de inversión específicas (Uzsoki, 2019).

Ya está claro que, el Blockchain permite tokenizar un activo que actuará como fuente para crear datos, y que este proceso permite, por ejemplo, la división del proyecto o parte de este a financiar en n-partes, representando cada una de estas, un valor económico y un derecho adquirido sobre el activo. Este hecho, abre infinitas posibilidades para conseguir inversionistas a toda escala de capital, de toda naturaleza y tamaño, quienes pueden ser acreedores de un token como parte del activo y sobre este apostar derechos de retorno y de comercialización en un mercado secundario, respaldando, modelos alternativos de financiamiento que brindan bancabilidad a proyectos concebidos desde la descentralización institucional del gobierno tales como entes territoriales, alcaldías y gobernaciones.

---

<sup>44</sup> Inteligencia artificial

Existe un importante capital privado desaprovechado para la financiación de proyectos de infraestructura, que busca rendimientos a largo plazo, con un bajo riesgo y ajustados a las tasas de inflación. El reto es lograr engranar dichos capitales con la demanda que busca la infraestructura (Tian, y otros, 2020), y para esto, la tokenización a partir del Blockchain, consigue ser una herramienta eficaz, alcanzando incluso aligerar las fluctuaciones monetarias a nivel internacional y hacer un mejor seguimiento de los KPI del proyecto.

El descuento por iliquidez aplicado a los activos en los que los contratos, tienen una cláusula de prohibición de venta, se estima entre el 20% y el 30% del valor neto de los activos de infraestructura. En algunos casos, el descuento por iliquidez puede ser tan alto como el 60%, lo que refleja la perspectiva de los participantes del mercado. En las economías emergentes, la prima de iliquidez tiende a ser más alta debido a los mayores riesgos sistémicos, la mayor inflación y la menor frecuencia de las operaciones en general (Amihud et al. 2015, citados en Tian, y otros, 2020).

La tokenización de activos (valores, materias primas o activos no financieros) todavía se considera uno de los casos de uso más destacados del Blockchain en los mercados financieros con un potencial importante para cosechar eficiencias, particularmente en mercados carentes de confianza.

La tokenización tiene posibles implicaciones transversales para las prácticas y los participantes del mercado financiero, la infraestructura y los reguladores en una amplia gama de instrumentos financieros y clases de activos. Una posible proliferación en el uso de la tokenización podría tener efectos no deseados en el comercio, la liquidez, los precios, compensación y liquidación, y custodia. La ambigüedad jurídica podría crear incertidumbres y riesgos para los participantes y los mercados, razón por la cual se necesita respuestas políticas adecuadas, incluso en cuestiones de protección de los consumidores financieros (OCDE, 2019).

## CASOS DE APLICACIÓN

Aunque el Blockchain se considera una tecnología emergente, se están desarrollando una gran cantidad de prototipos de trabajo e iniciativas de colaboración dirigidas a las industrias del transporte, la energía y la agricultura. El uso de la tokenización de activos ha venido cobrando fuerza, existiendo casos de referencia que permiten analizar los beneficios presentes en esta tecnología, aparte de dar un marco conceptual sobre las acciones que se deben emprender desde los gobiernos centrales para poner en marcha estos nuevos modelos, a continuación, se describe algunos casos de aplicación.

**Token ZiyenCoin – Sector Energético.** ZiyenCoin es el primer token de Blockchain de petróleo y energía emitido por Ziyen Inc., una compañía de blockchain-pioneering que planea ofrecer un máximo de 500 millones de tokens de seguridad basados en acciones respaldados por activos energéticos en su cartera (Practical Law, 2019). Con esto la empresa encontró una solución a la falta de liquidez de los proyectos.

Ziyen una compañía vinculada al sector de oil, gas, y energía sirvió de emisor de activos energéticos con el fin de capitalizarse, para lograr el desarrollo de nuevas tecnologías de eficiencia en producción, emitiendo el Security Token (STO) llamado “ZiyenCoin” el 24 de julio de 2019,

comercializado a nivel internacional y amparado en la Regla 501 de la SEC<sup>45</sup> de la Regulación D<sup>46</sup>. Su custodia la llevó North Capital, encargado de las verificaciones en el cumplimiento de las regulaciones de acuerdo con si es una inversión nacional o internacional<sup>47</sup>, en este último caso sin ser necesario estar acreditado como inversor.

El proceso resumido, consiste en la presentación de un acuerdo de suscripción a Ziyen por parte del inversor, quienes serán investigados bajo KYC/AML verificando el cumplimiento de la regulación, para que le sean transferidos la cantidad de ZiyenCoins al Wallet de la compañía. Liquidado el fondo se transfieren los tokens bajo un agente de transferencia precalificado, finalmente el fondo se libera hacia las cuentas de la compañía (Practical Law, 2019).

En la tokenización, Ziyencoin se puede rastrear mediante la ejecución de un Smart Contract, otorgando transparencia; e igualmente mediante Smart Contracts, se hacen las transferencias y verificación del cumplimiento de las reglas programadas y la regulación. Lo anterior, redundando en el costo bajo de valoración, el cual es de \$0,01 con inversiones de 50.000 ZiyenCoin y que tiene más de 370 inversores en más de 10 países (Tian, y otros, 2020).

Un claro ejemplo de realizar una apertura del mercado para que los pequeños inversores puedan participar en activos de infraestructura. Aparte, en este caso, se observó una disminución muy apreciada en los costos de transacción debida a los ahorros obtenidos en la baja intermediación existente frente a la banca tradicional y los cortos tiempos de transacción (36 segundos), que comparado con el sistema SWIFT para transferencias bancarias internacionales, se convierte en un tiempo irrisorio, dado que, estas duran entre 3 y 5 días (Practical Law, 2019).

**La Iniciativa de la Franja y la Ruta (BRI).** China bajo su programa llamado BRI por sus iniciales en inglés (Belt and Road Initiative), ha puesto en marcha el proyecto de infraestructura más ambicioso de las últimas décadas. Con él, pretende conectar el 65% de la población global mediante infraestructura multimodal, cuyo costo se estima por el orden del 40% del PIB mundial, saliéndose del alcance de cualquier gobierno o institución.

El Blockchain y la tokenización están tomando protagonismo, usándose como sistema de financiación de un proyecto hidroeléctrico cuyo costo inicial estimado es de aproximadamente \$300 millones de dólares, planteando desarrollarlo en 5 años, con una tasa de retorno un poco superior al 4%, es decir, mucho inferior de tasa referida para proyectos de ingeniería en los países en desarrollo que podría establecerse alrededor del 10% (Chang, 2020). Este proyecto, prácticamente sería imposible llevarlo a cabo dependiendo de inversores financieros y bajo modelos convencionales.

El caso ofrece una oportunidad para vincular bajo oportunidades de inversión, a los miembros de la comunidad beneficiada por este desarrollo. Finalmente, el proyecto consiguió recaudar \$150 millones a cambio de tokens por valor de \$300 millones, que se pueden canjear por el consumo futuro de energía con un precio sin afectación a la inflación, como incentivo para propiciar la participación (Chang, 2020), ilustrado con esto el potencial que tiene el sector privado en el Blockchain para el desarrollo de proyectos.

---

<sup>45</sup> Comisión de Bolsa y Valores de Estados Unidos

<sup>46</sup> Requisitos para cumplir por una persona si desea convertirse en un inversionista acreditado

<sup>47</sup> Como tal, estos inversores enfrentan menos limitaciones que los inversores estadounidenses bajo las reglas de seguridad actuales de los Estados Unidos

**Belarus 252 / USD.** El bono tokenizado denominado como Belarus 252/USD, con un rendimiento del 4,2 % anual; es una versión tokenizada del bono estatal “Bielorrusia 252”, el cual tiene una denominación en una moneda extranjera (USD). Este es el primer bono gubernamental tokenizado emitido por la República de Bielorrusia y ofrecido en el [currency.com](https://currency.com)<sup>48</sup>. Está garantizado por la misma plataforma (Currency.com, 2021) quienes se encargan de mantener la demanda de reembolso de tokens comprados anteriormente, pero no son creadores de mercado así que el canje depende de momento que el mercado este viviendo.

Los rendimientos anuales ofrecidos son del 4.2% hasta el vencimiento y los usuarios del intercambio de tokens pueden invertir en estos, utilizando ya sea moneda fiduciaria o criptomonedas, como Bitcoin y Ethereum (Currency.com, 2021).

Los tokens fraccionados con un valor de menos de \$ 1,000 están disponibles para el comercio, aumentando la liquidez y aumentando el espectro sobre el grupo de inversores para participar en las ventas de bonos (Tian, y otros, 2020), y su precio está determinado por el precio del activo subyacente que como ya se mencionó, para el caso el bono del gobierno es el de 252 emisiones de la República de Bielorrusia, teniendo en cuenta los diferenciales establecidos por la criptoplataforma de Currency.com y la demanda y la oferta, precio de los participantes de la plataforma, pagando los ingresos por intereses de manera semestral (Currency.com, 2021).

Este token, ha logrado menores costos de emisión, distribución y transparencia, mejorando su eficiencia y demostrando la utilidad de la tokenización para el financiamiento de deuda pública, lo que podría abrir puertas al mejoramiento de la financiación gubernamental para la infraestructura (Tian, y otros, 2020).

**WePower (WPR).** Otro ejemplo que tiene que ver con producción de energía verde, es el generado por WePower, la cual, es una empresa tecnológica independiente que trabaja para reducir la complejidad existente en el avance hacia un mundo de emisiones netas cero.

WePower que tiene sede en Lituania, desarrolla una plataforma de comercio de energía verde a través de Blockchain (OECD Case Study Key Findings, 2020), posibilitando la recaudación de fondos a partir de la venta de producción futura de energía limpia en forma de tokens. WePower conecta a productores de energía con consumidores (Hogares), ofreciendo una plataforma de negociación p2p, recibiendo WePower tokens bajo la plataforma Ethereum, sin que exista intermediarios y evitando comisiones.

Se ha usado en Países Bajos, con proyectos de energía solar, además, permite una economía colaborativa, ya que, las personas que produzcan energía siendo autosuficientes, pueden vender sus excesos de producción a otras viviendas a costos más económicos que los productores tradicionales, generando competencia y estabilizando precios (Duarte, 2018).

---

48 Currency.com es una plataforma de criptomonedas en gran expansión, que ayuda a todo el mundo a entrar en contacto con los activos digitales

El token WPR el cual es un ERC-20<sup>49</sup>, dio apertura el 1 de febrero de 2018 a un precio de 0,13 dólares el token, al día siguiente; ya se habían vendido los 40 millones de dólares, el límite máximo establecido, por lo que finalizó en un día, recalcando que en la preventa se recaudaron 30 millones de dólares (Duarte, 2018).

**Tokenestate.** Tokenestate es una empresa suiza que permite emitir y administrar valores digitales mediante Blockchain, proporcionando servicios de asesoramiento y facilitando el recaudo conforme a la regulación del caso, adicional permite dar apertura al mercado secundario bajo el cumplimiento de KYC y AML.

Tokenestate, gestiona inversiones soportándose en la digitalización de procesos claves, para ello, creó la plataforma Tokenestate.io, en la cual se realizan los recaudos financieros de una base distribuida de inversionistas de manera compatible y económica, a su vez, permite a los inversores invertir de forma rápida y digitalmente segura en activos inmobiliarios, colocando las herramientas necesarias para gestionarlos (tokenestate.io, 2019). Tokenestate.io disminuye significativamente los costos de transacción para los emisores al distribuir muchos de los costos únicos asociados con las ofertas de tokens de seguridad en los diferentes proyectos inmobiliarios.

Tokenestate, también ha desarrollado su propio concepto de cómo la tokenización de bienes raíces podría funcionar de una manera legalmente compatible, para ello, se debe crear un vehículo de propósito especial llamado “Token Estate Investment Vehicle”, que emitirá tokens de bienes raíces y que sería el propietario legal de una cartera de proyectos inmobiliarios y responsable de la operación de los activos subyacentes. Su papel es similar al de los REIT tradicionales, tomando decisiones sobre la adquisición o desinversión de propiedades y asegurando el cumplimiento de la regulación aplicable (Uzsoki, 2019).

Tokenestate ejecutó la primera transacción de acciones digitales en octubre de 2018, convirtiéndose en una de las primeras compañías en ofrecer una solución legalmente compatible y fácil de usar para administrar las acciones de las empresas, allanando el camino para la digitalización de valores (Trouche, 2018).

El mercado propuesto por Tokenestate puede disminuir aún más los costos asociados con la tokenización y cumplir una función similar a las plataformas de crowdfunding existentes (Uzsoki, 2019). Aunque Tokenestate está enfocado al sector inmobiliario, podría llevarse fácilmente al sector de la infraestructura debido a las similitudes que tienen estos dos mercados, para lo que sería apropiado conocer un piloto que demuestre el comportamiento de la eficiencia de la tokenización.

## DESAFÍOS PARA LA TOKENIZACIÓN

**Regulación.** Actualmente sigue existiendo incertidumbre sobre la regulación en activos tokenizados mediante Blockchain, situación que puede torpedear el mayor aprovechamiento de esta tecnología en toda la cadena de valor (los emisores, custodios e inversores) del financiamiento de activos de infraestructura para el caso.

---

49 Un token ERC-20, es un smart contract que cuenta con una estructura de datos ya preestablecida. Esta estructura está pensada en facilitar la implementación de diversas funcionalidades sobre la blockchain de Ethereum, facilitando el trabajo de creación a los desarrolladores.

El cumplimiento con la regulación es importante para blindar a los inversores y producir estabilidad y una sana competencia. Existen vacíos entre las nuevas clases de activos y los modelos de negocio creados a través del Blockchain y el marco regulatorio existente. El avance en este tema ha sido poco en ALC en comparación con países tales como Suiza y Reino Unido, quienes cuentan con una serie de declaraciones sobre la regulación de los activos tokenizados y uso de Blockchain (Uzsoki, 2019). Países tales como Bolivia y Ecuador han prohibido la emisión y comercialización de activos tokenizados dentro de sus fronteras (DeWaal, 2019).

De acuerdo con Schwerin (2018), la falta de claridad regulatoria para los activos tokenizados podría generar oportunidades de arbitraje y crear un entorno de inversión no garantizado, con un impacto negativo en los inversores a largo plazo, retrasando así una adopción más amplia de los mercados tokenizados. Se deberá pensar en desarrollar una comunicación entre innovadores tecnológicos, gobierno y demás actores, para entender de manera profunda que es, como se desarrolla y las bondades que yacen en el Blockchain para estructurar una normativa ajustada a las condiciones reales de esta nueva dinámica.

Otro problema existente en cuanto a regulación es el reconocimiento legal de los Smart Contract. En un sinnúmero de países no existe una normatividad ni regulación al respecto, entre ellos, se encuentra Colombia, donde hay además una zona gris en cuanto a la regulación de las criptomonedas (Baquero Díaz, 2019). De acuerdo con un artículo de Valora Analítik<sup>50</sup> (2022) Colombia se prepara para viabilizar la regulación de la operación del sector financiero con criptoactivos, para lo cual ya se tiene un proyecto de normatividad. No se debe olvidar que los contratos inteligentes son vehículos para ayudar el desarrollo sostenible y seguro debido que en ellos se puede considerar las restricciones basadas en las regulaciones (Underwood, 2016).

De conformidad con Rendon & Andrade (2022), el decreto 1357 del 31 de julio de 2018 que trata sobre la actividad de financiación colaborativa, da sustento jurídico a la tokenización de activos mediante Blockchain. También declaran que otra forma de hacerlo, sería mediante la implementación de un SPV que al representarse mediante una sociedad por acciones simplificadas (SAS) se rige mediante la ley 1258 de 2008, otorgando seguridad para los inversionistas. La figura del SPV se utiliza también para la gestión de infraestructura mediante el modelo de las APPs, facilitando el proceso del uso de esta tecnología.

**Tecnología.** La OCDE (2020), cita que la escalabilidad de la tokenización de activos puede generar problemas de estabilidad de la red, o riesgos cibernéticos, interoperabilidad y problemas con la protección de datos y la privacidad. En la actualidad la mayoría se los STO<sup>51</sup> se basan en el Blockchain de Ethereum la cual ha tenido algunos fallos como el publicado el pasado 15 de febrero de 2022, haciendo la salvedad que el error se detectó el 2 de febrero (Bentancourt, 2022), estos hechos crean incertidumbre en los mercados afectando el apetito de inversión.

En el caso de ZiyenCoin, aun cuando programan contratos a la medida invirtiendo grandes recursos con el fin de generar altos grados de seguridad, no están exentos de ataques cibernéticos que pueden afectar a los activos de infraestructura, generando riesgos a los inversores. Por su lado, la

---

<sup>50</sup> Valora Analitik es un medio digital con foco económico, político, empresarial y financiero de Colombia y uno de los de mayor crecimiento en Latinoamérica, fundado en 2018 en Medellín (Antioquia).

<sup>51</sup> Token de seguridad

vinculación entre el token en el Blockchain y el activo de infraestructura necesita tener un actor central de confianza que lo garantice (OCDE, 2020).

Para lograr impulsar la tecnología del Blockchain, debe existir una fuerte inversión por parte de los gobiernos en las TIC<sup>52</sup>, ya que, el uso de esta tecnología necesita contar con una alta velocidad en la conexión a internet para ejecutarse de forma segura.

**Afectación de los mercados.** Ya se planteó que uno de los beneficios del Blockchain es la desintermediación, sin embargo, esto puede interrumpir el modelo de la creación de mercado, desprendiendo volatilidad en los agentes relacionados (OCDE, 2020). La OCDE (2019) también plantea que una expansión del mercado en el uso del Blockchain y la tokenización de activos, afectaría a los mercados de varias maneras, por ejemplo, liquidez, fijación de precios, términos de negociación, compensación y liquidación, lo que puede intensificarse, debido a la incertidumbre desprendida de la falta de regulación por parte de los gobiernos.

Frente a la liquidez, el informe de la OCDE sostiene que la tokenización podría ser un arma de doble filo con un efecto positivo en los activos casi ilíquidos (por ejemplo, la participación en el capital de las PYME privadas), pero negativo sobre los riesgos potenciales de bifurcación de la liquidez entre los mercados dentro y fuera de la cadena para el mismo activo. Esto último puede ser el resultado de un cambio en la liquidez de los mercados convencionales al Blockchain, secando la liquidez en los mercados fuera de la cadena (OCDE, 2020).

La comercialización de tokens se caracteriza por tener una alta volatilidad, ejemplo, de ello es el caso ZiyenCoin tratado anteriormente, donde el precio bajó de \$ 0.79 por token el 1 de febrero de 2018 a \$ 0.028 el 6 de noviembre de 2019 (Practical Law, 2019). Esta volatilidad afecta la intención de inversionistas sobre todo en los pequeños capitales con lo que se cierra el espectro de democratizar la inversión.

**Escalabilidad y consciencia pública.** Para lograr un sistema de financiamiento de infraestructura a través de Blockchain, debe existir un claro entendimiento de este concepto, la manera en que opera y se participa, y los riesgos y bondades inherentes a su funcionamiento. Sin lo anterior, la construcción del ecosistema se afectaría, puesto que, debe existir una aceptación, que genere una participación consolidada en el proceso.

Entre los beneficios generados por el uso de Blockchain, está la facilidad de generar procesos de desarrollo de la infraestructura a nivel de la descentralización gubernamental. Para ello, se requiere que haya condiciones claras a nivel central, lo que puede convertirse en un problema si no existen acuerdos en las estrategias plateadas para aprovechar esta tecnología entre la institucionalidad central y la descentralizada (OCDE, 2019).

La OCDE (2019), destacó el valor del Blockchain en la transición verde de las economías, pero indicó la existencia de una carencia de educación financiera y conocimiento sobre sus principios e inconvenientes en el mercado público. Se debe generar políticas claras de difusión del tema, convocar los diferentes sectores económicos para abordar los problemas relacionados con el

---

<sup>52</sup> Tecnología de la información y la comunicación

Blockchain y su uso en proyectos de infraestructura de manera conjunta y armónica para así integrarla en el mercado.

**Contaminación.** Bitcoin, la primera aplicación de Blockchain, es ampliamente conocida como un contaminador ambiental al consumir exorbitantes cantidades de energía. De acuerdo con un estudio del Centro de Finanzas Alternativas de la Universidad de Cambridge, si el bitcoin fuera un país, consumiría más electricidad al año que Finlandia, Suiza o Argentina (BBC News, 2021). Este consumo de energía está acompañado de una emisión de grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, situación que ocurre debido al proceso de "minar" la criptomoneda -utilizando gigantescos servidores con un trabajo continuo. Lo anterior debe contemplarse, buscando formas más eficientes de implementación del Blockchain a la hora de trabajar su arquitectura de red y los protocolos de funcionamiento (OECD Case Study Key Findings, 2020).

## ANÁLISIS

El Blockchain puede resolver algunas fricciones en la financiación de proyectos de infraestructura mediante las APPs en Colombia. La aplicabilidad de la tecnología Blockchain para beneficiar los proyectos de infraestructura es muy amplia. Existe un campo de innovación interesante que puede abrir un sinnúmero de posibilidades, que podrían concentrarse en modelos de financiación hasta mecanismos que aportan el camino hacia una infraestructura inteligente.

El Blockchain, mejora toda la cadena de valor de este tipo de proyectos al facilitar la aparición de nuevos modelos de mercado bajo mejores procesos que inyectan un mayor dinamismo de inversión. El mejoramiento de inversión en el sector de la infraestructura incide directamente en un mejoramiento de la equidad y en un aumento económico que eleva la competitividad del país, impactando positivamente los índices de pobreza y propiciando un crecimiento sostenible a largo plazo.

El espectro sobre las eficiencias que proporciona el Blockchain, también recae sobre la gestión y operación del activo. Imaginemos una infraestructura vial inteligente, en la cual se recopilen diferentes tipos de datos tales como: tipos de vehículos que transitan, la salud del activo<sup>53</sup>, emisiones de carbono, o estadísticas de accidentes entre muchos más. Estos datos pueden extraer el valor escondido de los proyectos de infraestructura tokenizándolos e integrándolos a los modelos financieros, beneficiando a los inversionistas y demás actores del proyecto, posibilitando contar con información relevante para la toma de decisiones en tiempo real que es inmutable, permitiendo el seguimiento, incluso del histórico, acerca de los usos dados sobre el capital.

De la anterior manera, el Blockchain genera transparencia y oportunidades de valorización a partir de datos intangibles como el seguimiento de programas sociales o ambientales. El funcionamiento del Blockchain se da bajo acuerdos contractuales automatizados (Smart Contract) que eliminan todo tipo de intermediaciones, bajando costos y tiempo transaccionales, permitiendo una mayor escalabilidad del proyecto.

El uso del Blockchain en este tipo de activos, también logra aliviar las presiones sobre la financiación pública dejando concentrar sus esfuerzos de inversión en otros programas gubernamentales.

En las últimas décadas el capital privado ha sido clave para el impulso del desarrollo mediante la figura de las APPs<sup>54</sup> como mejor vehículo para hacerlo, pero se ha diezmado, debido a los cambios de las economías del país, resultado del manejo dado a la pandemia<sup>55</sup>, de la incertidumbre política y de la disminución de puntación del riesgo por parte de las calificadoras. La implementación del Blockchain también beneficiaría este aspecto, aprovechando los capitales pequeños que se encuentran en el mercado.

Esta tecnología, usada como un instrumento financiero innovador y pionero en Colombia, lograría ajustar el perfil del capital disponible, otorgando una oportunidad clara de crecimiento, con rendimientos a largo plazo, con una disminución de riesgos, y con un alto índice de transparencia, produciendo de esta manera, una mejor gobernanza. Adicionalmente incluiría la participación de

---

<sup>53</sup> Se refiere a detrimento de la capacidad operativa del activo

<sup>54</sup> Asociaciones Publico Privadas

<sup>55</sup> Covid-19 inicio en el año 2020 provocando inestabilidad económica a nivel mundial connotándose mayormente en los países de Suramérica

inversionistas individuales, produciendo una democratización de las inversiones, aumentando el potencial de participación de capital privado que actualmente se encuentra desaprovechado.

Las APPs, se ejecutan mediante la conformación de un Vehículo de Propósito Especial (SPV)<sup>56</sup> lo que favorece aún más la integración con los modelos de financiación a través del Blockchain y la tokenización de activos ya que da garantía a los inversores, bajo dos aspectos citados por Villalpando (2021), el primero dando tranquilidad de que la compañía que recibe crédito no tiene obligaciones o sanciones por responder, y segundo, debido a que asegura que los recursos provenientes de la financiación, solo pueden destinarse a cubrir los costos de proyecto y los gastos asociados a la transacción (Vasquez Villalpando, 2021). El SPV también garantiza el destino de los flujos de caja propios del negocio hacia el pago de la deuda, obteniendo una eficiente asignación de capital.

La gestión social con las comunidades de la zona aferente al proyecto, y la compra de los predios necesarios para desarrollarlo, son problemas por lidiar en los desarrollos viales. De acuerdo a, cifras de la ANI, el programa de 4G ha presentado problemas con comunidades en al menos 14 de los 29 proyectos (habiendo algunos, con más de un incidente), 5 de los 29 proyectos han tenido dificultades con el proceso de consulta previa, y más de 12 de los 29 proyectos han tenido problemáticas asociadas a los peajes (Departamento Nacional de Planeación, 2021). Su existencia se debe a falta de mecanismos novedosos, para integrarlo a la comunidad, entendiendo sus necesidades y exponiendo los beneficios que acompaña el desarrollo del proyecto en todas sus etapas.

Los proyectos muchas veces son vistos, como una caja de soluciones para las múltiples necesidades de los pobladores. Nunca o casi nunca crean incentivos para cambiar la forma de ver el proyecto como un agente externo e invasor el cual tiene el deber de solucionar los problemas, a mirarlo con apropiación, como un agente integral y acelerador del desarrollo de la población.

El Blockchain en la tokenización de activos, permite formular estrategias tales como la de integrar a la comunidad en calidad de inversionistas, adquiriendo derechos de propiedad de los activos subyacentes y siendo partícipes en la toma de decisiones. De esta forma, se convierten en parte del proyecto y se cambia el imaginario hacia la creación de un sentido de propiedad local, sobre la infraestructura instalada, sobre la cual; podrán recibir beneficios económicos como fuente adicional de ingresos. Un ejemplo, es el caso expuesto en el BRI, donde se consiguió vincular a la comunidad, bajo la venta futura de energía a un precio sin afectación por la inflación.

La negociación de predios que impiden la consecución de los proyectos, también podría vincularse al proyecto, a cambio de la negociación de los terrenos, buscando alternativas que beneficien a las dos partes, siendo una de ellas el convertir a la comunidad en inversores con visión a largo plazo.

Todo lo anterior aporta de gran manera a cerrar la brecha de inversión en términos de infraestructura, destacando que Colombia como lo ha reportado “La Nota Económica” es uno de los países latinoamericano con mejor participación e interés en nuevas tecnologías como lo es el Blockchain, razón por la cual, se está invirtiendo en formación en tecnologías disruptivas. El país ha percibido que el Blockchain puede aportar mucho a la recuperación económica postpandemia y se está realizando intentos claros en avanzar en temas regulatorios que abra el paso a esta tecnología de mejor manera.

---

<sup>56</sup> El SPV tiene por objeto, desarrollar las actividades que tiene que ver con el proyecto de inversión y mejorar la gestión del riesgo

## CONCLUSIONES

La tecnología de Blockchain puede resolver algunas fricciones en la financiación de proyectos de infraestructura mediante la figura de las APP en Colombia, contribuyendo mayormente al desarrollo y competitividad del país. El Blockchain no es más que una base de datos compartida, no sensible o inmutable, encriptada y descentralizada la cual puede almacenar todo tipo de información vinculada al usuario, admitiendo la representación de activos mediante la tokenización<sup>57</sup>. El Blockchain, convierte fuentes de datos en datos no sensibles o inmutables, indescifrables e irreversibles llamados “tokens”, elevando la eficiencia administrativa, financiera, fomentando la relación de confianza entre las partes y reduciendo los costos de intermediación.

Debido al enorme rezago existente en los activos de infraestructura, que de acuerdo con el Banco de la Republica se debe a la forma de plantear políticas públicas y la manera de financiación de estas, es necesario incentivar la adopción de las APPs (Aspecto en el que Colombia se destaca por tener un sólido marco reglamentario). Las APPs aumentan el apalancamiento a partir del capital privado, no obstante, es necesario buscar vías que faciliten la vinculación de nuevos capitales concediendo liquidez al mercado.

La adopción de la tecnología del Blockchain dentro de modelos de financiamiento es clave, permitiendo descubrir nuevas fuentes, que surgen conforme se democratiza la participación de inversión en estos proyectos. Con esta tecnología, se consigue abarcar no solo grandes desarrollos, sino también infraestructuras medianas con lo que se estimularía la inversión subregional atacando rezagos más marcados, tal como son las redes terciarias del país.

La propuesta de valor que brinda el Blockchain, radica en generar un sistema transaccional descentralizado, en el que se ve mejorada la seguridad, la transparencia, la confianza, y en el que permite, la entrada de cualquier actor, pudiéndose construir plataformas colaborativas que ayuden a la consecución de los objetivos de inversión.

El gobierno deberá implementar estas tecnologías y fomentar la innovación en la formulación de nuevos sistemas de participación privada en la financiación de proyectos de infraestructura, que ayuden a cerrar la brecha fiscal que tiene el estado. Para ello, se requiere convocar a todos los sectores interesados y formular a la vez proyectos de regulación que esculpa confianza para facilitar la atracción de inversión.

Si bien la implementación del Blockchain en el desarrollo de infraestructura permitirá generar liquidez, se debe contemplar que la forma como se organiza el trabajo se verá afectada; esto como resultado por ejemplo de la intermediación, o de las maneras colaborativas que parten de la confianza.

Finalmente, se debe citar la importancia que tendrá el Blockchain para la nueva forma de ver la infraestructura y de transar capitales, abonando cada vez más el camino hacia infraestructuras inteligentes que se integren a las finanzas y a las políticas gubernamentales. El poder del Blockchain es tal, que se puede considerar con una nueva economía al crear instituciones y organizaciones espontáneamente con una mejor gobernanza, afectando los pilares mismos de la economía.

---

<sup>57</sup> Tokenización de Activos

## REFERENCIAS

- Adriaens, P. (2021). Infrastructure and the Digital Economy: Reinventing Our Role in the Design, financing, and Governance of Essential Services for society. ASCE.
- Anson, M., Chambers, D., & Hossein Kaze, i. (2012). *Caja Level 1: An Introduction to core topics in alternative investments*. <https://bit.ly/3yq4S8X>
- Arner, D. W., Barberis, J. N., & Walker, J. (16 de Abril de 2020). Digital finance & the COVID-19 Crisis. University of Hong Kong Faculty of Law Research .
- Banco Interamericano de Desarrollo . (2018). *Informe macroeconómico de América Latina y el Caribe 2018: La hora de crecimiento*. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2019). *INFRASCOPIO 2019: Evaluando el entorno para las asociaciones público-privadas en América Latina y el Caribe*. The Economist Intelligence Unit.
- Bankex. (2018). *Tokenization Explained Part. 1*. Obtenido de <https://bit.ly/3nowhSt>
- Baquero Díaz, V. (2019). *Regulación de los contratos inteligentes en Colombia*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Bartłomiej, R., & Marcin, S. (2018). Major transport infrastructure investment and regional economic development – An accessibility-based approach. *Journal of Transport Geography*, 36-49.
- Baum, A. (2020). Tokenization- The future of real estate investment? *The Journal of Portfolio Management Real Estate Vol. 48, no. 5*, 121-126.
- BBC News. (2021). *Qué tanto contamina el bitcoin, la moneda que consume más electricidad que Finlandia, Suiza o Argentina*. <https://bbc.in/3I1XBPO>
- Becerra, L. A., Córdoba, J. H., & Solano, H. Z. (2020). La Inversión en Infraestructura de Transporte. *Borradores de Economía No.1145*. Bogotá: Banco de la República de Colombia.
- Bentancourt, A. (2022). *Hallan fallo en Ethereum que permitiría crear infinitas criptomonedas*. Enter.co: <https://bit.ly/3AgVOF3>
- Bit2Me. (2018). *¿Qué es Tokenomics? La economía de los tokens*. <https://bit.ly/3yqVtOq>
- Breshahan, T., & Trajtenberg, M. (1995). General purpose technologies ‘Engines of growth’? *Journal of Econometrics*, V. 65, no. 1, 83-108. <https://bit.ly/3Nwn1pY>
- Burniske, C., & White, A. (2017). *Bitcoin, Ringing the bell for a new asset class*.
- Buterin, V. (2015). *Vision, Part 1: The Value of Blockchain Technology*. <https://bit.ly/3bw9YHS>
- Cárdenas, M., Escobar, A., & Gutiérrez, C. (1995). *La Contribución de la Infraestructura a la actividad Económica en Colombia 1950 - 1994*. Bogotá: Banco de la República.
- Cavallo, E., & Powell, A. (2018). *Informe macroeconómico de América Latina y el Caribe 2018: La Hora del Crecimiento*. BID.
- Chang, C. (2020). *From Securitization to Tokenization*. <https://bit.ly/3NBb5DG>

- Coase, R. (1937). The Nature of the firm. *New Series, Vol. 4, No. 16*, 386-405.
- Coase, R. (1960). The Problem of social cost. *The Journal of Law and Economics, V. 56, No. 4*, 837-850.
- Consejo Privado de Competitividad. (2019). *Informe Nacional de Competitividad 2019 - 2020*. Bogotá: Puntoaparte editores .
- Consejo Privado de Competitividad. (2020). *Informe Nacional de Competitividad 2020-2021*. Bogotá: Puntoaparte Editores.
- Consejo Privado de Competitividad. (2021). *Informe Nacional de Competitividad 2021-2022*. Bogotá: Puntoaparte Editores.
- Coremberg, A., Larde, J., Sanchez, R., & Sanguinetti, J. (2021). *Políticas anticíclicas y propuesta para el cálculo de la recuperación fiscal de la inversión en infraestructura*. CEPAL.
- Croce, R. D., & Gatti, S. (2014). Financing infrastructure - International trends. <https://bit.ly/39YDDsV>
- Currency.com. (2021). *Bielorrusia 252/USD bono tokenizado*. <https://bit.ly/3HWVWLw>
- Davidson, S., Filippi, P. d., & Potts, J. (2016). *Economics of Blockchain*. Hal Open Sciece.
- Departamento Nacional de Planeacion . (2021). *Informe Cuarto Trimestre 2021, Registro Unico De Asociaciones Publico Privadas, Boletin Num. 32*. Bogotá: Departamento Nacional de Planeacion.
- Departamento Nacional de Planeacion. (2021). *Política para el desarrollo de proyectos de infraestructura de transporte sostenible: Quinta Generación de concesiones bajo el esquema de asociaciones publico privadas - Concesiones del Bicentenario, Documento CONPES 4060*. Bogotá: Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES).
- Departamento Nacional de Planeacion, C. N. (2020). *Declaración de importancia estratégica del Comopromiso por Colombia: Programas Vías para la legalidad y la Reactivación Vision 2030: Documento CONPES 4010* . Bogotá: Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES).
- Departamento Nacional de Planeacion, C. N. (2013). *Proyectos Viales bajo el esquema de Asociaciones Publico Privadas: Cuarta Generación de Cooncesiones Viales: Dcoumento COMPEs 3760*. Bogotá: Consejo Nacional de Polica Económica y Social (CONPES).
- DeWaal, G. (2019). *Katten'ssummary of cryptoasset legal and regulatory global news*. <https://bit.ly/3ytOULj>
- Duarte, B. (2018). *¿Qué es y cómo comprar WePower (WPR)? Genere, consume y vende energía renovable*. <https://bit.ly/3R7I9WT>
- Fay, M., & Morrison, M. (2007). Infrastructure in Latin America and the Caribbean. *Directions in Development*. Washington: The World Bank.
- Fernández Magariño, J. (2022). *Sacyr vuelve a usar el bono social en Colombia para financiar una concesión*. <https://bit.ly/3QUxSNC>

- Hallegate, S., Rentschler, J., & Rozenberg, J. (2019). *Lifeline: Tomando accion hacia una infraestructura mas resiliente*. Banco Internacional de Reconstruccion y Fomento / Banco Mundial.
- Hart, O. (1989). An Economist's perspective on the theory of the firm. *Columbia Law Review*, Vol. 89, No. 7, 1757-1774.
- International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. (2018). *Procuring Infrastructure Public-Private Partnerships Report*. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank.
- Isaza, M. C. (2018). *Opciones reales como estrategia de generación de valor para inversionistas en proyectos APP*. Medellin : Universidad EAFIT.
- Laurent, P. (2018). *The Tokenization of assets is disrupting the financial industry. Are you ready?* Deloitte.
- Lauslahti, K., Mattila, J., & Seppala, T. (2017). Smart Contracts - How will blockchain technology affect contractual practices? *ETLA Reports*, No. 68, 2-32.
- Li, J., Greenwood, D., & Kassem, M. (2018). Blockchain iin the construction sector: a socio-technical systems framework for the construction industry. *ResearchGate*.
- Lopez Cuenca, A. D., & Torres, D. E. (2020). Impacto de la Inversion en infraestructura sobre la pobreza en Latinoamerica en el periodo 1996-2016. *Poblacion y Desarrollo*, vol.26 no.50.
- Mapila, K., Lauridsen, M., & Chastenay, C. (2017). Mobilizing Institutional Investments into Emerging Market Infrastructure. *MCompass*, no. 36; *International Finance Corporation*, 36-39.
- Mejia, L. F., & Delgado, M. E. (2020). *Impacto macroeconomico y social de la inversion en infraestructura en Colombia, 2021 - 2030*. Fedesarrollo.
- Mengelkamp, E., Garttner, J., Roelk, K., Orsini, L., & Weinhardt, C. (2018). *Designing microgrid energy markets a case study*.
- Ministerio de Transporte. (2021). *Transporte en cifras estadisticas 2020*. Bogotá: Ministerio de Transporte.
- Nespral, D., & Hergueta, R. (2021). *Blockchain, El modelo descentralizado hacia la economia digital*. Bogotá: Ediciones de la U.
- OCDE. (2015). *Infrastructure Financing Instruments and Incentives*. OCDE.
- OCDE. (2019). *The Policy Environment for Blockchain innovation and adoption. Global Blockchain Policy Forum*. OCDE.
- OCDE. (2020). *The tokenisation of assents and potential implications for financial markets. OECD Blockchain plici series*. OCDE.
- OECD Case Study Key Findings. (2020). *Blockchain thechnologies as a Digital Enabler for Sustainable infrastucture*. <https://bit.ly/3u9Gp5o>
- Practical Law. (2019). *Confidential private placement offering memorandum*. <https://tmsnrt.rs/3bukO13>

- Ramírez Giraldo, M., Collazos Gaitán, M., García García, J., Hahn De Castro, W., Melo Becerra, A., Montenegro, A., . . . Zárate Solano, M. (2021). La inversión en infraestructura de transporte y la economía colombiana. *Banco de la Republica de Colombia: Ensayos sobre Política Economica*.
- Rendon, A. G., & Andrade, M. E. (2022). *Análisis de la tokenización y la titularización tradicional de activos agrícolas, como alternativas de financiación aplicado al cultivo de aguacate Hass*. Medellín: EAFIT.
- Rodriguez, M. T. (2019). *La Financiacion de las "Vias 4G": Debilidades y Contratiempos en un programa ambicioso de Concesiones de Infraestructura Vial Ejecutado en Colombia, Estructurado bajo un marco juridico comparado e interdisciplinario que, impacta al derecho economico inter*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia .
- Rojas Lopez, M., & Ramirez Muriel, A. (2018). Inversión en Infraestructura vial y su impacto en el crecimiento económico: Aproximación de análisis al caso infraestructura en Colombia (1993-2014). *Revista Ingenierías Universidad de Medellín, Vol. 17 No. 32*, 109-128.
- Sánchez, R. J., & Chauvet, P. (2019). *Contratos de concesión de Infraestructura, Incompletud, obstaculso y efectos sobre la competencia*. COMERCIO INTERNACIONAL, CEPAL.
- Schwerin, S. (2018). *Blockchain and privacy protection in case of the european general data protection regulation (GDPR)*.
- Smith, J., Vora, M., Benedetti, D. H., Yoshida, K., & Vogel, Z. (14 de Mayo de 2019). Tokenized securities & commercial real estate. *MIT Digital Currency Initiative, Workng group research paper*. MIT Managementg sloan school.
- The World Bank. (2007). *Infrastructure in Latin America and the Caribbean: Recent Developments and Key Challenges* . Washington : The World Bank.
- Tian, Y., Adriaens, P., Minchin, E., Chang, C., Lu, Z., & Qi, C. (2020). Asset Tokenization: A blockchain Solution to Financing Infrastructure in Emerging Markets and Developing Economies. *Economics of Networks eJournal*, 1-27.
- Tian, Y., Lu, Z., Adriaens, P., Minchin, E., Caithness, Alastair, & Woo, J. (2020). Finance infrastructure through blockchain-based tokenization. *Frontiers of Engineering Management vol. 7*, 485–499.
- tokenestate.io. (2019). *Tokenestate*. <https://bit.ly/3ys8wiN>
- Toro, J. (22 de Junio de 2021). *La inversión pública en infraestructura: sesgos en contra y prociclicidad*. Banco de la Reupublica de Colombia: <https://bit.ly/3xYgcIg>
- Toro, J. (17 de Junio de 2021). Pandemia y fractura social afectaron la competitividad de la región durante el 2020 [Video]. <https://bit.ly/3u90CYY>.
- Trouche, V. (2018). *Tokenestate Executes First Digital Share Transaction, Successfully Brings Equity Instruments to the Blockchain*. <https://bit.ly/3QTRDoe>
- Turk, Z., & Klinc, R. (2017). Potentials of Blockchain Technology for Construction Management. *Procedia Engineering, Vol. 196, no. 20*, 638-645.
- Underwood, S. (2016). Blockchain Boyond Bitcoin. *Communications of the ACM, Vol. 59, no. 11*, 15–17.

- Uzsoki, D. (2019). Tokenization of infrastructure, a blockchain-based solution to financing sustainable infrastructure. *International Institute for Sustainable Development (IISD)*, 1-10.
- Valora Analitik. (2022). *Colombia tiene lista regulación para operación con criptoactivos*. <https://bit.ly/3ys9LOZ>
- Vasquez Villalpando, V. M. (2021). Impacto de los casos, defunciones y recuperaciones de la epidemia de COVID-19 en el tráfico vehicular de las vías concesionadas en Colombia. Medellín: Universidad EAFIT.
- Walter, I. (2016). *The Infrastructure finance challenge*.
- Woo, J., Asutosh, A. T., Li, J., Ryor, W. d., Kibert, C. J., & Shojarei, A. (2020). Blockchain: A theoretical framework for better application of carbon credit acquisition to the building sector. *Construction Research Congress 2020*.
- Wood, C. (17 de Junio de 2020). Infrastructure investment key for emerging markets post COVID-19: Swiss Re. Reinsurance News. <https://bit.ly/3y3XRJA>
- World Economic Forum. (Septiembre de 2018). Building Blockchains for a better Planet.
- World Economic Forum. (2018). *The Global Competitiveness Report*. Geneva: The Global Competitiveness Report.
- World Economic Forum. (2019). *The Global Competitiveness Report*. Switzerland: World Economic Forum.
- Yan, G., & Jin-hua, L. (2019). Tecnología Blockchain y análisis de casos de simulación para construir una plataforma de Big Data para el transporte urbano inteligente. <https://bit.ly/3yr4irw>
- Yepes, T., Ramirez, J. M., Villar, L., & Aguilar, J. (2013). Infraestructura de Transporte en Colombia, Executive Summary in English. *Cuadernos Fedesarrollo 46*. Bogotá: Fedesarrollo.