



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

## RETOS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS EN LA ERA DIGITAL

# OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES

**Carolina Gil, Pablo Rodríguez, Jhonatan Torres, Rafael Velasco**

**Pontificia Universidad Javeriana  
Cali, Colombia**

### **Resumen**

Las inundaciones se presentan cuando los cauces de escorrentía superan la capacidad de retención e infiltración del suelo y/o capacidad de transporte de los canales. En Colombia se han presentado inundaciones con mayor frecuencia debido a sus condiciones climáticas e incremento del fenómeno de la niña, requiriendo la construcción de soluciones hidráulicas. Pero estas condiciones son muy comunes en diferentes países, y por medio del presente se analizarán y compararán las soluciones y proyectos colombianos, frente a los realizados globalmente, específicamente los de Holanda, México y Perú, para luego evaluar las soluciones existentes a los problemas presentados en el Valle del Cauca, concretamente en Palmira por el sector de La Dolores, donde se vive un problema con el Río Cauca que se encuentra en peligro de desbordamiento e inundación.

**Palabras clave:** inundaciones; infraestructura; Colombia

### **Abstract**

*Floods occur when the runoff channels exceed the capacity of retention and infiltration of soil and / or transport capacity of the channels. In Colombia, floods have occurred more frequently due to their climatic conditions and increased of "fenómeno de la niña", requiring the construction of hydraulic solutions. But these conditions are very common in different countries, and through this will be analyzed and compared Colombian solutions and projects, compared to those made globally, specifically those of Holland, Mexico and Peru, and then evaluate existing solutions to the problems presented in the Valle del Cauca, specifically in Palmira at sector of La Dolores, where there is a problem with the Cauca River that is in danger of overflow and flooding.*

**Keywords:** flooding; infrastructure; Colombia

## 1. Introducción

Las inundaciones son la acumulación temporal de agua fuera de los cauces y áreas de reserva hídrica de las redes de drenaje (naturales y construidas). Se presentan debido a que los cauces de escorrentía superan la capacidad de retención e infiltración del suelo y/o capacidad de transporte de los canales. Estas inundaciones han coexistido con el hombre desde épocas muy antiguas, generando condiciones adecuadas para el desarrollo de las civilizaciones enriqueciendo con nutrientes los suelos agrícolas y facilitando la movilidad de gran variedad de productos y personas mediante la navegación.

Colombia es un país con una diversidad climática determinada por su ubicación geográfica, ya que al estar en la zona tropical recibe mayores proporciones de energía que el sol le transfiere al planeta. Lo anterior se traduce en que el estado del tiempo en nuestro territorio está influenciado por varios fenómenos que establecen parámetros de lluvia en condición estacional e intraestacional, estas condiciones sumadas a factores como el cambio climático y el incremento del fenómeno de la niña han hecho se presenten inundaciones con mayor frecuencia. Por lo cual se puede afirmar que se requiere la construcción de soluciones que involucren el carácter social, económico, ambiental e hidráulico.

Esta situación es muy común en diferentes países, en todo el mundo son necesarias las construcciones que mitiguen el impacto de fenómenos causados por el agua. Gran parte de las causas son las acciones del hombre, pues estas no siempre son las más responsables, entre ellas se encuentra la contaminación, deforestación, consumismo y la minería ilegal. Con el fin de evitar pérdidas humanas y económicas, es necesario plantear propuestas de control de inundaciones según sean las causas y efectos de las mismas, por lo cual en el presente documento se analizarán y compararán las soluciones y proyectos colombianos, frente a los realizados en otros países.

Es claro que cada proyecto tendrá un enfoque diferente según sus necesidades y las dimensiones del problema, sin embargo, se pretende evaluar las características y amenazas con el fin de que tengan similitudes, para poder comparar y concluir de manera clara y precisa.

## 2. Caso 1: Holanda

En el mundo hay un sin fin de obras para el manejo de las aguas, pues como se dijo anteriormente, la interacción entre el hombre y el agua ha despertado un interés por utilizar y aprovechar este recurso al máximo. Este manejo no es solo para consumo, también para utilizar las tierras cercanas sin que se corra peligro de una inundación.

Uno de los países en donde están más avanzadas las obras de infraestructura para el control de inundaciones es Holanda, ya que al estar por debajo del nivel del mar tienen una lucha constante con este problema. Hay 2 obras y un plan que vale la pena resaltar. La primera obra es el dique Afsluitdijk, que cuenta con 32 kilómetros de largo y fue construido entre 1927 y 1933, el cual convirtió el mar de Zuiderzee en el Lago IJssel, de agua dulce. Esta obra se dividió en dos fases, la primera fase consistió en construir una presa para convertir el mar en lago, y la segunda fue el

drenaje de la zona para recuperar tierra. La segunda obra es la estación de bombeo a vapor de Wouda que se construyó en el año 1920 con el objetivo de bombear el agua fuera de Frisia. La razón de esta obra era que Frisia se inundaba durante el invierno, dando como solución una estación que bombea aproximadamente 4.000 metros cúbicos de agua por minuto o 6 millones de metros cúbicos al día. El plan que está en proceso de implementación y da soluciones a largo plazo de inundaciones se llama el Plan Delta, que está compuesto por 13 diques, siendo la barrera contra tormentas más grande del mundo. Dentro del Plan Delta, hay un dique llamado Oosterscheldekering, siendo único al contar con 8 kilómetros de largo que en 75 minutos puede cerrar el estuario del Oosterschelde. El dique está compuesto por 62 compuertas correderas, evitando que haya una inundación como la de 1953. Para conservar la salinidad del agua y la naturaleza marina, las compuertas suelen estar abiertas cuando hace buen tiempo, mostrando la importancia que tienen las personas que cultivan ostras y capturan langostas en esta zona, pues se les tuvo en cuenta.

Hace siete años en Colombia se publicó un artículo en el que se decía que Holanda es el consejero de Colombia para evitar inundaciones, pues es el país que mejor sabe prevenir y manejar las inundaciones, y desde hace más de 40 años han hecho recomendaciones que Colombia no tuvo en cuenta.

### **3. Caso 2: México**

Otro ejemplo muy claro es el de las inundaciones en el Valle de México, las cuales han estado presentes desde la época de los aztecas, ellos han desarrollado diferentes soluciones, las cuales no afectan el crecimiento ni el progreso de la población. A diferencia de Holanda, México no había generado como tal, medidas preventivas, sino por el contrario la mayoría de las obras que se habían implantado surgieron como medidas de reparación frente a las catástrofes presentadas.

A partir de los impactos generados en México por los diversos fenómenos naturales de intensidad inusual, en el año 2011 se propuso el "Manual Para el Control de Inundaciones", adoptando así estrategias en sus diferentes capítulos que involucran la recopilación de la información y análisis de los fenómenos naturales, la cual parte de la información geográfica, meteorológica e hidrológica, seguido a esto, se tienen los modelos hidráulicos, estos están compuesto por una serie de amplios estudios que definen de manera completa la meteorología, hidrología, potamología y el control de avenidas. Estos estudios, dan la posibilidad de generar una serie de propuestas y alternativas, las cuales se componen tanto de obras de infraestructura de gran nivel como lo son las construcción de presas aguas arriba, construcción de bordos marginales y perimetrales, rectificación de ríos, entre otras, y de obras que tienen que ver más con el mantenimiento, prevención en ríos y zonas de potencial riesgo, como lo son la del dragado y limpieza de cauces, sistemas de alertas tempranas, identificación y corrección de constricciones en el cauce, e incluso la reubicación de zonas habitadas. Lo anterior, se ve reflejado en la producción y creación de programas de seguridad que permiten alertar de manera temprana sobre una posible inundación, así como también, generar obras de infraestructura para el control de inundaciones.

#### 4. Caso 3: Perú

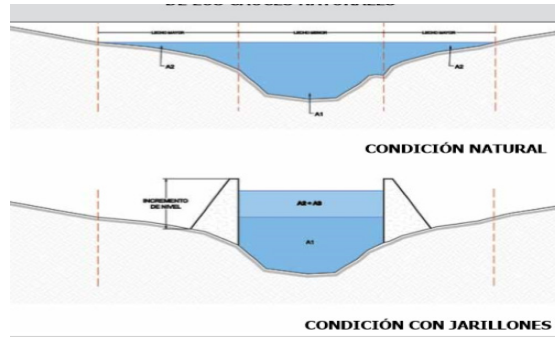
Otro ejemplo muy claro es el de las inundaciones en el Valle de México, las cuales han estado presentes desde la época de los aztecas, ellos han desarrollado diferentes soluciones, las cuales no afectan el crecimiento ni el progreso de la población. A diferencia de Holanda, México no había generado como tal, medidas preventivas, sino por el contrario la mayoría de las obras que se habían implantado surgieron como medidas de reparación frente a las catástrofes presentadas.

A partir de los impactos generados en México por los diversos fenómenos naturales de intensidad inusual, en el año 2011 se propuso el “Manual Para el Control de Inundaciones”, adoptando así estrategias en sus diferentes capítulos que involucran la recopilación de la información y análisis de los fenómenos naturales, la cual parte de la información geográfica, meteorológica e hidrológica, seguido a esto, se tienen los modelos hidráulicos, estos están compuesto por una serie de amplios estudios que definen de manera completa la meteorología, hidrología, potamología y el control de avenidas. Estos estudios, dan la posibilidad de generar una serie de propuestas y alternativas, las cuales se componen tanto de obras de infraestructura de gran nivel como lo son la construcción de presas aguas arriba, construcción de bordos marginales y perimetrales, rectificación de ríos, entre otras, y de obras que tienen que ver más con el mantenimiento, prevención en ríos y zonas de potencial riesgo, como lo son la del dragado y limpieza de cauces, sistemas de alertas tempranas, identificación y corrección de constricciones en el cauce, e incluso la reubicación de zonas habitadas. Lo anterior, se ve reflejado en la producción y creación de programas de seguridad que permiten alertar de manera temprana sobre una posible inundación, así como también, generar obras de infraestructura para el control de inundaciones.

#### 5. Caso 4: Colombia

Como se mencionó anteriormente, Colombia es un país que, como sus pares, México y Perú, cuenta con múltiples problemas a nivel social y económico por la existencia de constantes amenazas por inundaciones. Debido a la ola invernal que tuvo lugar entre el 2010 y el 2011, se crearon las “Recomendaciones de acciones que deben emprenderse para manejar y controlar a corto, mediano y largo plazo la vulnerabilidad de la infraestructura nacional frente al cambio climático”. Anterior a este desastroso invierno se tienen otros reportes históricos con sus respectivas recomendaciones que nunca fueron puestas en marcha, por lo cual el objetivo principal de este documento es establecer las acciones inmediatas, a mediano y largo plazo, por medio de un diagnóstico previo del problema. Un punto clave que se establece en este diagnóstico es que, al construir diques paralelos al curso de agua, ubicados dentro de los lechos mayores del cauce, se reduce la sección natural del flujo, lo cual se incrementa el nivel del río durante los períodos de caudales altos, esto es evidenciado en la imagen a continuación, Es claro que esta situación pone en riesgo las áreas encerradas por los diques, desencadenando en lugares vulnerables frente a estos fenómenos naturales. Por lo cual es necesario realizar la planificación del uso del suelo y del agua, establecer criterios de diseño de infraestructuras de desarrollo que permitan mayor protección a la comunidad y por supuesto la implementación de las acciones recomendadas. Además de regirse por el Código de Construcción y Reforzamiento de Diques, ya que para construcciones pasadas no se realizaban

diseños precisos y ni hablar de los materiales y procedimientos realizados, generando infraestructuras que al fin y al cabo no eran del todo la mejor solución al problema.



**Figura 1.** Diagrama comparativo entre una condición natural de un cauce y un cauce limitado por la construcción de diques. Tomado de "Recomendaciones de acciones que deben emprenderse para manejar y controlar a corto, mediano y largo plazo la vulnerabilidad de la infraestructura nacional frente al cambio climático".

Un factor muy importante a tener en cuenta en el desarrollo de las acciones a mediano y largo plazo son las proyecciones regionales de caudales y niveles máximos con los cuales se realizará el diseño de las diferentes obras. Estas proyecciones debido al aumento de intensidad y de recurrencia de las precipitaciones serán a futuro cada vez mayores, por lo cual, si no se realiza una correcta estimación, las infraestructuras serán subestimadas.

Debido a estas inundaciones del año 2010, en Colombia se creó además El fondo de adaptación, el cual es una entidad adscrita al ministerio de Hacienda y Crédito público del Gobierno Colombiano, esta fue inicialmente pensada para atender la construcción, reconstrucción, recuperación y reactivación económica y social de las zonas afectadas por los eventos derivados del fenómeno de La Niña. Esta entidad contempla entre sus macroproyectos en Colombia, la realización de tres grandes obras de infraestructura para el control de inundaciones, los cuales son el canal del Dique, con el cual se disminuye el riesgo de inundación en 10 centros poblados en el departamento del Bolívar, este proyecto consiste en la definición y ejecución de un Plan de Manejo Hidro-Sedimentológico para la restauración de los ecosistemas degradados del Canal del Dique. Otra gran obra que se adelanta en el país es en el sector de La Mojana, donde a través del tiempo se han presentado grandes inundaciones, pues es uno de los deltas hídricos más complejos del mundo ya que recoge las afluencias de tres de los ríos más importantes del país como son el río Cauca, San Jorge y Magdalena (Brazo de Loba). Esta región comprende 11 municipios que hacen parte de 4 departamentos, este proyecto tiene como objetivo desarrollar acciones que conduzcan a una mejor adaptación de sus habitantes a las condiciones ambientales e hidro-meteorológicas, así como a las características sociales y económicas de la región.

Por último, se tiene el proyecto del Jarillón del Río Cauca, el cual está construido hace más de 50 años, esta estructura cuenta con cerca de 17 km de longitud, sin embargo, en la actualidad se encuentra debilitado debido a la ocupación de asentamientos sobre él, la constante deposición de escombros y acciones de la naturaleza como las raíces de árboles y los caminos de hormigas arrieras que generan filtraciones. Si este jarillón llegará a romperse, Cali (tercera ciudad más importante del país) estaría en un alto riesgo de inundación. Este "Plan Jarillón del Río Cauca"

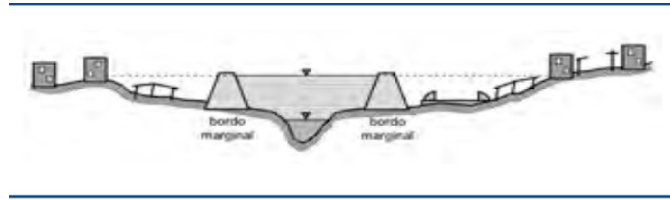
contempla la reubicación de más de 7000 familias, el reforzamiento y reconstrucción de más de 26 kms de jarillón, el reforzamiento de plantas de agua potable y residual, el reforzamiento de estación de bombeo paso del comercio y la recuperación hidráulica del sistema de drenaje del oriente de Cali, lo cual dará como resultado la protección de la ciudad por el riesgo de inundación.

En el caso local, en el departamento del Valle del Cauca, más específicamente en Palmira por el sector de La Dolores, se vive un problema con el Río Cauca que se encuentra en peligro de desbordamiento e inundación. Además del río Cauca, el corregimiento de la Dolores se encuentra rodeado por el río Frayle, aumentando el riesgo de inundación en dicho lugar. Este río ha tenido antecedentes recientes de inundación por el rompimiento de su dique, pues debido a las fuertes lluvias, a finales del año 2010 se presentó una inundación que puso en riesgo a más de 1300 personas y 132 empresas que se encuentran en este corregimiento. Sumado a esto, La Dolores no cuenta con un sistema de alcantarillado, lo cual aumenta en gran proporción el riesgo de presentarse un desastre a causa de la naturaleza. Por lo anterior, la Corporación del Valle del Cauca, CVC, ha denominado el corregimiento de la Dolores como zona inundable del Río Cauca, decretando esta área industrial como una de riesgo no mitigable.

## **6. La ingeniería civil frente a las inundaciones**

Teniendo en cuenta los diferentes problemas a nivel local e internacional, los cuales fueron mencionados anteriormente, la ingeniería civil, propone una serie de soluciones o alternativas para evitar los fuertes impactos que son producidos por parte de las inundaciones. Estas alternativas contemplan el desarrollo de proyectos ingenieriles de gran nivel, los más importantes se mencionarán a continuación.

El programa de rectificación de cauces cumple con el objetivo central de disminuir los riesgos por inundaciones, evitando así pérdidas materiales y humanas. Para empezar, se debe realizar el cálculo del periodo de retorno, en este se debe contemplar la relación entre el valor esperado de daños causados y las inversiones correspondientes, obteniendo la máxima relación de beneficio contra costo, el cual debe enfrentar la incertidumbre que los fenómenos naturales generan. Esta solución facilita la relación entre los problemas de drenaje y el crecimiento urbano, la expansión de las zonas de producción, entre otras. Es fundamental antes de realizar una inversión de este tipo planificar e identificar las zonas de riesgo, cuantificar los servicios públicos prioritarios, identificar las vías de comunicación en caso de algún siniestro, seleccionar los sitios prioritarios a escoger, entre otras. Se conoce que el río con el paso del tiempo buscará su condición original, por lo cual erosionará las estructuras impuestas en busca de crear nuevos meandros. Dentro de estas estructuras se encuentran los espigones, los recubrimientos o muros marginales, diques marginales. En países latinoamericanos como México y Colombia, la construcción de bordos marginales a lo largo del río y paralelos a la margen del cauce es una solución llamativa, pues requiere relativamente una baja inversión debido a que usualmente es construida a partir de materiales térreos locales.



**Figura 2.** Cauce con Bordos marginales de dos caudales distintos

Como se muestra anteriormente, los bordos marginales permiten al cauce tener un mayor caudal sin la ocupación de lo que se denomina llanura de inundación, la cual suele estar ocupada ya sea por construcciones o por agricultura. Sin embargo, Los bordos de materiales térreos tienden a presentar fuertes problemas de mantenimiento, debido a la tendencia de matorrales a crecer enraizándose en ellos, lo que facilita problemas de debilitamiento del bordo.

Por otro lado, se tiene una de las medidas más tradicionales en el control de inundaciones, la cual corresponde a la construcción de presas aguas arriba. Evidentemente, es una medida estructural, ésta, además, es una de las pocas medidas que de hecho se orienta a reducir el peligro. Esto se debe a que, en principio, aun cuando el volumen total que fluyera sobre el río fuera exactamente igual al de la avenida original, la presa tiene el efecto de reducir el caudal pico alargando el tiempo en el que la avenida pasa por el sitio en estudio. Pero en la mayor parte de las condiciones iniciales de la presa, el volumen mismo de la avenida se verá reducido pues una parte de ella (o toda) queda almacenada en la presa. Sin embargo, esta medida requiere de un óptimo diseño, pues si se presentarían fallas en dicha estructura, se podría producir una tragedia aún mayor.

La realización de obras civiles no es la única opción a la hora de enfrentar problemas de inundaciones, pues como se sabe, el cauce de un río no es un ente estático que permanece invariante en el tiempo. Por el contrario, éste se ve afectado por erosiones y sedimentos a lo largo de los tramos tanto en el fondo como en sus márgenes, es por esto que en ocasiones es necesario el dragado y la limpieza de los cauces. En realidad, no se trata de una medida estructural, aunque típicamente se realiza con equipos humanos y de maquinaria similares a los que se utilizarían para obras civiles. El dragado y limpieza de los cauces suele ser una medida de un costo considerablemente alto, pues requiere constante mantenimiento y se requieren tramos largos para tener un producto o solución útil.

Por otro lado, se pueden realizar construcciones que no protejan directamente el cauce del río, sino que se tengan alrededor de poblaciones o zonas determinadas, con el fin de aislar y proteger de posibles inundaciones dichas zonas. Dentro de este tipo de soluciones, se destaca la construcción de bordos perimetrales. Estos bordos, tienden a contar con menores longitudes, pero al mismo tiempo es una medida que limita el área protegida de la población, imposibilitando el crecimiento de la misma.

Un ejemplo muy común de la zona costera del pacífico colombiano es el diseño de las construcciones resistentes a inundación. Es claro que estas comunidades se ven afectadas al cambio de la marea durante varias veces al día y al tiempo están vulnerables a los fenómenos naturales que alteran el tirante y la velocidad de flujo. Es por esto que la gran parte de las viviendas de la

zona son palafíticas, en las cuales el primer nivel útil de la edificación la realizan por encima del nivel de inundación.

La implementación de tecnologías en diferentes partes del mundo, en especial en México, ha sido de gran utilidad para sus comunidades, pues permiten una detección temprana de la amenaza y logra mitigar las consecuencias del fenómeno. Algunos de los sistemas de alerta se basan en redes de pluviómetros y sensores de nivel, con los cuales en la parte alta de la cuenca se realizan las mediciones y se realiza el cálculo y análisis de los resultados, obteniendo así un tiempo adicional para alertar a la comunidad.

Para el proyecto de la Mojana una alternativa de mediano plazo es sembrar árboles que estén adaptados a inundaciones periódicas, bosques caducifolios, esta especie está diseñada para tener todo el tiempo agua, siendo de gran productividad pues todo el tiempo cuentan con este factor. Esta estrategia es de gran ayuda, pues estos ayudan a retener materiales en suspensión, drenando las aguas y controlando la erosión. Además, brindan beneficios que no sólo ayudan a controlar las inundaciones, sino que también retienen pesticidas, fertilizantes, entre otras, protegiendo aguas abajo la biodiversidad de la vida silvestre.

Aunque es claro que una inundación a una comunidad deja múltiples pérdidas materiales y humanas, los efectos de estas inundaciones no son siempre negativas. Estos eventos brindan un equilibrio al ecosistema, pues renuevan la humedad al suelo, brindan nutrientes al suelo, recarga los acuíferos, permite la migración de varias especies, entre otros beneficios. Es por esto que las decisiones a tomar debido a la corrección de las inundaciones deben tener en cuenta todos los posibles factores que la situación abarca.

## **7. Conclusiones**

Comparando las soluciones de Holanda, Perú y México, con otras obras ya propuestas en Colombia y las medidas tomadas después de las inundaciones del 2010, se puede afirmar que ha faltado estar más presente y se ha dado mucha espera al proyecto del jarillón del Río Cauca, puesto que este es supremamente importante para evitar una inundación no solo en La Dolores, sino también en Cali, tercera ciudad más importante del país. Por más que Colombia haya tomado medidas correctivas, aún se está a tiempo de lograr proyectos preventivos en el sector de la Dolores específicamente, pues es una zona muy importante para Palmira y Cali ya que es en su mayoría industrial y una gran cantidad de fábricas están en peligro de pérdida total a futuro, sin mencionar que en este momento su valor comercial es de 0 pesos al ser esta zona declarada zona de riesgo no mitigable. Es de vital importancia que se utilicen todos los conocimientos adquiridos en obras anteriores en el país y se realice un minucioso seguimiento del proceso constructivo para evitar catástrofes que generen pérdidas económicas y humanas, como se está viviendo en Hidroitungo (Construcción de manejos de aguas), o en el puente de Chirajara. No se puede perder el buen nombre ingenieril por errores que se pudieron haber evitado a tiempo.



## 8. Referencias

- Ministerio de Hacienda. (2013). Fondo Adaptación. Obtenido de <http://sitio.fondoadaptacion.gov.co/index.php/programas-y-proyectos/macroyproyectos>
- Comisión Nacional de Aguas, México. (2011). Manual para el control de inundaciones. México, D.F.
- Ministerio de Economía y Finanzas de Perú. (2013). Protección frente a inundaciones, Guía simplificada para PIP de servicios de protección frente a inundaciones. Lima.
- Urquijo Merchán C., Vargas Gámez M. (2013). Caracterización territorial y de inundaciones en la región de La Mojana. Bogotá D.C.
- Cámara Colombiana de la Infraestructura. (2011). Recomendación de acciones que deben emprenderse para manejar y controlar a corto, mediano y largo plazo la vulnerabilidad de la infraestructura nacional frente al cambio climático. Bogotá D.C.
- Velandia, J. C. (2014). La gestión del riesgo de desastres en las inundaciones de Colombia: Una mirada crítica. Bogotá D.C.
- Alcaldía de Palmira. (2012). Prevención y Gestión de Riesgo. Palmira.

## Sobre los autores

- **Carolina Gil:** Estudiante de Ingeniería civil. Perteneciente al Semillero de Gestión de Obras a cargo de la profesora María Fernanda Serrano
- **Pablo Rodríguez:** Estudiante de Ingeniería civil. Perteneciente al Semillero de Gestión de Obras a cargo de la profesora María Fernanda Serrano
- **Jhonatan Torres:** Estudiante de Ingeniería civil. Perteneciente al Semillero de Gestión de Obras a cargo de la profesora María Fernanda Serrano [jhonatanriascos@javerianacali.edu.co](mailto:jhonatanriascos@javerianacali.edu.co)
- **Rafael Velasco:** Estudiante de Ingeniería civil. Perteneciente al Semillero de Gestión de Obras a cargo de la profesora María Fernanda Serrano

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)