

Generación de una red de fiscalización sobre infraestructura pública, basada en inteligencia artificial y blockchain.

Herrera López, Juan Alejandro

Contraloría General de la República, Costa Rica

Contenido

1.Objetivo	4
2.Alcance.....	4
3.Desarrollo de la investigación.....	4
3.a.Introducción.....	4
3.a.1. Propuesta de la red de fiscalización.....	5
3.b. Visión por computadora	6
3.b.1.Estimación de avance de obra pública por machine learning	7
3.b.2.Determinación de recursos dispuestos por el contratista mediante I.A.	13
3.c. La Blockchain.....	15
3.c.1. Elaboración de las credenciales digitales de cada proyecto fiscalizado	16
3.c.2. Proceso de recepción de imágenes y registro en los bloques	17
3.c.3. La población como parte de la red de fiscalización	21
3.c.4.Generación de alertas mediante contratos inteligentes (smart contracts).....	22
4.Conclusiones	23
Bibliografía	24
ANEXOS.....	25
Referencia al código fuente de los ejemplos realizados en el estudio:.....	25
Correlación histogramas y enmascaramiento	25
Modelos de inteligencia artificial para detección de recursos	25

Generación de una red de fiscalización sobre infraestructura pública, basada en inteligencia artificial y blockchain.

(Fiscalización digital, descentralizada y en tiempo real)

Una propuesta para el uso de internet de las cosas, inteligencia artificial y blockchain, como plataforma de habilitación para la participación ciudadana en el proceso de fiscalización de desarrollo de infraestructura pública.

Palabras claves: *Internet de las cosas, inteligencia artificial, procesamiento de imágenes, infraestructura pública, blockchain, smart contracts.*

Resumen

La internet del futuro tendrá dos características esenciales, primero será un internet de cosas; el mayor tráfico se generará no por seres humanos sino por sensores conectados ya sea entre sí o con plataformas de inteligencia artificial. En segundo lugar, estará basada en tecnologías de la web 3.0, ofreciendo un mayor control en la persona sobre la información que recibe y genera. Esa nueva ola debe ser usada en su provecho por las Entidades de Fiscalización Superior, utilizando esas tecnologías para generar procesos de fiscalización masivos, rutinarios y en tiempo real, generando una descentralización del control para ubicar a la sociedad en el centro del proceso. La presente propuesta tiene un fin aspiracional sobre el futuro posible, soportado sobre tecnologías ya existentes y asequibles hoy en día, acordes con la realidad de nuestros países. Tanto las bibliotecas de software sobre procesamiento de imágenes, como los modelos entrenados de inteligencia artificial para visión por computador, propuestos en este trabajo son de acceso libre, sujetas a licencias open source y sin necesidad de inversión pública alguna. Además, la blockchain mencionada en este estudio, ya es una realidad (LACChain), se encuentra desplegada y patrocinada por un organismo internacional como lo es el Banco Interamericano de Desarrollo y en espera del desarrollo de casos de uso de este tipo. La tarea pendiente es un actor que integre todas estas tecnologías para ubicar a nuestras sociedades como actores del proceso, en un sector

en el cual se han dado los mayores casos de corrupción, la construcción de infraestructura pública. Este documento es una idea sobre esa integración.

1.Objetivo

Proponer el desarrollo de una red de fiscalización sobre infraestructura pública descentralizada y en tiempo real, mediante el uso de algoritmos de *machine* y *deep learning* para la generación temprana de alertas y con una naturaleza inclusiva hacia la sociedad a través de una blockchain; garantizado el aseguramiento de la integridad de las pistas de auditoría.

2.Alcance

La presente investigación brinda una propuesta sobre el uso combinado de tecnologías novedosas en fiscalización procesos públicos; el uso de internet de las cosas (Wirtz et al., 2019), *IoT* por sus siglas en inglés; algoritmos de procesamiento de imágenes, modelos de inteligencia artificial y el uso de blockchain para asegurar la integridad de los datos procesados por la EFS (Entidad de Fiscalización Superior) y su acceso social.

El uso de estas tecnologías habilita la consecución de un fin mayor en el proceso de fiscalización, buscando su descentralización hacia la sociedad y ofreciendo una plataforma abierta y democrática, sobre el cual la población sea copartípe activa del control y vigilancia en la correcta disposición de fondos públicos, en un rubro que para nuestros países resulta esencial, la inversión en el desarrollo de infraestructura pública.

3.Desarrollo de la investigación

En este apartado se desarrollarán los antecedentes y la base tecnológica que sustenta la red de fiscalización propuesta.

3.a.Introducción

Al inicio de la pandemia por SARS-COV-2, China realizó la construcción de emergencia de un hospital en Wuhan, epicentro del problema sanitario. Lo sorprendente de esta proeza no fue sólo construir ese centro hospitalario en diez días, sino habilitar al mundo la transmisión por medio de cámaras

de video 24/7 hacia internet del proceso de construcción¹, **generando una primera experiencia, al menos con esa dimensión, de control ciudadano a nivel global sobre un proceso de desarrollo de infraestructura pública.**

Este evento, para efectos del presente estudio, se considera como el génesis de una nueva forma de realizar fiscalización, la manera de hacerlo en la sociedad de la industria 4.0. Sacando provecho del uso extensivo de varias tecnologías, tales como sensores inteligentes e inteligencia artificial para eficientizar tanto los procesos productivos, y por parte del auditor para generar un control en tiempo real y de mayor valor sobre esos procesos (Dai et al., 2019).

3.a.1. Propuesta de la red de fiscalización

La arquitectura de la red fiscalización sobre obra pública se esboza en la siguiente figura:

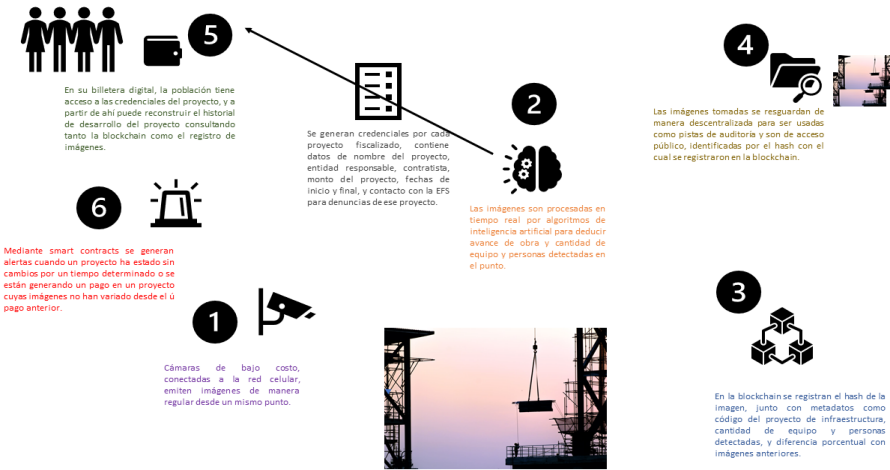


Fig.1. Red de fiscalización de infraestructura pública, creación propia.

El ciclo de red anterior se explica en los siguientes pasos: 1.) Mediante el uso de IoT, que corresponde a cámaras conectadas a la red celular, se envían regularmente imágenes desde la misma perspectiva de una obra pública en construcción. Resulta conveniente que sean fotografías y no la

¹ [Enlace a la noticia.](#)

emisión de videos para reducir los costos de conexión, procesamiento y análisis. 2.) Una vez recibidas las imágenes, se verifica de manera automatizada la diferencia o semejanza de la fotografía actual con anteriores, con el fin de estimar si se ha generado avance en la obra. Además, es procesada por medio de modelos de inteligencia artificial, para detectar personas y equipos en cada imagen y llevar una contabilización de estos, para tener un estimado histórico de la cantidad de recursos involucrados por el contratista y confrontar este dato con lo pactado en el contrato inicial y con los pagos generados. 3.) Se registran pruebas criptográficas de cada imagen en la blockchain, con el fin de asegurar su uso futuro como pista de auditoría, además de registrar los metadatos obtenidos de su procesamiento (diferencias de avance de la obra y cantidad de recursos detectados).4.) Se resguarda la imagen original sin procesamiento en un sistema de archivos descentralizado, de acceso público y paralelo a la blockchain, identificando cada archivo de manera unívoca con su hash 5.) Se generan credenciales verificables de cada proyecto fiscalizado y se comparten en las billeteras digitales de cualquier tercero interesado; esto con el fin de brindar información útil para fomentar un desarrollo de un ecosistema público-privado de sistemas y aplicaciones de monitoreo sobre obra pública. La implementación de las actividades anteriores se detalla a continuación.

3.b. Visión por computadora

El procesamiento de imágenes es una de las áreas que ha tenido mayor desarrollo en el campo de la inteligencia artificial; desde el uso del *neocognitron*, antecesor lejano de las redes convolucionales(Voulodimos et al., 2018), hasta la implementación de redes transformers en el procesamiento de imágenes(Khan et al., 2021).Este amplio desarrollo permite tener al alcance tanto algoritmos de procesamiento de imágenes como modelos ya entrenados sobre visión por computadora, posibilitando una fácil aplicación de estos como posibles herramientas en los procesos de fiscalización, en los casos que se deba hacer procesamiento de imágenes o video.


Para los efectos de la propuesta, se utilizarán algoritmos de *machine learning* con fin de obtener y comparar los histogramas de imágenes tomadas en el mismo punto, y de distintos momentos y generar los coeficientes de correlación entre ellos como indicador de avance de obra,

aspecto que se explicará a continuación. Además, se plantea el uso de modelos de inteligencia artificial sobre interpretación de imágenes para determinar la cantidad de personas y equipo de construcción en una imagen específica.

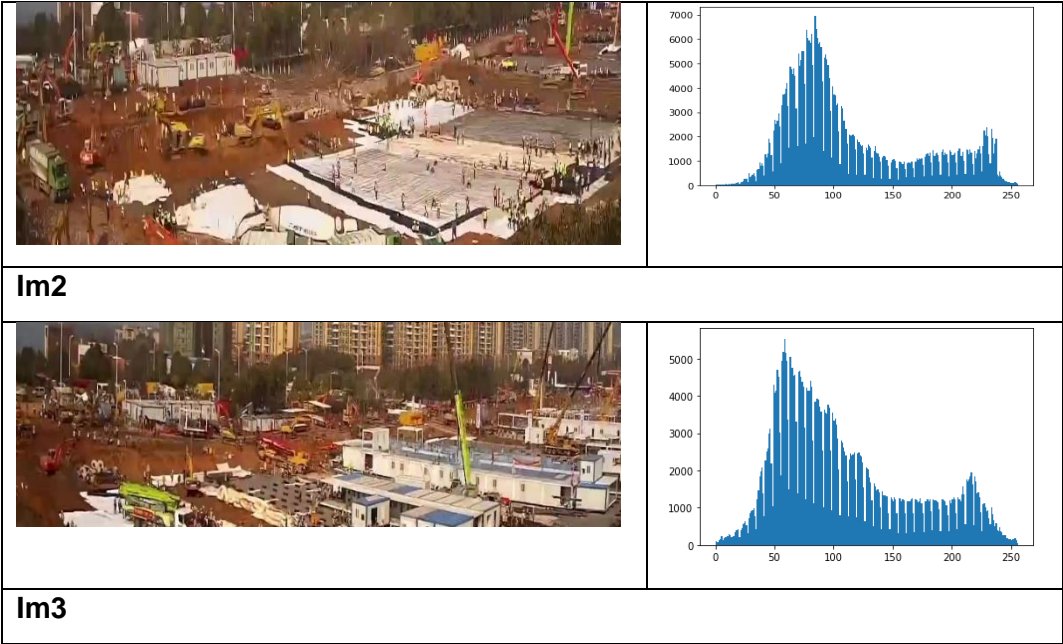
3.b.1. Estimación de avance de obra pública por machine learning

Una de las funciones básicas que permiten generar los algoritmos de procesamiento de imágenes son los histogramas. Un histograma es una herramienta gráfica que permite visualizar la distribución de los datos, en este caso, datos sobre la intensidad de píxeles de una fotografía. La comparación entre histogramas obtenidos de diferentes imágenes permite tener referencia del grado de similitud entre estas.

Como ejemplo de lo anterior, se tienen tres imágenes tomadas en distintos momentos, pero desde un mismo ángulo, sobre el proceso de construcción del hospital en Wuhan mencionado anteriormente. Para efectos del realizar este ejercicio se utilizó la biblioteca de *OpenCV*² para *Python*, para obtener los histogramas de cada fotografía, tal como se dispone en la siguiente tabla:

Imagen analizada	Histograma generado
	
Im1	

² Al respecto ver <https://opencv.org/>



A partir de la obtención del histograma de cada imagen, estos se compararon para determinar el grado de similitud entre cada una. La biblioteca usada *OpenCV* ofrece varios mecanismos de comparación entre histogramas; ya sea correlación, Chi-cuadrado, intersección o Hellinger, tal como se desarrolla en el siguiente ejemplo:

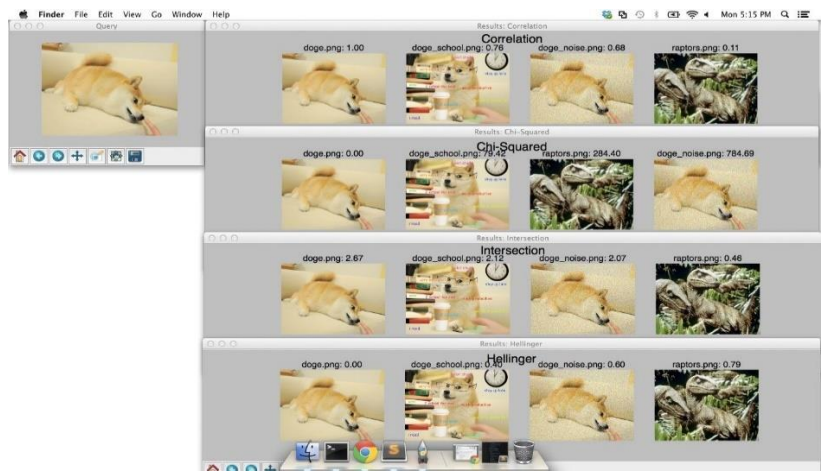


Fig.2. Procedimientos de comparación de histogramas. Tomado de <https://www.pyimagesearch.com/2014/07/14/3-ways-compare-histograms-using-opencv-python/>




Tal como se observa en la figura anterior, la comparación de la imagen de la izquierda con cada una de las filas permite determinar aquellas con mayor similitud en los casos en los cuales se obtiene un coeficiente de correlación y de intersección mayor a partir de sus histogramas. Mientras que aquellas en las cuales esos indicadores son menores, tienden a diferir en mayor grado entre el contenido de cada imagen.

Para efectos de este ejemplo se usaron los métodos de correlaciones (`cv2.HISTCMP_CORREL`) y de intersección (`cv2.HISTCMP_INTERSECT`), tales coeficientes permiten generar indicios para determinar el avance o suspensión de un proyecto de infraestructura pública. Entre más cercano sean los coeficientes de variación o la intersección entre histogramas de distintas imágenes, menos divergentes serán y por ende se tendrían indicios de un menor grado de desarrollo o incluso de la suspensión del proceso constructivo de la obra.




Correlación e intersección de histogramas como indicio de avances en obras públicas

La aplicación del coeficiente de correlación o de intersección entre imágenes de construcción de una obra pública, como referencia del desarrollo de un proceso constructivo, se realizó en el ejemplo al comparar las fotografías iniciales.

Correlaciones entre histogramas de construcción del hospital.

	Im1	Im2	Im3
Im1		0.42 +	0.41 -
Im2	0.42		0.85
Im3	0,41	0,85	

Intersecciones entre histogramas de construcción del hospital.

	Im1	Im2	Im3
Im1		122.6 +	89.4 -
Im2	122.6		222.1
Im3	89.4	122.6	

De acuerdo con los resultados anteriores, al tener como punto de partida la primera imagen obtenida en el tiempo **(Im1)**, permite visualizar que el coeficiente de correlación va disminuyendo, pasando a un 0.42 con la segunda imagen **(Im2)** y a un 0.41 con la última imagen **(Im3)**. Lo anterior tiene sentido lógico, puesto que lo captado por las fotografías deriva de un avance en la construcción de la obra. De igual forma, los coeficientes de intersección tienden a bajar, resultado de que el proceso constructivo modifica las condiciones del entorno y por ende de las imágenes captadas.

Del anterior hallazgo se podría concluir que, en el caso de imágenes de un proceso constructivo de obra, los histogramas generados desde un mismo punto de referencia que tienden a tener coeficientes de correlación o intersección menores entre sí constituyen indicios de un mayor avance del proceso constructivo. Por el contrario, proyectos que han avanzado en menor grado o incluso han quedado suspendidos, sus coeficientes serán iguales o muy similares.

A partir de esta herramienta resulta posible programar alertas que indiquen a la EFS y a la población, aquellas obras cuyos coeficientes han tenido menor variación en un intervalo definido de tiempo, como posible señal de suspensión de obras.

Minimizando errores

Sin embargo, se debe valorar la acción de factores exógenos que puedan afectar la generación de histogramas de las imágenes, por ejemplo, el grado de iluminación o condiciones climáticas (Finlayson, 2018) . Estos elementos

pueden alterar los resultados de imágenes tomadas sobre obras en proceso, por lo que resulta necesario asegurar medidas para minimizar la posibilidad de errores derivados de esos factores. Una de estas medidas es bajar la saturación de tonos de blanco, con el fin de minimizar el posible error derivado de cambios en la iluminación, tal como se expone a continuación.

	<p><i>Coeficiente de correlación entre imágenes sin tratamiento 0.70</i> <i>A pesar de ser la misma obra, hay elementos de iluminación que afectan, y podrían generar falsos positivos.</i></p>
	

Con el fin de minimizar la posibilidad de que elementos como la iluminación, puedan generar falsos positivos, que se traducirían como detección de posibles avances de obra cuando realmente no se han dado; las imágenes se procesaron con el fin de eliminar y enmascarar la iluminación, buscando disminuir el efecto de ésta en el cálculo de los histogramas, y por ende sus efectos en el coeficiente de correlación.

	<p><i>Coeficiente de correlación entre imágenes con tratamiento 0.99. Se busca enmascarar los tonos de blanco para reducir distorsiones basadas en la iluminación ³, señalando efectivamente que la obra no ha tenido variaciones.</i></p>
	

Al obtener dos imágenes de un mismo punto sobre la misma obra pública, se debe buscar minimizar efectos de los cambios de factores como la iluminación. Una medida es enmascarar los blancos, puesto que, aunque se trate de la misma obra sin modificación, se podría tener un coeficiente de correlación lejano a 1, que significa que la imagen no ha cambiado. Esto genera malas lecturas y falsos positivos, en el tanto se podría suponer para los efectos de fiscalización de una obra en construcción, que han existido variaciones en la misma cuando realmente no se ha generado cambio alguno.

Además de las medidas de disminución de tonos para minimizar posibilidades de error por elementos exógenos, resulta recomendable calcular los coeficientes sobre un número representativo de imágenes, y generar alertas de retraso o suspensión de una obra sobre promedios estimados de varias imágenes, con el fin de suavizar efectos de elementos exógenos en su cálculo. Más conveniente aún, a fin de brindar un grado de seguridad mayor en los resultados, la aplicación de algoritmos de detección de anomalías⁴, para eliminar del cálculo aquellos histogramas que resulten atípicos, minimizando las posibilidades de error en los coeficientes.

³ Idea tomada de <https://stackoverflow.com/questions/67323056/histogram-comparison-between-two-images>

⁴ Por ejemplo, la biblioteca PyOD. Al respecto ver <https://pyod.readthedocs.io/en/latest/>

3.b.2.Determinación de recursos dispuestos por el contratista mediante I.A.

Un segundo componente de la red de fiscalización es el uso de modelos de inteligencia artificial que permitan detectar entidades en una imagen dada. Tal como se indicó antes, existe actualmente una diversidad de modelos ya entrenados, muchos disponibles bajo un esquema open source, sin costo de licenciamiento.

Además, estos modelos que corresponden a redes neuronales, ya se han experimentado tanto para la detección del estado de mantenimiento de infraestructura pública(Jin et al., 2018), como en la detección detallada de equipo de construcción(Arabi et al., n.d.).Para efectos de este trabajo se generó un ejemplo usando el modelo *Inceptio_resnet_v2*⁵, que es parte de la biblioteca de *TensorFlow* de Google y está cubierto por una licencia open source de Apache-2.0⁶, sin costo de licenciamiento.

Dentro de las posibilidades del modelo seleccionado, se tiene la habilidad de detectar en la imagen tanto personas y vehículos, entre estos últimos, vehículos de trabajo (*Land vehicle*) propios de un proceso constructivo.

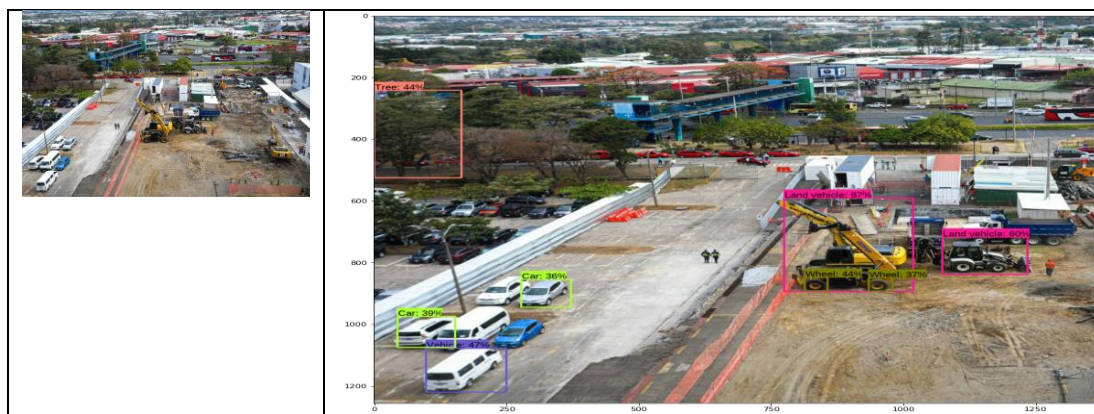
Teniendo identificados en las fotografías estos dos tipos de entidades, personas y vehículos de trabajo, es posible extraer los datos de forma automatizada, y tener la información sobre un aproximado de los recursos que está disponiendo el constructor para llevar adelante la obra pública por cada imagen captada.

Se expone a continuación algunos ejemplos, retomando tanto las imágenes usadas anteriormente del hospital en Wuhan como imágenes de obras de infraestructura pública desarrolladas en Costa Rica.

⁵ Al respecto ver https://tfhub.dev/google/faster_rcnn/openimages_v4/inception_resnet_v2/1

⁶ <https://opensource.org/licenses/Apache-2.0>

Imagen inicial	Imagen procesada
	
	
	
	



Los resultados del modelo aplicado en este ejemplo, al ser de naturaleza estadística, dan una probabilidad o porcentaje de que la entidad enmarcada corresponda a su etiqueta que se le está definiendo. Lo anterior permite en cada caso que dependiendo de la distancia, calidad y ángulo en que se ubique la cámara, establecer un margen de tolerancia mayor o menor para confirmar la naturaleza de la entidad detectada; cámaras más cercanas a su objetivo se podrían configurar con parámetros menos tolerantes para enmarcar y contabilizar a una entidad como persona, sólo en aquellos resultados que se tenga una probabilidad superior a un 60% por ejemplo.

Lo anterior, sumado a los ajustes técnicos de calibración que se pueden hacer sobre este tipo de modelos(Liu et al., n.d.) hacen posible tener resultados bastante fiables en el análisis de cada imagen.

Del anterior hallazgo se podría concluir en el caso de imágenes de un proceso constructivo de obra pública, que la detección de mayor cantidad de personas y equipo dan un indicio de un mayor esfuerzo del constructor por llevar adelante el proyecto. Esto hace factible un registro histórico de la puesta a disposición de recursos y compararlo con los pagos realizados.

3.c. La Blockchain

Del uso de los mecanismos de *machine learning* y *deep learning* anteriores, se obtienen una serie de datos a partir de las imágenes tomadas de manera temporal sobre el proceso de construcción de obra pública. Los datos disponibles son:

- *Coeficiente de correlación con una imagen o grupo de imágenes anteriores.*
- *Coeficiente de intersección con una imagen o grupo de imágenes anteriores.*
- *Cantidad de personas detectadas en esa imagen.*
- *Cantidad de equipo detectado en esa imagen.*
- *Con el fin de brindar elementos de integridad, como pista de auditoría se obtendría el hash de la imagen.*
- *Ruta de almacenamiento de la imagen original.*
- *Coordenadas de ubicación de la cámara.*
- *Día y hora de la imagen.*

De aquí surge la pregunta sobre la manera para hacer accesibles estos datos a la población en general, de una forma ágil y sencilla, con el fin de lograr la participación de la sociedad como un pilar en una red de fiscalización de infraestructura pública; sirviendo como ojos fiscalizadores de algo que está sucediendo en su comunidad, y que se consolidándose en un aliado de la EFS. **Es aquí donde el uso de la tecnología blockchain adquiere una relevancia exponencial.**

Para efectos del presente análisis, se partirá del uso de la blockchain que ya tiene desplegada el BID denominada LACChain⁷, esto por varias ventajas que presenta, entre las cuales se tienen:

- *Es una red desplegada con varios nodos en varios países, siendo una red permissionada, con un grado alto de madurez, lo que garantiza su redundancia y seguridad.*
- *No tiene un costo por transacción, lo que implica un costo fijo para efectos de desarrollo de un proyecto de una EFS.*
- *Tiene el respaldo de una entidad internacional como es el BID, que la respalda y promociona para su uso, en especial para el desarrollo de casos de uso en favor de la innovación y el bienestar de la sociedad.*

3.c.1. Elaboración de las credenciales digitales de cada proyecto fiscalizado

En principio, cada proyecto fiscalizado debe tener una credencial que se pueda compartir hacia la billetera digital en manos de la población

⁷ Al respecto ver <https://www.lacchain.net/home>

interesada en su fiscalización. La credencial aportará a la población la siguiente información:

- *Nombre del proyecto*
- *Código del proyecto*
- *Tipo de proyecto*
- *Institución responsable*
- *Costo de la obra*
- *Fechas de inicio y final planificadas*
- *Ubicación del resguardo de las imágenes tomadas de ese proyecto*
- *Cantidad, número y georreferencia de las cámaras usadas para fiscalización de ese proyecto*
- *Contacto de la EFS para atender denuncias o comentarios sobre este proyecto*

Estas credenciales son generadas por la EFS y remitidas a cualquier habitante que desee tener credenciales de un proyecto fiscalizado específico.

3.c.2. Proceso de recepción de imágenes y registro en los bloques

Una vez que las imágenes son enviadas por las cámaras dispuestas en campo, lo primero que se debe hacer es generar el hash del archivo y guardarlo en el reservorio de imágenes para garantizar su integridad y uso como pista de auditoría. El reservorio es un sistema de archivos descentralizados tipo IPFS⁸, paralelo a la blockchain. El hash se constituirá en el identificador único de cada imagen.

Una vez resguardado el archivo en el reservorio, será una especie de original de la imagen y de manera paralela se genera una copia de la imagen la cual será analizada de manera automatizada por los algoritmos de *machine* y *deep learning*. Una vez procesada la información, un nodo escribe una transacción en la blockchain de LACChain con los siguientes metadatos:

⁸ Al respecto ver <https://ipfs.io/>

Concepto	Identificador	Valor
Código proyecto	CP	Identificador único del proyecto fiscalizado
Cámara	C	Número de la cámara en el proyecto con la cual se tomó la imagen
Id Hash	Id	Identificador único de la imagen para ubicarla en el reservorio principal
Tiempo	T	Momento de toma de la imagen
Coeficiente de correlación (1)	Co1	Coeficiente de correlación con respecto al histograma de la primera imagen del proyecto tomada con esa cámara
Coeficiente de correlación (n)	CoN	Coeficiente de correlación con respecto al histograma de la imagen registrada n transacciones antes tomada con esa cámara
Coeficiente de intersección (1)	I1	Coeficiente de intersección con respecto al histograma de la primera imagen del proyecto tomada con esa cámara
Coeficiente de intersección (n)	In	Coeficiente de intersección con respecto al histograma de la imagen registrada n transacciones antes

		tomada con esa cámara
Personas	P	Cantidad de personas detectadas en la imagen
Equipo	E	Cantidad de equipos detectados en la imagen

El siguiente es un ejemplo de los metadatos registrados en una transacción en la blockchain:

```
{"CP": "32.2021", "C": "3", "Id": "0fdf4b4f3dd2832d99234cadf2cb675d", "T": "01.02.21.1000", "Co1": ".6", "Co30": ".85", "I1": "90", "I30": "185", "P": "6", "E": "2"}
```

En esta transacción se tienen los datos del análisis del proyecto 32.2021 (proyecto de rehabilitación de la ruta 32 en el año 2021) la identificación del proyecto se ubica en las credenciales de este. Los datos de la transacción derivan de la cámara 3 de ese proyecto, y se refieren a la imagen *0fdf4b4f3dd2832d99234cadf2cb675d*, tomada a las 10:00 am del primero de febrero del año 2021. Se calculó un coeficiente de correlación de 0.6 con la primera imagen tomada por esa misma cámara, y además de un coeficiente de 0.85 con una imagen ubicada 30 transacciones antes, aspecto que resulta configurable. Se tiene además un resultado de intersección de 90 con la primera imagen tomada por esa misma cámara, y de 185 con una imagen ubicada 30 transacciones antes. Se detectaron 6 personas y 2 vehículos de trabajo en la imagen.

Los datos de la transacción y las credenciales del proyecto fiscalizado se describirán a continuación:

Credenciales del proyecto fiscalizado:

Proyecto:	Rehabilitación de la ruta 32. Tramo San José-Siquirres
Código de proyecto:	32.2001
Tipo de proyecto:	Rehabilitación vial
Institución responsable:	Consejo Nacional de Vialidad
Contratista:	Empresa X
Costo de la obra:	20.MUSD*
Fecha inicio y final:	01-2021 a 01-2022

Repositorio de imágenes:	https://drive.google.com/drive/folders/16KMudJv1tELaaZmFsuQKT5JcjinZE3A?usp=sharing
Cámaras:	3
Denuncias:	ruta32@cgr.go.cr

*Millones de dólares americanos

Cámaras dispuestas en el proyecto y su georreferencia:

id	Fecha de inicio	Coordenadas
1	01-01-2021	10.071735620425509, -83.99730730750044
2	01-01-2021	10.216380721619016, -83.8647847310662
3	01-01-2021	10.205568398803791, -83.74256183673826

Localización cámara 3, la cual generó los datos para la transacción:

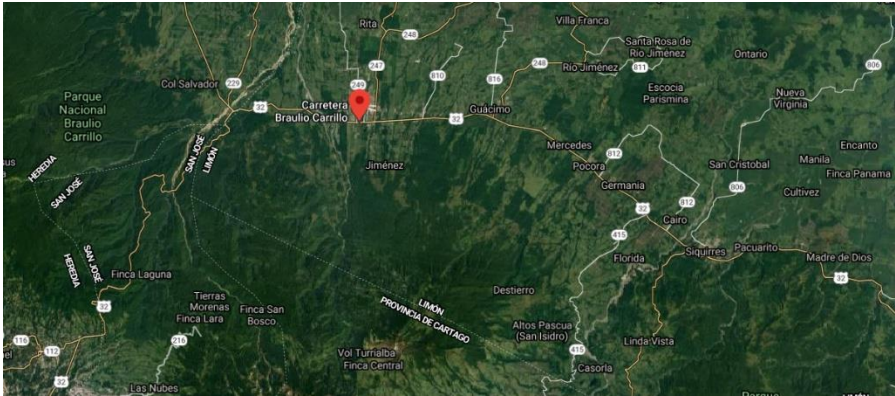
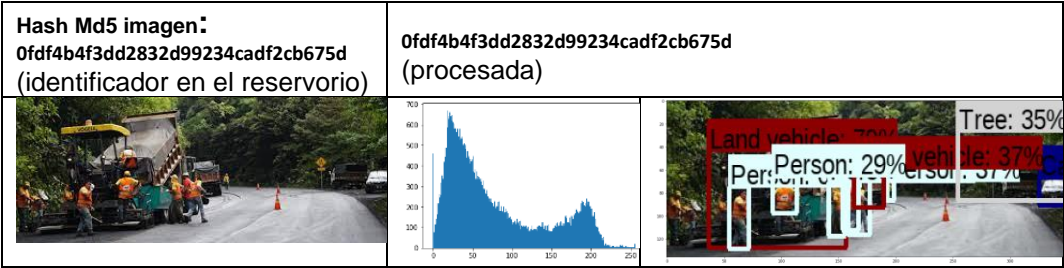
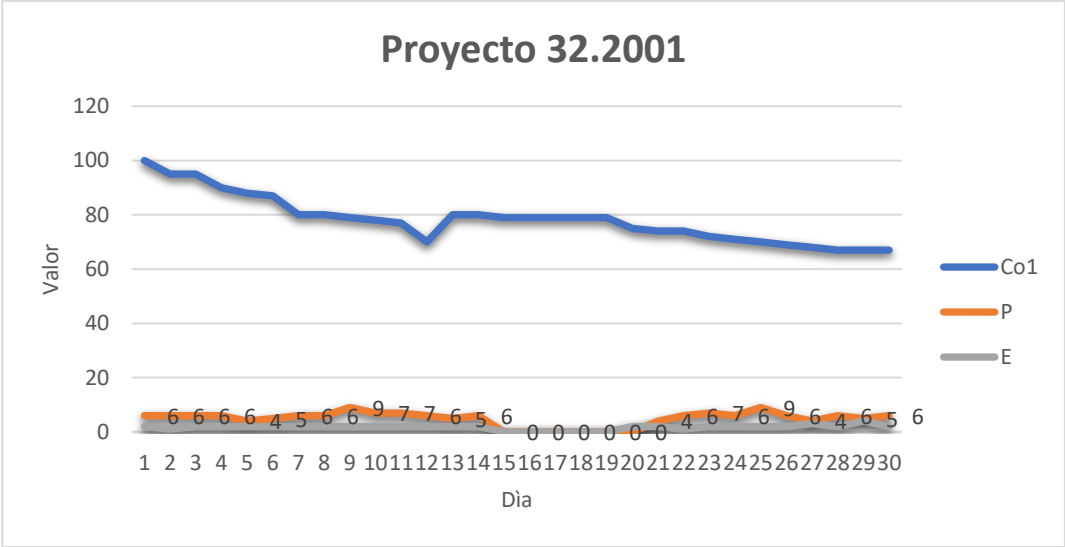


Imagen que generó los datos de la transacción:



La incorporación de los datos a una blockchain habilita la posibilidad del desarrollo de un ecosistema de actores público-privados, interesados en el monitoreo del desarrollo de infraestructura; instituciones públicas, inversores internacionales, medios de comunicación, ONGs y población en general. Sirviendo la información registrada en los metadatos de cada transacción, en una especie de plataforma para el desarrollo de aplicaciones y sistemas que transmitan en tiempo real el estado constructivo de cada proyecto de obra pública.

Por otra parte, la EFS tendría la posibilidad de generar un *dashboard* público por cada proyecto fiscalizado, con una visualización similar a la siguiente:



En este gráfico hipotético, se tendría una alerta de suspensión de obra con referencia a los datos registrados en la blockchain entre los días 15 al 20, puesto que esos días se mantiene invariable el coeficiente de correlación con respecto a la primera imagen de la misma obra (línea azul), además de caer a cero la detección de personas y equipo durante ese lapso, lo que sería un indicio de suspensión de trabajos por parte del responsable en ese período de tiempo.

3.c.4. Generación de alertas mediante contratos inteligentes (smart contracts)

El uso de la blockchain como elemento de esta red de fiscalización, permite la incorporación además de otro factor que potenciaría la labor de fiscalización, la posibilidad de utilizar *smart contracts* para generar alertas de posibles situaciones atípicas en los pagos a los contratistas encargados de cada obra pública.

Este ligamen entre el proceso de desarrollo de infraestructura pública y generación de pagos hacia los encargados de estas sería esencial para detectar casos de irregularidades; tanto para efectos de ubicar casos de pagos sobre proyectos de infraestructura que no han tenido avance, como el caso de obras que se han desarrollado sin tener pago alguno, lo cual constituye también un campo propicio para posibles situaciones de corrupción⁹.

Este vínculo entre avance de obra y pago se puede establecer por distintos caminos, sea tokenizando o incorporando en la misma blockchain los órdenes de pago¹⁰, o bien generando interfaces entre la blockchain con los sistemas de pago existentes¹¹ mediante el uso de oráculos. Ambas vías permitirían programar *smart contracts* que desplieguen alertas públicas cuando se detecta pagos anómalos sobre un proyecto, sea porque se están generando pagos sobre proyectos que no presentan indicios de avance o, por el contrario, que un proyecto ha tenido un avance considerable sin registrar pago alguno.

4. Conclusiones

Los principales retos para generar una red como la propuesta son fundamentalmente tres: En primer lugar, realizar algún tipo de inversión en la adquisición de cámaras que se puedan conectar con la red celular para transmitir las imágenes, sin embargo, el costo de estos equipos cada vez es menor e inclusive existe la posibilidad de construirlos con componentes de open hardware tales como *Arduino* o *Raspberry* para minimizar la inversión inicial. Como segundo aspecto, desarrollar la interfaz como nodo escritor de la blockchain, que permita a los algoritmos escribir los resultados de sus análisis como parte de una transacción en la blockchain. Por último, desarrollar las interfaces con sistemas de pago, para que mediante *smart contracts* se generen alertas ante pagos o no pagos irregulares.

Suplidos estos tres retos, el análisis propiamente de las imágenes es un proceso de implementación relativamente fácil. La anterior afirmación es posible porque el grado de madurez de las bibliotecas de procesamiento de

⁹ Al respecto ver https://es.wikipedia.org/wiki/Caso_Cochinilla

¹⁰ Sobre la tokenización de documentos presupuestarios se puede ver este [documento](#) y sobre registros de estos documento LACChain expone un caso de uso [aquí](#)

¹¹ Ver <https://medium.com/astec/or%C3%A1culos-conectando-los-smart-contracts-con-el-mundo-9bcfda4ebffb>

imágenes y de modelo de visión por computadora, es muy alto y permite el uso de estos componentes dentro de los procesos de fiscalización de forma rápida y a muy bajo costo.

Bibliografía

- Arabi, S., Haghighat, A., & Sharma, A. (n.d.). *A deep learning based solution for construction equipment detection: from development to deployment*.
- Dai, J., He, N., & Yu, H. (2019). Utilizing Blockchain and Smart Contracts to Enable Audit 4.0: From the Perspective of Accountability Audit of Air Pollution Control in China. *Journal of Emerging Technologies in Accounting*, 16(2).
<https://doi.org/10.2308/jeta-52482>
- Finlayson, G. D. (2018). Colour and illumination in computer vision. *Interface Focus*, 8(4).
<https://doi.org/10.1098/rsfs.2018.0008>
- Jin, P., Adu-Gyamfi Professor, Y., Buttlar Professor, W. G., & Barton Chair, G. (2018). *Pavement Image Datasets: A New Benchmark Dataset to Classify and Densify Pavement Distresses Hamed Majidifard, Corresponding Author*.
- Khan, S., Naseer, M., Hayat, M., Zamir, S. W., Khan, F. S., & Shah, M. (2021). *Transformers in Vision: A Survey*. <http://arxiv.org/abs/2101.01169>
- Liu, J.-J., Hou, Q., Cheng, M.-M., Wang, C., & Feng, J. (n.d.). *Improving Convolutional Networks with Self-Calibrated Convolutions*. <https://mmcheng.net/scconv/>
- Voulodimos, A., Doulamis, N., Doulamis, A., & Protopapadakis, E. (2018). Deep Learning for Computer Vision: A Brief Review. In *Computational Intelligence and Neuroscience* (Vol. 2018). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2018/7068349>
- Wirtz, B. W., Weyerer, J. C., & Schichtel, F. T. (2019). An integrative public IoT framework for smart government. *Government Information Quarterly*, 36(2), 333–345.
<https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.07.001>

ANEXOS

Referencia al código fuente de los ejemplos realizados en el estudio:

[Correlación histogramas y enmascaramiento](#)

[Modelos de inteligencia artificial para detección de recursos](#)

