

**MATERIALES DESCONTAMINANTES PARA LA PURIFICACIÓN DEL AIRE EN  
EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN**

**Simón Hurtado Lema**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**MEDELLÍN**

**2020**



**MATERIALES DESCONTAMINANTES PARA LA PURIFICACIÓN DEL AIRE EN  
EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN**

**Simón Hurtado Lema**

**Trabajo de grado para optar al título de arquitecto**

**Asesor:**

**Luis Felipe Lalinde Castrillón**

**Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA**

**MEDELLÍN**

**2020**

## **Agradecimientos**

Al profesor Luis Felipe Lalinde que permitió y facilitó el desarrollo y los alcances necesarios para lograr los alcances de este proyecto de investigación.

A los profesionales Andrés Eusse y Luis Duarte de la micro-red que nos brindó información necesaria durante un momento de la investigación.

A la plataforma MATERFAD Medellín que por su base de datos permitió la evolución significativa de uno de los objetivos del proyecto.

Y a todas aquellas personas que hayan aportado durante la realización de este proyecto de investigación.

## Declaración de originalidad

**15/05/2020**

**Simón Hurtado Lema**

“Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en ésta o en cualquiera otra universidad”. Art. 92, parágrafo, Régimen Estudiantil de Formación Avanzada

Simón Hurtado L.

## RESUMEN

Tras identificar datos como que el 26.2% del CO<sub>2</sub> producido en el mundo (esta cifra es del año 2014 en un estudio realizado por el banco mundial) es emitido por la industria de la construcción y los edificios residenciales, surgen tres preguntas de investigación evolutivas, que nos permiten identificar tres variables principales para abordar durante la investigación, la primera de ellas es la contaminación ambiental dirigida a la contaminación del aire, la segunda, los filtros ambientales, que nos permite realizar la investigación permitiente para la búsqueda de estos materiales y por último los aditivos del concreto que sean los agentes activos que permitan una fijación del agente contaminante, a partir de estos surgen dos objetivos y líneas de investigación para realizar este trabajo, la primera de ellas es encontrar distintos materiales constructivos que en su composición tengan filtros ambientales que fijen agentes contaminantes, que permitan descontaminar el aire, para esto se utilizaron plataformas como el Materfad que nos permitieron realizar un inventario de estos materiales, además de identificar estos materiales y emplearlos para un proyecto arquitectónico, para identificarlo como un nodo descontaminante en su entorno inmediato y como segundo objetivo fue el desarrollo de probetas en mortero que permitieron identificar alcances de este material, algunos aditivos evaluados y considerar los beneficios de materiales descontaminantes para la descontaminación ambiental.

Palabras clave: Materiales descontaminantes, fijación, agentes contaminantes, contaminación del aire, filtros ambientales

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. MARCO INTRODUCTORIO.....	11
1.1. Descripción del problema.....	11
1.2. Antecedentes.....	11
1.3. Elementos o Variables.....	13
1.4. Delimitación.....	15
1.5. Formulación del problema.....	15
1.6. Objetivo General.....	16
1.7. Objetivos específicos.....	16
1.8. Justificación.....	17
1.9. DISEÑO METODOLÓGICO.....	18
2. MARCO CONTEXTUAL.....	19
3. MARCO CONCEPTUAL.....	20
4. MARCO TEÓRICO.....	22
5. MARCO PRÁCTICO.....	23
5.2 Comparación Anova Potencia.....	56
5.2 Comparación Anova Energía.....	56
6. CONCLUSIONES.....	66
7. RECOMENDACIONES.....	67
8. BIBLIOGRAFIA.....	68

## Listado de tablas

- Tabla 1. Variables, Elaboración propia Pag 19
- Tabla 2. Corte 18 de abril del 2020, Elaboración propia Pag 26
- Tabla 3. Síntesis Corte 18 de abril del 2020, elaboración propia Pag 28
- Tabla 4. Corte 30 de abril del 2020, elaboración propia Pag 29
- Tabla 5. Síntesis Corte 30 de abril del 2020. Elaboración propia Pag 30
- Tabla 6. Corte 8 de mayo del 2020. Elaboración propia Pag 31
- Tabla 7. Síntesis Corte 8 de mayo del 2020. Elaboración propia Pag 32
- Tabla 8. Conclusión Probeta sin aditivo dosificación 1:3 Elaboración propia Pag 33
- Tabla 9. Conclusión Probeta con cascarilla de arroz dosificación 1:2 Elaboración propia Pag 34
- Tabla 10. Conclusión Probeta con cascarilla de arroz dosificación 1:3 Elaboración propia Pag 34
- Tabla 11. Conclusión Probeta sin aditivo dosificación 1:3 Elaboración propia Pag 35
- Tabla 12. Resultados materiales ficha técnica Elaboración propia. Pag 52
- Tabla 13. Potencia paneles solares, Eusse, A, Duarte, L. Pag 56
- Tabla 14. Energía paneles solares, Eusse, A, Duarte, L. Pag 56

## Listado de figuras

Imagen 1. Variable, elaboración propia Pag 13

Imagen 2. Conceptos, elaboración propia Pag 15

Imagen 3. Puentes, A. (2019) Empeora el aire, 17 de las 20 estaciones del Siata en rojo [Foto]. Recuperado de: <https://www.elcolombiano.com/antioquia/calidad-del-aire-estaciones-de-monitoreo-del-siata-estan-en-rojo-KK10387629>, en la investigación Pag. 17

Imagen 4. Redacción digital BLU Radio (2020) En rojo: no mejora la calidad del aire en Medellín y el Valle de Aburrá [Foto] Recuperado de: [https://www.bluradio.com/medio-ambiente/en-rojo-no-mejora-la-calidad-del-aire-en-medellin-y-el-valle-de-aburra-antq-245165-ie7878845?utm\\_source=bluradio.com&utm\\_medium=referral&utm\\_campaign=enlazado-contenidos](https://www.bluradio.com/medio-ambiente/en-rojo-no-mejora-la-calidad-del-aire-en-medellin-y-el-valle-de-aburra-antq-245165-ie7878845?utm_source=bluradio.com&utm_medium=referral&utm_campaign=enlazado-contenidos), en la investigación Pag. 17

Imagen 5. Datos previos, elaboración propia Pag 18

Imagen 6. Nunes, V. (2017) Carbonatación en hormigón con áridos reciclados de construcción y demolición: Revisión sistemática [Foto] Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/326816613\\_Carbonatacao\\_em\\_concretos\\_com\\_agregados\\_reciclados\\_de\\_construcao\\_e\\_demolicao\\_Revisao\\_Sistematica](https://www.researchgate.net/publication/326816613_Carbonatacao_em_concretos_com_agregados_reciclados_de_construcao_e_demolicao_Revisao_Sistematica), en la investigación Pag. 21

Imagen 7. Probetas sin adición, 7 meses de envejecimiento Pag 23

Imagen 8. Probetas con adición de limadura de madera, 7 meses de envejecimiento Pag 24

Imagen 9. Probetas sin adición, 3 meses de envejecimiento Pag 24

Imagen 10. Probetas sin adición, 3 meses de envejecimiento Pag 25

Imagen 11. Material Noxer, elaboración propia Pag 36

Imagen 12. Empresa de desarrollo Urbano de Medellín. (23 de abril de 2019) El Centro de Medellín tiene nuevos espacios para recorrer y disfrutar [Foto] Recuperado de: <http://www.edu.gov.co/noticias/item/80-el-centro-de-medellin-tiene-nuevos-espacios-para-recorrer-y-disfrutar>. En la investigación Pag 37

Imagen 13. Mercado, D, A. (02 de diciembre de 2019) Así luce Parques del Río, la megaobra paisa que ya fue inaugurada [Foto] Recuperado de:

<https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/asi-luce-parques-del-rio-la-megaobra-paisa-que-ya-fue-inaugurada-439224>. En la investigación Pag 37

Imagen 14. Material Ecogranic, elaboración propia Pag 38

Imagen 15. Material Geosilex, elaboración propia Pag 39

Imagen 16. Material I Activo COAT H35 – S 70, elaboración propia Pag 40

Imagen 17. Material Connecta, elaboración propia Pag 41

Imagen 18. Material Air Clean, elaboración propia Pag 42

Imagen 19. Material NOx - Activ, elaboración propia Pag 43

Imagen 20. Material NOx OFF, elaboración propia Pag 44

Imagen 21. Material FNNANO FN1, elaboración propia Pag 45

Imagen 22. Material Bionictile, elaboración propia Pag 46

Imagen 23. Material UGP-KLIMCO, elaboración propia Pag 47

Imagen 24. Photocat, Material Photocat Garden [Foto] Recuperado de: <http://photocat.net/wp/products/photocat-garden/> En la investigación Pag 48

Imagen 25. Asociación Ibérica de Fotocatalisis, [Foto] material ProClean – Air. Recuperado de: <http://www.fotocatalisis.org/procleanair.html> En la investigación Pag 49

Imagen 26. Asociación Ibérica de Fotocatalisis, [Foto] Alcances material ProClean – Air. Recuperado de: <http://www.fotocatalisis.org/procleanair.html> En la investigación Pag 49

Imagen 27 Actifloor, material Actifloor – Pure Genius [Foto] Recuperado de: <https://www.actifloor.at/produktvarianten/actifloor-produkte-varianten-top-2/> En la investigación Pag 50

Imagen 28, 29 Elaboración propia (2020) Paneles solares [Foto] En la investigación Pag 54

Imagen 30, 31 ,32, 33 Elaboración propia (2020) Paneles solares [Foto] En la investigación Pag 55

Imagen 34. Mundo de hormigón (2018) Iglesia de Jubileo de Roma [Foto] Recuperado de: [https://twitter.com/mundo\\_hormigon/status/1062375320689565696](https://twitter.com/mundo_hormigon/status/1062375320689565696) Pag 57

Imagen 35. Valencia, R (2019) Biourban [Foto] Recuperado de: <https://asnews.mx/noticias/biourban-mejorando-la-calidad-del-aire> En la investigación Pag 58

Imagen 36. Manzana de las artes escénicas, elaboración propia Pag 59

Imagen 37. Sección 1 Manzana de las artes escénicas, elaboración propia Pag 59

Imagen 38. Sección 2 Manzana de las artes escénicas, elaboración propia Pag 59

Imagen 39. Ecogranic en la Manzana de las artes escénicas, elaboración propia. Pag 60

Imagen 40. NOx – OFF en la Manzana de las artes escénicas, elaboración propia. Pag 60

Imagen 41. NOx Active en la Manzana de las artes escénicas, elaboración propia Pag 61

Imagen 42. FNNANO FN1. Manzana de las artes escénicas, elaboración propia Pag 61

Imagen 43. ProClean – Air en la Manzana de las artes escénicas, elaboración propia Pag 62

Imagen 44. GeoSilex en la Manzana de las artes escénicas, elaboración propia Pag 62

Imagen 45. UGP-KLIMCO en la Manzana de las artes escénicas, elaboración propia Pag 63

Imagen 46. Pureti en la Manzana de las artes escénicas, elaboración propia Pag 63

Imagen 47. Total material fijado en la Manzana de las artes escénicas, elaboración propia Pag 64

Imagen 48, Planta Manzana de las artes escénicas elaboración propia Pag 65

## **1. MARCO INTRODUCTORIO**

Se encuentra la necesidad de realizar una reflexión sobre el posible uso de filtros ambientales y la implementación de estos en materiales constructivos y a su vez el desarrollo de un material constructivo descontaminante que permita la fijación de los agentes contaminantes presentes en el ambiente, para ello se va a realizar una base de datos con materiales descontaminantes que puedan ser utilizados como referencia para el desarrollo del nuevo material que a partir de un proceso realizado en laboratorio, se sometan distintas probetas a prueba y que a través de un proceso de valoración indirecto que registra un cambio visual (físico – químico) se evidencie la fijación de CO<sub>2</sub> del nuevo material.

### **1.1. Descripción del problema**

Este proyecto surge debido a la problemática ambiental en la ciudad de Medellín generada por la contaminación atmosférica y para atender esta problemática, se plantean soluciones a largo plazo, que no muestran mejorías en los indicadores ambientales como los presentados por el IDEAM. En el presente estudio, se cuestiona la poca acción del sector constructivo que aporte soluciones suficientes a este problema

### **1.2. Antecedentes**

A continuación, los estudios relacionados con la problemática planteada, ya sea porque se están desarrollando actualmente en la ciudad, son ejemplos para seguir, sirven de aproximación a la problemática o a las posibles soluciones, específicamente en el área de los materiales que pueden servir como filtros ambientales.

*Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales de la Universidad de la Habana, Cuba. Miguel A. Autie Pérez, Alien Blanco Flores, Giselle Autie Castro y Serafín Ricardo Páez (1)*

Su investigación se desarrolló mediante uso de carbones activados a partir de tallos de anamú que demostraron que la capacidad de adsorción del carbón activado químicamente con 0,50 de ácido fosfórico fue superior.

*Instituto de Materiales y Reactivos de la Universidad de la Habana, Cuba  
Miguel A. Autie Pérez, Mercedes Fernández García y Marisol Carrera Glacial (2)*

En esta se realizó una investigación sobre la adsorción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en un carbonizado de cascara de coco en la que los resultados mostraron mayores valores de adsorción de NH<sub>3</sub> (Amoníaco) y CO<sub>2</sub> (Dióxido de carbono).

*Centro de Investigación en Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche, México. Emilio Chávez-Ulloa, Tezozomoc Pérez López, Javier Reyes Trujeque, Francisco Corvo Pérez y José B. Osorno Carrillo (3)*

Se evidenció la carbonatación del concreto en una atmósfera natural comparándola con los resultados de una cámara de carbonatación acelerada donde nos evidencia que el CO<sub>2</sub> en un ambiente natural se disuelve al interior del sistema de poros del concreto, este estudio nos presenta una de las preguntas de este proyecto, ¿Entre más poroso el concreto habrá mayor adsorción de CO<sub>2</sub>? A su vez esta investigación dejó como resultados la notoria influencia de la cantidad de cemento con respecto al agua en la fabricación de mezclas, la investigación realizada en la cámara de carbonatación acelerada muestra el deterioro del concreto por la exposición constante de CO<sub>2</sub> en menor tiempo.

*Facultad de arquitectura de la Universidad de Belgrado, Serbia  
Katarina T. DJORDJEVIC, Olja D. JOKSIMOVIC y Milica Dj. JOVANOVIC-  
POPOVIC (4)*

En esta investigación se identifica el consumo de energía y la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> tras la renovación de techos de edificios residenciales existentes, en un caso de estudio presentado en Serbia, más específicamente el municipio de New Belgrade, la investigación presenta a los techos verdes como una opción deseable para actualizar los techos pues esto presentan efectos positivos en los edificios y su entorno cercano, donde presentó una reducción en la emisión de CO<sub>2</sub>.

*Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Malasia. Samsun Nahar, M. F. M. Zain, Abdul Amir H. Kadhum, Hassimi Abu Hasan y Md. Riad Hasan (5)*

En una revisión realizada por la Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) en Malasia dirigida por los investigadores donde presentan los avances de una investigación sobre la reducción fotocatalítica de  $\text{CO}_2$  con agua, en este se evidencia una reducción de  $\text{CO}_2$  con  $\text{H}_2\text{O}$  utilizando la luz solar esta es una forma innovadora de resolver los crecientes desafíos ambientales actuales este artículo revisa los principios básicos de la fotocatalisis y la reducción fotocatalítica de  $\text{CO}_2$ .

### 1.3. Elementos o Variables

La manera de relacionar las variables nace de la contaminación ambiental, que a partir de esta se buscan crear materiales descontaminantes (Filtros ambientales) que, gracias al uso de aditivos en el concreto, como los materiales de cambio de fase, se presenta una fijación del material particulado ( $\text{CH}_4$  - Metano,  $\text{CO}$  - Monóxido de carbono,  $\text{CO}_2$  - Dióxido de carbono,  $\text{NO}$  - Monóxido de nitrógeno,  $\text{NO}_2$  - Dióxido de nitrógeno,  $\text{HNO}_3$  - Ácido nítrico,  $\text{SO}_2$  - Dióxido de azufre) permitiendo la generación de impactos positivos. A continuación, se describen las variables

## VARIABLES



Imagen 1. Variables (Elaboración propia)

1.3.1. Contaminación ambiental: Es la presencia de agentes nocivos para el medio ambiente y que sean perjudiciales para los seres vivos, esta variable va dirigido al material particulado que se encuentra en el aire (6).

1.3.1.1. Material particulado: Es una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire (7). A pesar de que se encuentre varios tipos de contaminantes esta investigación busca resolver a partir de que un material sirva como filtro ambiental y que presente y evidencie una fijación de un agente contaminante.

1.3.1.2. Compuestos Orgánicos Volátiles (COV – VOC): son contaminantes del aire y cuando se mezclan con óxidos de nitrógeno (8), reaccionan para formar ozono. La saturación de Ozono tiene repercusiones sobre el medio ambiente, es por eso que algunos materiales comerciales expuestos en esta investigación fijan estos elementos contaminantes

1.3.2. Filtros ambientales: Los filtros ambientales actualmente encontrados se ven dirigidos a estrategias activas como la descontaminación del aire en espacios cerrados por los aires acondicionado esto a partir de unos filtros que permiten la limpieza del aire al interior del espacio.

1.3.3. Aditivos del concreto: ingredientes del concreto integrados a la mezcla durante el mezclado o el fraguado del concreto, estos aditivos pueden ser aditivos activos que cumplan la función para la que están destinados y a su vez sirvan como filtros ambientales, convirtiendo al material es un material descontaminante.

1.3.3.1 Materiales de cambio de fase: Son aquellos materiales con un alto calor latente que reducen las oscilaciones térmicas en el ambiente interior y de forma pasiva, desde esta investigación se busca utilizar este tipo de materiales que integren un filtro ambiental como en materiales para grandes superficies urbanas, recubrimientos en proyectos arquitectónicos de la ciudad.

1.3.3.2. Residuos agroindustriales: Son aquellos residuos orgánicos, que permiten la transformación o reusar el mismo, generalmente se utiliza como energías renovables

A partir de estas variables surgen unos conceptos base que proporcionan datos para el desarrollo del nuevo material y el objetivo del proyecto que permita que los materiales convencionales fijen material particulado



Imagen 2. Conceptos (Elaboración propia)

#### 1.4. Delimitación

Este proyecto de investigación se presenta como requisito de grado durante el año 2019 y el primer semestre del 2020. El objeto fundamental del trabajo es hacer frente a una problemática ambiental actual por contaminación de material particulado, identificando alternativas de solución y se incluye una etapa experimental en la que se espera avanzar en el desarrollo de un material activo que permita la fijación de agentes nocivos que se encuentren en el aire. En el primer semestre se definirá el objetivo y lo que se espera como resultado, también se definirá la necesidad de hacer pruebas de laboratorio mediante unas probetas de nuevos concretos para evaluar su comportamiento como filtro ambiental, para el segundo semestre del 2019 se busca iniciar con la monografía a partir de la búsqueda de materiales que fijen los agentes contaminantes como referentes para la realización del nuevo material y para el primer semestre del 2020 se debe entregar la monografía presentando los alcances realizados por la investigación dejando como resultado el nuevo material o el análisis de las probetas realizadas.

#### 1.5. Formulación del problema

El proyecto va dirigido a los materiales descontaminantes, como una de las variables principales y partir de esta surgen tres preguntas evolutivas para darle respuesta a los objetivos del proyecto:

- ¿Existen materiales descontaminantes o materiales que puedan ser considerados filtros ambientales en el medio?

- ¿Qué aditivo se pueden agregar a un concreto o mortero convencional para lograr que fijen material particulado, para convertirlo en un filtro ambiental?
- ¿Qué cantidad de material particulado puede ser fijado por un elemento constructivo y que tipo de material puede fijar estos agentes contaminantes en un periodo de tiempo de 5, 10 y 20 años? (esto a partir de un procedimiento comercial y a partir de unas referencias comerciales)

## **1.6. Objetivo General**

Hacer un estudio sobre la posibilidad del uso de filtros ambientales desarrollados a partir de materiales constructivos convencionales, como el concreto, que pueden ser modificados mediante la incorporación de diferentes aditivos activos con la finalidad de fijar material contaminante particulado a través de las edificaciones que brinde beneficios a los proyectos y a su entorno inmediato, donde se explorarán alternativas disponibles en el medio comercial y se experimentará en el desarrollo de un material compuesto de cemento Portland verificando su comportamiento como filtro ambiental.

## **1.7. Objetivos específicos**

- 1.7.1. Explorar diferentes dosificaciones de materiales compuestos de cemento Portland + aditivos o adiciones activas para la fabricación de morteros que pueden funcionar como filtros ambientales, valorando esta propiedad mediante pruebas directas o indirectas y a partir de estas realizar una reflexión crítica sobre el valor de utilizar este tipo de filtros ambientales en distintas partes de la ciudad.
- 1.7.2. Identificar alternativas de materiales que pueden ser utilizados como filtros ambientales a partir de búsquedas objetivas en bases de datos, como los expuestos en los casos de estudio, esto a partir de otros materiales convencionales diferentes al concreto
- 1.7.3. Realizar una propuesta de intervención de las envolventes arquitectónicas y realizar una valoración en los escenarios con los indicadores que arroje cada material.

## 1.8. Justificación

En Colombia, el CONPES (Consejo Nacional de Política Económica y Social) busca como meta la reducción del 20% de los Gases de Efecto Invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, O<sub>3</sub>, CFC), este nuevo material que busca desarrollar este proyecto de investigación apoyaría a esta reducción desde la adsorción de CO<sub>2</sub>,<sup>(9)</sup> esto a partir del decreto 298 de 2016. En Medellín se evidencia una crisis medio ambiental especialmente en el aire, esto se evidencia en las dos imágenes que tienen un año de diferencia entre la una y la otra, la primera (Imagen 3) de ellas el 17 marzo del 2019 donde se verifica la situación crítica en las condiciones del aire que estaba viviendo el área metropolitana y la segunda (Imagen 4) muestra el 18 de marzo del 2020 la situación no ha cambiado mucho, aunque no se encuentra tan crítica hay que tener en cuenta que para ese entonces la situación de la ciudad presentaba un pico y placa de todo el día para carros pares e impares y una creciente enfermedad que empezaba a azotar a la ciudadanía (Covid-19).

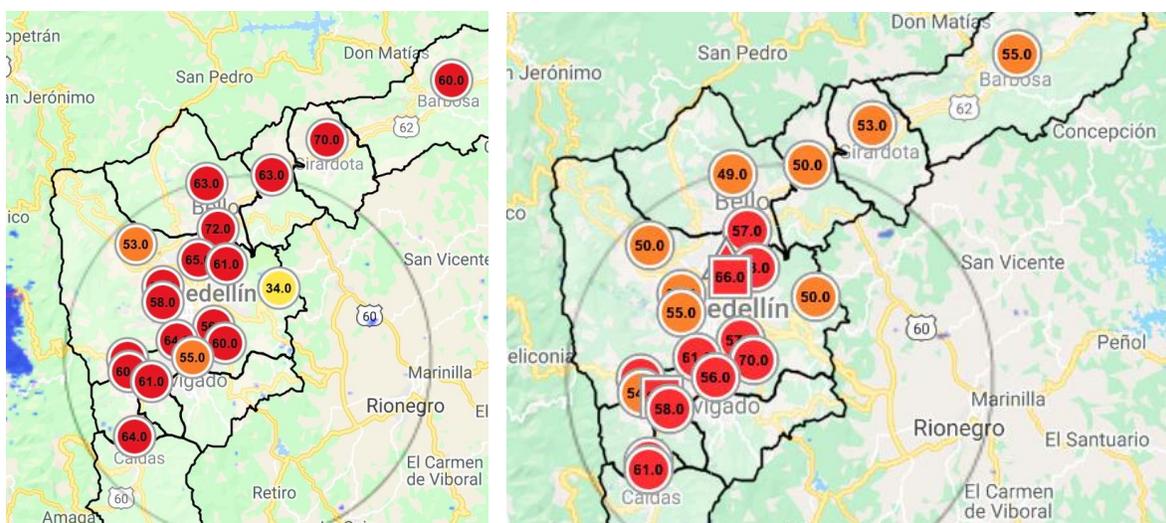


Imagen 3. Estaciones del aire, marzo 2019, El colombiano. Imagen 4. Estaciones del aire, marzo 2020, Blu radio

Por otra parte, la construcción y la operación de los edificios aporta el 40%(10) de las emisiones de gases de efecto invernadero al medio ambiente, aunque el uso de elementos prefabricadas reduce el impacto en más de un 12% aproximadamente y el empleo de un sistema constructivo en seco puede reducir hasta un 30% los impactos.

Para la creación de este nuevo material se busca ofrecer una base de datos con materiales que sirvan como filtros ambientales con aditivos activos que permita una fijación de este material particulado permanentemente.

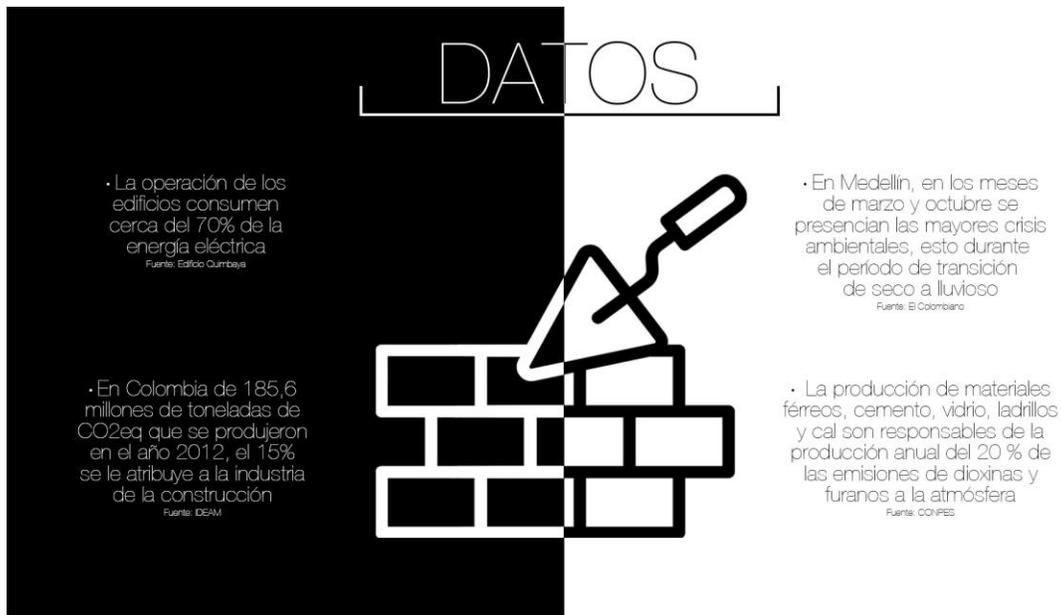


Imagen 5. Datos (Elaboración propia)

## 1.9. DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de la metodología, la investigación se desarrolla a partir del análisis de diferentes materiales que aseguran que gracias a su composición fijan agentes contaminantes, esto nos permite encontrar los alcances que han tenido dichos materiales, para esto se busca analizar los alcances que puede tener un filtro ambiental en cuanto a la fijación del material particulado en un proyecto arquitectónico determinado.

Se busca realizar un análisis comparativo entre los diferentes materiales constructivos convencionales, usaremos distintas bibliotecas como el Materfad y la AIF (Asociación Ibérica de la Fotocatálisis) haciendo un inventario de los diferentes materiales descontaminantes y a partir de este determinar el valor y los beneficios de utilizar estos filtros ambientales con respecto a sus m<sup>2</sup>.

Variable	Definición	Ícono	Indicadores	Instrumentos
Contaminación ambiental	Es la presencia de agentes nocivos para el medio ambiente		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resultados en las estaciones de calidad del aire en el Área Metropolitana</li> <li>- En esta investigación a través del uso de Fenolftaleína</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Probetas</li> <li>- Pruebas de laboratorio</li> <li>- Sensores</li> </ul>
Filtros ambientales	Actualmente se busca que los materiales sirvan como materiales descontaminantes		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiales que nos sirvan como referentes que realicen un filtro de descontaminación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Materiales que hay en el mercado</li> </ul>
Aditivos del concreto	Ingredientes del concreto integrados a la mezcla durante el mezclado o el fraguado del concreto		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resultado en probetas de acuerdo a diferentes aditivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prueba de materiales, en específico, residuos agroindustriales</li> </ul>

Tabla 1. Variables (Elaboración propia)

Este proyecto de investigación busca la creación de un nuevo material o la composición ideal de un concreto que fije agentes contaminantes, para esto debemos hacer pruebas de la dosificación correcta para la realización de una probeta en distintas composiciones y en distintas circunstancias ambientales que evidencie la fijación del material particulado, por medio de estas identificar los resultados positivos que arrojen estas distintas pruebas y a partir de estos resultados reflexionar sobre la utilización de filtros ambientales en diferentes proyectos urbanos y arquitectónicos desde su materialidad, este análisis llevado a cabo desde materiales que compongan los distintos proyectos buscando algunos como referentes.

## 2. MARCO CONTEXTUAL

El principal motivante de este proyecto de investigación es la contaminación ocasionado por material particulado, según un estudio realizado por el banco mundial en el año 2014, un 26.2% del total de CO<sub>2</sub> producidos en el país se encuentra en los sectores de la construcción y los edificios residenciales, según el CONPES las edificaciones residenciales generan el 10,5 % del total del inventario nacional de gases de efecto invernadero(11), según el Consejo Internacional de Investigación e Innovación en Edificaciones y Construcción CIB, el Programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas y el Centro de Tecnología Medioambiental (UNEP-IETC) (2002) estiman que la producción de materiales férreos, cemento, vidrio, ladrillos y cal son responsables de la producción anual del 20 % de las emisiones de dioxinas y furanos a la atmósfera(12). Por otro lado, se encuentra poco

compromiso y sin normativa para el sector constructivo y no hay una suficiente cantidad de materiales que aporten soluciones a este tipo de problemáticas.

En la Ley 99 de 1993, ley del medio ambiente, donde el Estado apoyará e incentivará la conformación de organismos no gubernamentales para la protección ambiental (13).

Frente a una de las variables como filtros ambientales que van dirigidos a la descontaminación del aire solo se encuentran estrategias activas que permite la eliminación del dióxido de carbono en un ambiente interior pero no se encuentran estrategias pasivas que permitan la fijación del CO<sub>2</sub>, pero a partir de esto surgen propuestas como la de Jairo Escobar ingeniero mecánico de la Universidad de los Andes, que busca a partir de cerámicos de ingeniería usar la espuma como base estructural del material que permita la adsorción de CO<sub>2</sub>, aunque esta propuesta ha sufrido complicaciones por la falta de presupuesto.

Dentro de la investigación, el tutor Luis Felipe Lalinde conoció a Pureti, una empresa con filial en Bogotá, esta empresa realizó un proceso de tratamiento superficial acuoso - ex. PURETI sobre algunas superficies en la Universidad Pontificia Bolivariana (dos placas informativas, un muro en superboard, varias placas de concreto y varios paneles solares) su método correcto de aplicación es a través de una pistola electrostática, pero en la universidad este método no pudo realizarse pues la pistola presentó problemas a la hora de aplicar el producto, es por esto que los resultados finales se vieron afectados.

### **3. MARCO CONCEPTUAL**

Se establecen términos importantes que ayudan y permiten esclarecer las diferencias y los problemas que expone esta investigación.

Absorción: Una de las técnicas más utilizadas. Los gases contaminantes suelen ser mezclas de varios componentes gaseosos, de los cuales, una minoría es soluble en una fase líquida y la mayor parte es un gas portador prácticamente insoluble. El contacto directo del gas con el líquido hace que la transferencia de materia ocurra entre las dos fases (líquido y sólido) debido a los gradientes de concentración de los componentes individuales en cada fase. Este elemento solo atrae el material particulado y no presenta ningún cambio físico, dando la posibilidad de que el material particulado vuelva a salir.

**Aditivos del concreto:** Ingredientes del concreto adicionados a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado, Son estos los elementos que se emplearán para modificar la composición del concreto y permitir la fijación del material particulado.

**Adsorción:** Las moléculas son retenidas en la superficie del adsorbente por fuerzas electroestáticas y se usa principalmente carbón activado. Este concepto es el más relevante pues atrae el material contaminante y permite una transformación química que permite la purificación del material particulado que se encuentra en el aire.

**Agregados del concreto:** Materia prima en la fabricación de concretos, morteros, etc. Se puede realizar una prueba que identifique la diferencia de dosificación del material permita o que facilite la fijación de los agentes contaminantes

**Carbonatación:** Proceso en el un concreto fija  $\text{CO}_2$ , el  $\text{CO}_2$  reacciona con el hidróxido cálcico (CH) y con esta investigación se busca facilitar la carbonatación del concreto para una mayor descontaminación del aire

**Contaminación ambiental:** Es la presencia de agentes nocivos para el medio ambiente y que sean perjudiciales para los seres vivos, es este el principal motivo por el que se busca realizar esta investigación

**Fenolftaleína:** Es un indicador de pH que en disoluciones ácidas permanece incoloro, pero en disoluciones básicas toma un color rosado, un ejemplo de este se encuentra en la imagen 6, el color rosado del material evidencia aquellas zonas que no están carbonatadas.



Imagen 6. Prueba Fenolftaleína. Researchgate

**PCM: (Phase Change Material)** Son aquellos materiales con un alto calor latente que reducen las oscilaciones térmicas en el ambiente interior y de forma pasiva. Estos son considerados materiales inteligentes.

Timolftaleína: Es un indicador de pH para valoración ácido-base que se deriva del anhídrido ftálico y del timol, al igual que en la imagen anterior, la timolftaleína así como la fenolftaleína sirve como prueba pero este toma un color azul en las zonas que no ha tenido efecto.

#### **4. MARCO TEÓRICO**

Este proyecto de investigación tiene cuatro investigaciones principales que han servido para direccionar el proyecto:

- La investigación realizada por la Universidad Autónoma de Campeche en México, por Emilio Chávez-Ulloa, Tezozómoc Pérez López, Javier Reyes Trujeque, Francisco Corvo Pérez, José B. Osorno Carrillo llamado Carbonatación de concreto en atmósfera natural y cámara de carbonatación acelerada, en esta investigación fueron expuestas vigas de concreto simple en un medio marino tropical en la ciudad de San Francisco de Campeche y en una cámara de carbonatación acelerada, con el fin de determinar el avance de la reacción de carbonatación. Para ello se realizaron cortes de sección transversal y mediante la aplicación de indicadores ácido-base (Timolftaleína y fenolftaleína).

- En la segunda investigación se toma un caso de estudio realizado por la Universidad de Belgrado en Serbia estudian a los techos verdes donde evalúan y exponen que tienen múltiples efectos positivos en los edificios y sus alrededores, lo que los convierte en una opción deseable para actualizar los techos. El objetivo de esa investigación es identificar las propiedades térmicas del sistema de techo verde elegido y su potencial para influir positivamente en el consumo de energía para calentar edificios y, por lo tanto, las emisiones de CO<sub>2</sub> a través de la restauración de los viejos techos planos existentes.

- En la tercera investigación realizada por la Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) llamada Avances en la reducción fotocatalítica de CO<sub>2</sub> con agua: una revisión. Donde destacan los fotocatalizadores plasmónicos efectivos que han mostrado actividades de reducción hacia CO<sub>2</sub> con H<sub>2</sub>O

- Por último, en la investigación Carbones activados a partir de anamú sus características como adsorbente. parte I. adsorción de CO<sub>2</sub> Y NH<sub>3</sub>D, realizada por la Universidad de la Habana nos permite ver la posibilidad de hacer uso de carbones activados como aditivos para el concreto.

## 5. MARCO PRÁCTICO

### 5.1 Fabricación material descontaminante. (Proceso de experimentación para obtener un material descontaminante)

Para el desarrollo del primer objetivo donde se realiza un material a partir de aditivos que permiten la fijación de agentes contaminantes, se opta por empezar un proceso de experimentación. En dicho proceso de experimentación se realizan 11 probetas de mortero en distintas dosificaciones (Una primera versión del mortero en una dosificación 1:1, 1:2 y 1:3 y se realizan dos probetas con un aditivo como la limadura de madera con dosificaciones 1:1 y 1:2 con un envejecimiento de la probeta de 3 meses, una segunda versión de mortero con tan solo 3 meses de envejecimiento con dosificación 1:1, 1:2 y 1:3 y la realización de tres probetas con una adición de cascarilla de arroz) Estas probetas se dejan a intemperie para el proceso de fraguado durante 6 días en un ambiente cerrado, donde no presenta tanta cercanía con agentes contaminantes, posteriormente recibe un corte a dos centímetros aproximadamente para realizar la prueba de la Fenolftaleína que permita indentificar de manera visual la cantidad de agente contaminante adsorbido por la probeta de mortero, las probetas realizadas son morteros a partir de morteros en probetas de 5cm X 5cm X 15cm

De cada muestra se van a sacar 3 probetas de diferente dosificación en su composición para verificar si esto afecta la fijación del material

- 1:1 (Una de cemento por una de Árido Fino)
- 1:2 (Una de cemento por dos de Árido Fino)
- 1:3 (Una de cemento por tres de Árido Fino)
- Cemento + Agua + Árido Fino (mortero). Estas probetas fueron realizadas entre la semana del 21 de octubre del 2019 aproximadamente (imagen 7).

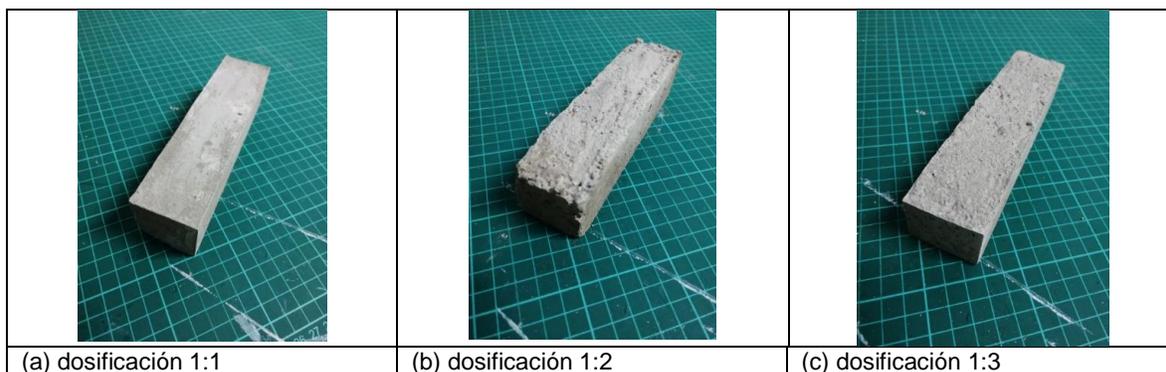


Imagen 7. Probetas sin adición, 7 meses de envejecimiento

- Mortero + Limadura de madera. Estas probetas fueron realizadas entre la semana del 21 de octubre del 2019 aproximadamente (imagen 8).

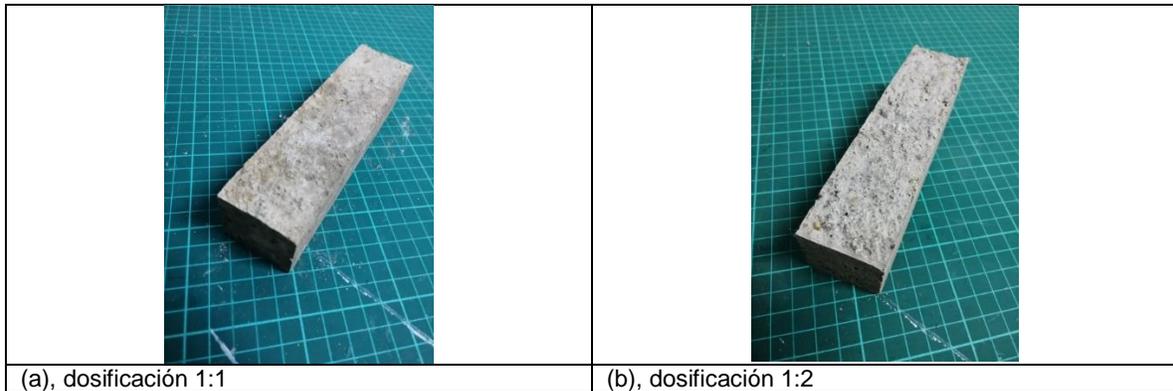


Imagen 8. Probetas con adición de limadura de madera, 7 meses de envejecimiento

- Cemento + Agua + Árido Fino (mortero). Estas probetas fueron realizadas entre la semana del 10 de febrero del 2020 aproximadamente (imagen 9).

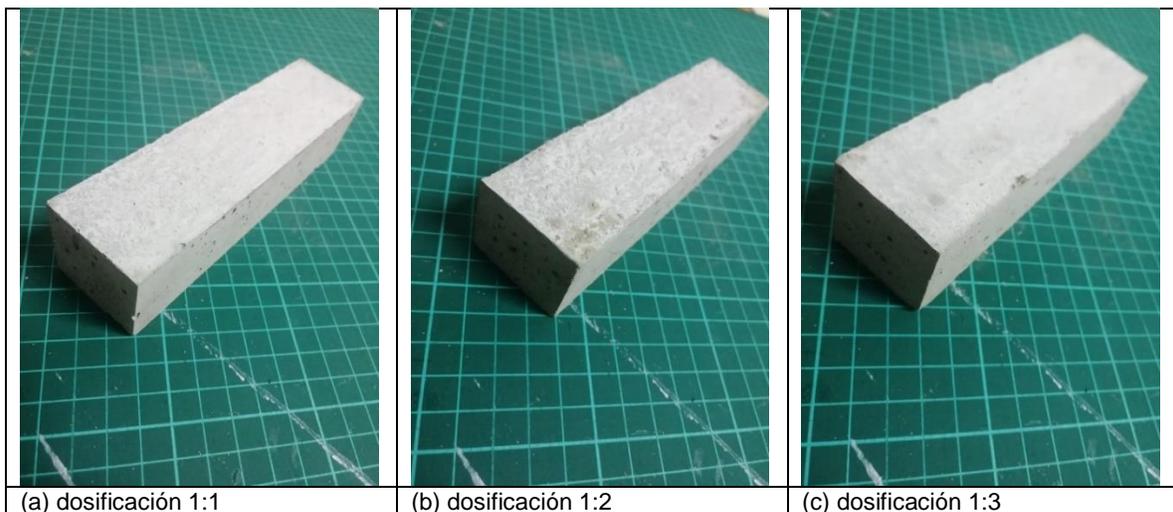


Imagen 9. Probetas sin adición, 3 meses de envejecimiento

- Mortero + Cascarrilla de arroz. Estas probetas fueron realizadas entre la semana del 10 de febrero del 2020 aproximadamente (imagen 10).

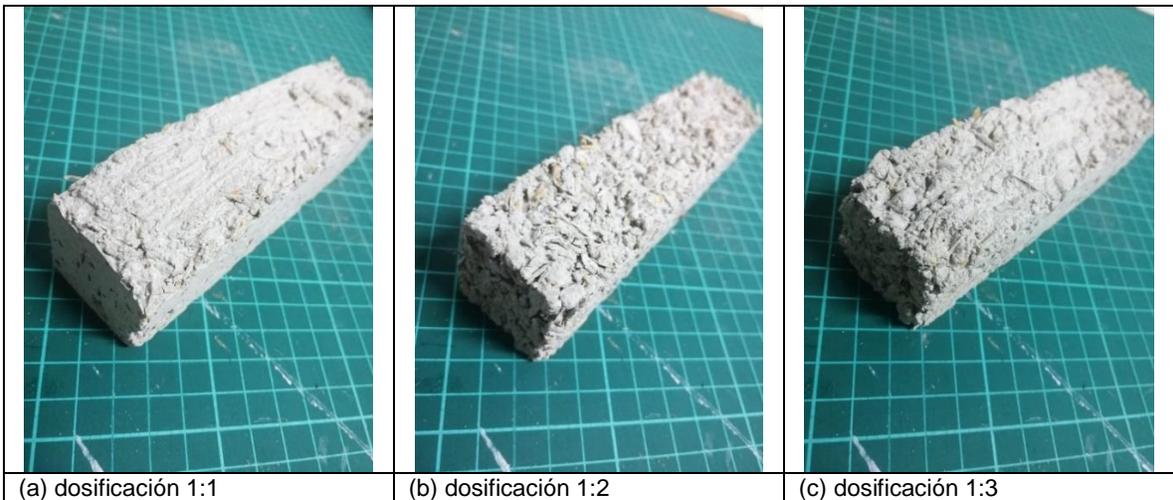
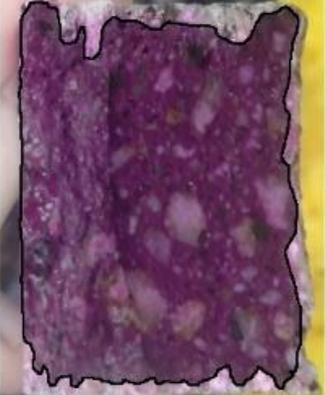


Imagen 10. Probetas sin adición, 3 meses de envejecimiento

A partir estas probetas se realizan 3 cortes durante el último mes (18 de abril – 30 de abril – 8 de mayo) de duración de la investigación para verificar los alcances del material como potencial descontaminante.

Para el primer corte realizado se identificó los alcances principales que obtuvieron las probetas con una dosificación 1:3 y a su vez aquellas probetas que tenían en su composición una adición de material residuales agroindustriales identificando la porosidad del material, como beneficio para el proceso de carbonatación.

Los resultados dados por este día de corte fueron los siguientes:

<b>Corte realizado el 18 de abril del 2020</b>		
<b>Probetas sin aditivos. 7 meses</b>		
		
(a) dosificación 1:1 Se evidencia que no hay una carbonatación significativa, a partir de esto podríamos empezar a identificar que entre más denso el material más tarda la carbonatación del mismo.	(b) dosificación 1:2 Se empieza a identificar en algunas partes de manera un poco escasa la carbonatación del material.	(c) dosificación 1:3 Se logra percibir un gran avance del mortero ya carbonatado, a diferencia de los dos cortes anteriores este presenta un tamaño del agregado más pequeño.
<b>Probeta sin aditivos. 3 meses</b>		
		
(d) dosificación 1:1 Se evidencia un mínimo del elemento en proceso de carbonatación, evidenciando para este caso que estos elementos por su densidad dificultan su proceso de carbonatación.	(e) dosificación 1:2 En este caso evidencia muy poco o casi nada de la carbonatación que está sufriendo la probeta.	(f) dosificación 1:3 Se empieza a evidenciar parte del corte carbonatado, por otro lado dentro del elemento se ven poros, esto puede incidir en la cantidad de material carbonatado con un mayor tiempo de envejecimiento.
<b>Probeta con limadura de madera. 7 meses</b>		

		
<p>(g) dosificación 1:1</p> <p>Se empieza a evidenciar material carbonatado, cosa que en las dos probetas anteriores esto no se había conseguido para esta dosificación.</p>	<p>(h) dosificación 1:2</p> <p>Se evidencia material carbonatado, esto puede ser debido a su aditivo o por que el aditivo le permita una mayor porosidad del material.</p>	
<p><b>Probeta con cascarilla de arroz. 3 meses</b></p>		
		
<p>(i) dosificación 1:1</p> <p>que este le permite un mínimo de material carbonatado al mortero, evidenciándose en algunas esquinas del corte donde la fenolftaleína no afectó por completo el elemento.</p>	<p>(j) dosificación 1:2</p> <p>Se evidencian grandes avances de la carbonatación en la probeta, pueden haber varios items que podríamos tener en cuenta, para esta probeta se utilizó un tamaño del agregado un poco superior a las anteriores, esto facilita que el elemento tenga mayor porosidad, influyendo en la adsorción de CO<sup>2</sup>.</p>	<p>(k) dosificación 1:3</p> <p>Se muestra el elemento carbonatado incluso con grandes avances a tal punto que los elementos magenta que arroja la fenolftaleína son fácilmente desapercibidos, el elemento clave sigue siendo la porosidad del elemento que permite una mayor rapidez en el proceso de carbonatación.</p>

Tabla 2. Corte 18 de abril del 2020. Elaboración propia

Cortes de probeta con mayor carbonatación en el corte realizado el 18 de abril del 2020

		
(a) dosificación 1:3 sin aditivo	(b) dosificación 1:2 cascarilla de arroz	(c) dosificación 1:3 cascarilla de arroz
<p>Las probetas que lograron mejores alcances en el proceso de carbonatación fueron: la primera probeta realizada con dosificación 1:3 sin aditivo y dos de las probetas realizadas con cascarilla de arroz como aditivo con dosificación 1:2 y 1:3 respectivamente.</p>		

Tabla 3. Síntesis Corte 18 de abril del 2020. Elaboración propia

Para el corte de este día (30 de abril) al igual que en el anterior proceso se evidencian los alcances obtenidos por las dosificaciones 1:3 y aquellos que tienen incluido en su materia prima alguna adición que favorezca o permita la porosidad del material.

**Corte realizado el 30 de abril del 2020**

**Probetas sin aditivos. 7 meses**



(a) dosificación 1:1	(b) dosificación 1:2	(c) dosificación 1:3
Con respecto al corte inicial no se evidencia alcances significativos.	Los alcances que presenta este corte tiene los mismos resultados que el anterior.	Frente a las otras probetas esta dosificación sigue siendo el que tiene unos resultados más evidentes.

**Probeta sin aditivos. 3 meses**



(d) dosificación 1:1	(e) dosificación 1:2	(f) dosificación 1:3
En este corte no se percibe un cambio en cuanto a la fijación de dióxido de carbono.	En este corte no se evidencian cambios a pesar de una línea diagonal que no se ve afectada por la fenoltaleina, esta provocada por el disco de corte que quemó la zona antes mencionada.	A diferencia de la prueba anterior este corte presenta mayores avances de carbonatación.

**Probeta con limadura de madera. 7 meses**



(g) dosificación 1:1	(h) dosificación 1:2	
No se evidencia un cambio significativo con el primer corte realizado, incluso podría mencionarse que el avance a disminuído con respecto al corte anterior, esto puede darse por el tipo de almacenamiento que haya recibido la probeta.	Se evidencia que la probeta con el aditivo, tiene un mayor avance con respecto a la que no lo tiene y tengan el mismo periodo de envejecimiento.	
<b>Probeta con cascarilla de arroz. 3 meses</b>		
		
(i) dosificación 1:1	(j) dosificación 1:2	(k) dosificación 1:3
En este ítem identificamos que el aditivo y el tamaño del agregado permite mayores avances con respecto a las otras probetas usan.	En el corte de esta probeta identificamos que sigue siendo la porosidad del material la que permite la filtración del agente contaminante, permitiendo una mayor fijación de CO <sub>2</sub> .	En esta probeta evidenciamos los altos alcances que permite el tamaño del agregado y el residuo agroindustrial usado como aditivo.

Tabla 4. Corte 30 de abril del 2020. Elaboración propia

<b>Cortes de probeta con mayor carbonatación en el corte realizado el 30 de abril del 2020</b>		
		
(a) dosificación 1:3 sin aditivo	(b) dosificación 1:2 cascarilla de arroz	(c) dosificación 1:3 cascarilla de arroz
Los altos alcances que tienen estas probetas para este segundo corte permite corroborar la hipótesis inicial sobre la porosidad del material y sus efectos en la cantidad de material carbonatado.		

Tabla 5. Síntesis Corte 30 de abril del 2020. Elaboración propia

El día 8 de mayo se realizó el último corte a las probetas donde se siguen presenciando avances significativos sobre las dosificaciones 1:3 y las probetas que

tienen incluido en su materia prima alguna adición que favorezca o permita la porosidad del material.

<b>Corte realizado el 8 de mayo del 2020</b>		
<b>Probetas sin aditivos. 7 meses</b>		
		
(a) dosificación 1:1	(b) dosificación 1:2	(c) dosificación 1:3
Sin cambios circunstanciales con respecto a los cortes anteriores	Visualmente en las esquinas solo presenta una menos intensidad de cambio de color pero sus avances tampoco son significativos	Durante los tres cortes, esta fue la probeta que obtuvo mejores resultados con una evidencia de mayor material carbonatado
<b>Probetas sin aditivos. 3 meses</b>		
		
(d) dosificación 1:1	(e) dosificación 1:2	(f) dosificación 1:3
Sin alcances significativos	En su cara lateral derecha pareciera presentar material carbonatado, esto puede ser por que el agregado parece haberse asentado sobre esa parte	Se presenta con avances considerables, evidenciandola como punto medio de la misma dosificación de la muestra realizada hace 7 meses
<b>Probetas con limadura de madera. 7 meses</b>		
		
(g) dosificación 1:1	(h) dosificación 1:2	
En comparación con los tres cortes anteriores este cortes evidencia avances significativos	Esta al igual que la dosificación 1:1 con esta adición presenta alcances considerables que permite a la	

			limadura considerarla como posible aditivo para favorecer el proceso de carbonatación
<b>Probetas con cascarilla de arroz. 3 meses</b>			
			
(d) dosificación 1:1	(e) dosificación 1:2	(f) dosificación 1:3	
Este corte presenta las mismas evidencias que los presentados en las dos fechas anteriores	Como resultado esperado se evidencia grandes avances del agente contaminante al interior del material	Sigue siendo la porosidad del material una de las características principales del material que permite la filtración del agente contaminante permitiendo al material la descontaminación del aire	

Tabla 6. Corte 8 de mayo del 2020. Elaboración propia

<b>Cortes de probeta con mayor carbonatación en el corte realizado el 8 de mayo del 2020</b>			
			
(a) dosificación 1:3 sin aditivo	(b) dosificación 1:2 cascarilla de arroz	(c) dosificación 1:3 cascarilla de arroz	
Como resultado esperado, desde las evidencias encontradas tras el segundo corte, estas tres probetas son las que mayor carbonatación presentan y evidencian a la hora de realizar la prueba con fenolftaleína, con estos tres cortes realizamos las conclusiones del primer objetivo de esta investigación			

Tabla 7. Síntesis Corte 8 de mayo del 2020. Elaboración propia

Este proceso de laboratorio nos arroja resultados importantes específicamente en 3 muestras, la primera de ellas fue una de las primeras muestras realizadas sin aditivos con dosificación 1:3, esta tienen la particularidad de haber fijado material particulado en cada uno de sus lados por unos 5mm de profundidad hacia el centro de la muestra, esto a lo largo de la probeta serían alrededor de 15cm<sup>3</sup> de material usado para la adsorción del material particulado, las otras dos muestras con algunos resultados positivos para la realización de esta investigación ha sido las dos probetas con dosificación 1:2 y 1:3 con cascarilla de arroz como aditivo, estas tienen una situación particular, así como se ven en las muestras tienen un agregado con un tamaño superior, esto permite que haya más espacios al interior de la muestra permitiendo un mayor alcance en la adsorción de material particulado, esto se verifica en las muestras donde se identifica menos afectado por la fenolftaleína, así mismo, por el tamaño del agregado y por la cantidad de cemento estas probetas pierden mayor resistencia, aspecto a tener en cuenta para la realización de nuevas probetas y de las próximas muestras que se extraigan de la probeta inicial.

Este proceso de experimentación arroja conclusiones o resultados en donde se evidencian los siguientes alcances:

Foto probeta	Condición
	Dosificación
	1:3
	Envejecimiento de la probeta hasta fecha de corte
	6 meses – 7 meses
	Condiciones de agregado o aditivo
	No aplica
	Comentarios
	Se identifica esta como la probeta con mayor alcance por material fijado, con evidencias notorias de carbonatación (zona gris)

Tabla 8. Conclusión Probeta sin aditivo dosificación 1:3 Elaboración propia

Foto probeta	Condición
	Dosificación
	1:2
	Envejecimiento de la probeta hasta fecha de corte
	6 meses
	Condiciones de agregado o aditivo
	Cascarilla de arroz Tamaño mayor de agregado (con respecto a muestras anteriores)
	Comentarios
	Se empieza a identificar la hipótesis lanzada desde el principio de la investigación, donde encuentra en la porosidad del material una posibilidad para fijar material, por otro lado, a pesar de aumentar el tamaño del agregado se debe utilizar un cemento con mayor resistencia o menor cantidad de agregado para que no afecte la resistencia del material

Tabla 9. Conclusión Probeta con cascarilla de arroz dosificación 1:2 Elaboración propia

Foto probeta	Condición
	Dosificación
	1:3
	Envejecimiento de la probeta hasta fecha de corte
	6 meses
	Condiciones de agregado o aditivo
	Limadura de madera Tamaño mayor de agregado (con respecto a muestras anteriores)
	Comentarios
	Al igual que el anterior, evidencia la porosidad del material como de alto alcance y la cascarilla de arroz con posibilidades de favorecer el proceso de adsorción del agente contaminante

Tabla 10. Conclusión Probeta con cascarilla de arroz dosificación 1:3 Elaboración propia

Foto probeta	Condición
	Dosificación
	1:3
	Envejecimiento de la probeta hasta fecha de corte
	2 meses
	Condiciones de agregado o aditivo
	No aplica
	Comentarios
	Esta probeta a pesar de no tener altos alcances por su corto tiempo, se empieza a identificar los alcances que tiene este corte y su dosificación así no tenga una condición especial en su agregado

Tabla 11. Conclusión Probeta sin aditivo dosificación 1:3 Elaboración propia

## 5.2 Revisión de productos comerciales (Vigilancia comercial de los materiales que se publicitan como material descontaminante)

Para el desarrollo del segundo objetivo que busca la reflexión sobre la producción y la utilización de filtros ambientales en diferentes proyectos urbanos y arquitectónicos desde su materialidad se analiza a partir de materiales (Morteros, concretos, adoquines, etc.) que compongan los distintos proyectos.

A partir de esto se realizar una base de datos que permiten encontrar materiales descontaminantes, identificar los aditivos que se encuentran en la composición de estos materiales.

Materiales que han sido investigados a partir de filtros (palabras clave) como:

- Materiales descontaminantes
- Fotocatálisis
- Dioxido de titanio
- Fijación de agentes contaminantes

Noxer	
  <p>• Es un polvo con material activo de fotocatalisis que tiene en su composición dióxido de titanio (TiO2)</p>	<p><b>Palabras Clave:</b> Dióxido de titanio, fotocatalisis</p> <p><b>Destino del producto:</b> Francia</p> <p><b>Tipo:</b> Recubrimiento</p> <p><b>Objeto de análisis:</b> La utilización de este tipo de recubrimientos en espacios públicos</p> <p><b>Reducción de contaminación:</b> 4mg/m2/h de NOx (Óxidos de nitrógeno)</p> <p><b>Casos de estudio:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La avenida la playa en la renovación que ha tenido en su tramo II, entre la avenida oriental y la estación del metro Parque de Berrio tiene más de 10.835 m2, teniendo eso en cuenta diariamente el tramo de la playa descontaminaría 1040.16 kg de NOx)</li> <li>• En el macroproyecto río centro, en el plan parcial de parques del río ambos tramos tienen 70800m2 aproximadamente, diariamente el proyecto de parques del río en río centro descontaminaría 6796.8 kg)</li> </ul>
(a) Gráfico, Noxer.	(b) Material Noxer. Materfad

Imagen 11. Descripción Noxer. Elaboración propia

Es un polvo con material activo de fotocatalisis que tiene en su composición dióxido de titanio (TiO2)

**Palabras Clave:** Dióxido de titanio, fotocatalisis

**Destino del producto:** Francia

**Tipo:** Recubrimiento

**Objeto de análisis:** La utilización de este tipo de recubrimientos en espacios públicos

**Reducción de contaminación** 4mg/m2/h de Nox (Óxidos de nitrógeno)

(La avenida la playa en la renovación que ha tenido en su tramo II, entre la avenida oriental y la estación del metro Parque de Berrio tiene más de 10.835 m2, teniendo eso en cuenta diariamente el tramo de la playa descontaminaría 1040.16 kg de Nox)



Imagen 12. Avenida la playa tramo II. EDU

(En el macroproyecto río centro, en el plan parcial de parques del río ambos tramos tienen 70800m<sup>2</sup> aproximadamente, diariamente el proyecto de parques del río en río centro descontaminaría 6796.8 kg)



Imagen 13. Plan parcial parques del río. EDU

Ecogranic	
 <p>· Losa fotocatalítica con un 20% de material reciclado, que tiene en su composición dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>)</p>	<p><b>Palabras Clave:</b> Descontaminantes, Dióxido de titanio</p> <p><b>Destino del producto:</b> España</p> <p><b>Tipo:</b> Losa - Adoquín</p> <p><b>Objeto de análisis:</b> Beneficio del material reciclado que aporta a la eliminación de elementos contaminantes (NO<sub>x</sub>, COV, MP)</p> <p><b>Reducción de contaminación:</b> La cantidad de NO<sub>x</sub> degradada en 1 hora por ecoGranic en 1 m<sup>2</sup> es de 78 mg/m<sup>2</sup> (= 0.078 g/m<sup>2</sup>)</p> <p><b>Casos de estudio:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· La avenida la playa 10.835 m<sup>2</sup>: diariamente el tramo de la playa descontaminaría 20283.12 kg de NO<sub>x</sub></li> <li>· En el macroproyecto río centro 70800m<sup>2</sup> diariamente río centro descontaminaría 132537.6 kg de NO<sub>x</sub></li> </ul>
(a) Gráfico, Ecogranic.	(b) Material Ecogranic. Materfad

Imagen 14. Descripción Ecogranic. Elaboración propia.

Losa fotocatalítica con un 20% de material reciclado, que tiene en su composición dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>)

Palabras Clave: Descontaminantes, Dióxido de titanio

Destino del producto: España

Tipo: Losa – Adoquín

Objeto de análisis: Beneficio del material reciclado que aporte a la eliminación de elementos contaminantes (Nox, COV, MP)

Reducción de contaminación: La cantidad de Nox degradada en 1 hora por ecoGranic en 1 m<sup>2</sup> es de 78 mg/m<sup>2</sup> (= 0.078 g/m<sup>2</sup>) (14)

En los ejemplos anteriores estas losas fotocatalíticas eliminan

Avenida la playa tramo II: 20283.12 kg de Nox

Parques del río, ambos tramos: 132537.6 kg de Nox

GeoSilex	
  <p>· Aditivo (nanomaterial cementante) para la captación de CO<sub>2</sub> en hormigones, tiene en su composición los residuos de la producción del acetileno, TiO<sub>2</sub>, para su producción no se genera huella de carbono.</p>	<p>Palabras Clave: Aditivo hormigón, CO<sub>2</sub> Destino del producto: España Tipo: Polvo Objeto de análisis: Usar este aditivo en distintos materiales constructivos convencionales para verificar su fijación de CO<sub>2</sub> Reducción de contaminación: Reduce en un 60% la huella de carbono del cemento y permite a los concretos recuperar 60 Kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup></p> 
(a) Gráfico, GeoSilex	(b) Material GeoSilex Materfad

Imagen 15. Descripción GeoSilex. Elaboración propia.

Aditivo (nanomaterial cementante) para la captación de CO<sub>2</sub> en hormigones, Tiene en su composición los residuos de la producción del acetileno, TiO<sub>2</sub>, para su producción no se genera huella de carbono

Palabras clave: Aditivo hormigón, CO<sub>2</sub>

Destino del producto: España

Tipo: Polvo

Objeto de análisis: Usar este aditivo en distintos materiales constructivos convencionales para verificar su fijación de CO<sub>2</sub>

Reducción de contaminación: Reduce en un 60% la huella de carbono del cemento y permite a los concretos recuperar 60 Kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>3</sup>(15).

I.active COAT H35 y I.active COAT S70:	
 <p>· Recubrimiento fotocatalítico este es una fina capa de cemento en polvo de grano fino que se aplica a mano o en aerosol, respectivamente, ambas tienen una apariencia rugosa - mate</p>	<p><b>Palabras Clave:</b> Descontaminante, Tx Active</p> <p><b>Destino del producto:</b> Italia</p> <p><b>Tipo:</b> Polvo</p> <p><b>Objeto de análisis:</b> aplicación en edificios sobre fachadas y terrazas</p> <p><b>Reducción de contaminación:</b> 1000m<sup>2</sup> de productos que utilicen TX active equivale a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planta unos 100 árboles de hoja caduca.</li> <li>• Despolinice 10 veces más que con 1.000 m<sup>2</sup> de hojas.</li> <li>• Elimina la contaminación causada por 30 vehículos de gasolina o 10 diesel</li> </ul>
(a) Gráfico, Geosilex	 <p>(b) Material I.active COAT H35 – S70. Materfad</p>

Imagen 16 Descripción I.active COAT. Elaboración propia.

Recubrimiento fotocatalítico este es una fina capa de cemento en polvo de grano fino que se aplica a mano en aerosol, respectivamente, ambas tienen una apariencia rugosa – mate

Palabras Clave: Descontaminante, Tx Active

Destino del producto: Italia

Tipo: Polvo

Objeto de análisis: aplicación en edificios sobre fachadas y terrazas

1000m<sup>2</sup> de productos que utilicen TX active equivale a:

- Planta unos 100 árboles de hoja caduca.
- Despolinice 10 veces más que con 1.000 m<sup>2</sup> de hojas.
- Elimina la contaminación causada por 30 vehículos de gasolina o 10 diesel(16).

Connecta	
 <p>• Baldosas de hormigón con captadores de CO<sub>2</sub> ambiental que tiene en su composición el aditivo Geosilex</p>	<p>Palabras Clave: Baldosa, CO<sub>2</sub></p> <p>Destino del producto: España</p> <p>Tipo: Bloque</p> <p>Objeto de análisis: Incorporación 20% de áridos reciclados procedentes de áridos siderúrgicos</p> <p>Reducción de contaminación: Cantidad de CO<sub>2</sub> capturado en espacios públicos</p>
(a) Gráfico, Connecta	 <p>(b) Material Connecta. Materfad</p>

Imagen 17. Descripción Connecta. Elaboración propia.

Baldosas de hormigón con captadores de CO<sub>2</sub> ambiental que tiene en su composición el aditivo Geosilex

Palabras clave: Baldosa, CO<sub>2</sub>

Destino del producto: España

Tipo: Bloque

Objeto de análisis: cantidad de CO<sub>2</sub> capturado en espacios públicos

Air Clean:	
 <p style="text-align: center;">Air Clean</p> <p>· Pavimento fotocatalítico que tiene en su materia prima dióxido de titanio que por su alto costo dificulta el uso de grandes operaciones de este tipo de materiales</p>	<p><b>Palabras Clave:</b> Descontaminantes</p> <p><b>Destino del producto:</b> España</p> <p><b>Tipo:</b> Pavimento</p> <p><b>Objeto de análisis:</b> Optimización de sus propiedades descontaminantes, autolimpiantes, biocidas (mata organismos vivos o detiene su desarrollo)</p> <p><b>Reducción de contaminación:</b> Eliminación de contaminantes atmosféricos NOx, COx, SOx, VOC's e inhibe generación O3 troposférico</p> <p><b>Casos de estudio:</b> · En una superficie de 315 m<sup>2</sup>, se presentó una reducción media de 20% de NO<sub>2</sub> y del 38% de NO</p>
(a) Gráfico, Air Clean	(b) Material Air Clean Materfad

Imagen 18. Descripción Air Clean. Elaboración propia.

Pavimento fotocatalítico que tiene en su materia prima dióxido de titanio que por su alto costo dificulta el uso de grandes operaciones de este tipo de materiales

Palabras clave: Descontaminantes

Destino del producto: España

Tipo: Pavimento

Reducción de contaminación: Eliminación de contaminantes atmosféricos Nox, Cox, Sox, VOC's e inhibe generación O3 troposférico (17).

En una superficie de 315 m<sup>2</sup>, se presentó una reducción media de 20% de NO<sub>2</sub> y del 38% de NO

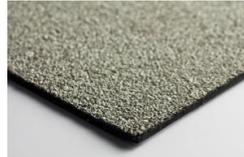
Nox – Activ	
 <p style="text-align: center;">NOx - Activ</p> <p>•Recubrimiento asfáltico fotocatalítico, destruye las partículas de NOx que se encuentran en el ambiente, este proceso surge tras el contacto de recubrimiento asfáltico con los rayos UVA de la luz solar</p>	<p>Palabras Clave: Descontaminante Destino del producto: Francia Tipo: Manto asfáltico Objeto de análisis: Usar este recubrimiento en las cubiertas de los proyectos Reducción de contaminación: Una cubierta de 10000 m2 destruye al año el equivalente a la cantidad de NOx emitido por 25 carros a gasolina recorriendo 26000 km Casos de estudio: • La Universidad Pontificia Bolivariana cuenta con aproximadamente 38090 m2, si se usara el NOx – Activ conllevaría a restar el NOx emitido por 99 carros a gasolina recorriendo 26000 km. • El Centro Comercial Unicentro que cuenta con una superficie (aproximada) en su terraza de 21489.44m2 que significaría la reducción que harían 57 carros en 26000km.</p> 
(a) Gráfico, Nox-Activ	(b) Material Nox - Activ Materfad

Imagen 19. Descripción Nox - Activ. Elaboración propia.

Recubrimiento asfáltico fotocatalítico, destruye las partículas de Nox que se encuentran en el ambiente, este proceso surge tras el contacto de recubrimiento asfáltico con los rayos UVA de la luz solar

Palabras Clave: Descontaminantes

Destino del producto: Francia

Tipo: Recubrimiento asfáltico

Reducción de contaminación: Una cubierta de 10000 m2 destruye al año el equivalente a la cantidad de Nox emitido por 25 carros a gasolina recorriendo 26000 km(18).

La Universidad Pontificia Bolivariana cuenta con aproximadamente 38090 m2 (sin contar bloque de parqueaderos), si se usara el Nox – Activ conllevaría a restar el Nox emitido por 99 carros a gasolina recorriendo 26000 km.

Grandes superficies como el Centro Comercial Unicentro que cuenta con una superficie (aproximada) en su terraza de 21489.44m<sup>2</sup> que significaría la reducción que harían 57 carros en la misma distancia, si estos materiales, con estos alcances, fueran puestos en edificios con grandes superficies en sus terrazas como lo son los edificios públicos, los centros comerciales, etc, habrá un gran beneficio para la ciudad

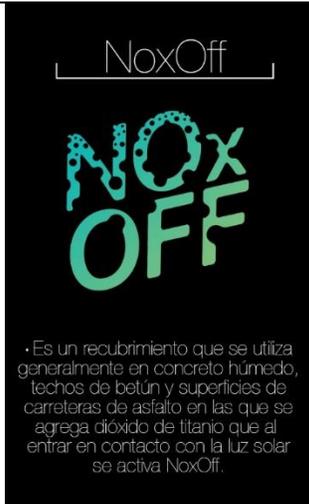
NOxOFF	
 <p>• Es un recubrimiento que se utiliza generalmente en concreto húmedo, techos de betún y superficies de carreteras de asfalto en las que se agrega dióxido de titanio que al entrar en contacto con la luz solar se activa NoxOff.</p>	<p><b>Palabras Clave:</b> Fotocatálisis, AIF</p> <p><b>Destino del producto:</b> Dinamarca</p> <p><b>Tipo:</b> Recubrimiento, adoquines, manto asfáltico</p> <p><b>Objeto de análisis:</b> Usar este recubrimiento para la purificación del aire, además de beneficios en su mantenimiento</p> <p><b>Reducción de contaminación:</b> Purifica el 20% del aire, también en autolimpiable. Al utilizar 100 m<sup>2</sup> NOxOFF este logra neutralizar la contaminación anual de un automóvil común (con un recorrido promedio anual de 12 000 km) La reducción de la contaminación es de al menos 4.0 mg/m<sup>2</sup>/h</p> <p><b>Casos de estudio:</b> • Si utilizáramos este producto en la superficie de parqueadero de Makro, home center y jumbo que tienen una superficie estimada de 48124.32 m<sup>2</sup>, NOxOFF lograría neutralizar la contaminación de 481 vehículos que recorran 12 000 km</p>
(a) Gráfico, NoxOff	 <p>(b) Material NoxOff Materfad</p>

Imagen 20. Descripción NOxOFF Elaboración propia.

Es un recubrimiento que se utiliza generalmente en concreto húmedo, techos de betún y superficies de carreteras de asfalto en las que se agrega dióxido de titanio(19) que al entrar en contacto con la luz solar se activa NoxOff, el tratamiento captura, encapsula y degrada el dióxido de carbono que se encuentra en el aire y es removido por la lluvia, las partículas de dióxido de carbono se convierten en nitrato, que se utiliza para fertilizar el suelo.

**Palabras Clave:** Fotocatálisis, AIF

**Destinación del producto:** Dinamarca

**Tipo:** Recubrimiento, adoquines, manto asfáltico

**Reducción de contaminación:** Purifica el 20% del aire, también en autolimpiable. Al utilizar 100 m<sup>2</sup> NOxOFF este logra neutralizar la contaminación anual de un automóvil común (con un recorrido promedio anual de 12 000 km)

Si utilizáramos este producto en la superficie de parqueadero de Makro, home center y jumbo que tienen una superficie estimada de 48124.32 m<sup>2</sup>, NOxOFF lograría neutralizar la contaminación de 481 vehículos que recorran 12 000 km

La reducción de la contaminación es de al menos 4.0 mg/m<sup>2</sup>/h.

FNNANO FN1	
 <p style="text-align: center;">FNNANO FN1</p> <p style="text-align: center;">Interior &amp; Exterior Limpia el aire de contaminantes y olores RECUBRIMIENTO FOTOCATALITICO Certificado para hormigón y...</p> <p>· Diseñado para aplicaciones sobre hormigón, piedra, fachadas y donde la mayor transparencia es importante. Recomendado para exteriores.</p>	<p>Palabras Clave: Recubrimiento fotocatalítico</p> <p>Destino del producto: España</p> <p>Tipo: Líquido</p> <p>Objeto de análisis: Su aplicación se permite en hormigón, piedra, tejas, ladrillo, cerámica Y superficies de color</p> <p>Reducción de contaminación: Destruye de 100 g de Nox/m<sup>2</sup>, COV y PM 2.5</p>
(a) Gráfico, FNNANO FN1	(b) Material FNNANO FN1 Materfad

Imagen 21. Descripción FNNANO FN1 Elaboración propia.

Recubrimiento fotocatalítico diseñado para aplicaciones sobre hormigón, piedra, fachadas y donde la mayor transparencia es importante (piedra, ladrillo, cerámica, tejas, superficies de color). Recomendado para exteriores.

Palabras Clave: Fotocatalítico

Destino del producto: España

Tipo: líquido

Objeto de análisis: Su aplicación se permite en materiales en hormigón, piedra, tejas, ladrillo, cerámica.y superficies de color

Reducción de contaminación: Destrucción de Nox, COV y PM2.5(20)

Este elimina 100g de Nox/m<sup>2</sup> de producto

Este producto además presenta características de autolimpieza

<b>Bionictile</b>	
 <p style="text-align: center;">Bionictile</p> <p>• Las piezas cerámicas llevan un esmalte catalizador que, en presencia de la luz solar y de la humedad ambiental, hace reaccionar las emisiones contaminantes (NOx y HNO3)</p>	<p>Palabras Clave: Esmalte fotocatalítico</p> <p>Destino del producto: España</p> <p>Tipo: Porcelana cerámica</p> <p>Objeto de análisis: Usar esta porcelana en fachadas</p> <p>Reducción de contaminación: 200 edificios descontaminarían al año un volumen equivalente a 2.638 millones de m3 de aire o lo que es lo mismo, más de 400.000 personas podrían respirar aire libre del perjudicial NOx durante un año</p> 
(a) Gráfico, Bionictile	(b) Material Bionictile Materfad

Imagen 22. Descripción Bionictile Elaboración propia.

Las piezas cerámicas llevan un esmalte catalizador que, en presencia de la luz solar y de la humedad ambiental, hace reaccionar las emisiones contaminantes (Nox y HNO3)

Palabras Clave: Esmalte fotocatalítico

Destino del producto: España

Tipo: Porcelana cerámica

Reducción de contaminación: 200 edificios descontaminarían al año un volumen equivalente a 2.638 millones de m3 de aire o lo que es lo mismo, más de 400.000 personas podrían respirar aire libre del perjudicial Nox durante un año(21)

UGP-KLIMCO	
 <p>UGP-KLIMCO</p> <p>· Compuesto fabricado a partir de residuos industriales generados en la fabricación del acetileno, optimizados y purificados, este presenta una elevada capacidad de captación del CO<sub>2</sub> ambiental, al estar compuesto básicamente por hidróxido de calcio.</p>	<p>Palabras Clave: Pavimento, CO<sub>2</sub></p> <p>Destino del producto: España</p> <p>Tipo: Pavimento</p> <p>Objeto de análisis: Permite una captación de Dioxido de carbono por 15-20 años</p> <p>Reducción de contaminación: Elimina 0.89 kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de pavimento</p>
(a) Gráfico, UGP-KLIMCO	(b) Material UGP-KLIMCO Materfad

Imagen 23. Descripción Bionctile Elaboración propia.

Compuesto fabricado a partir de residuos industriales generados en la fabricación del acetileno, optimizados y purificados, este presenta una elevada capacidad de captación del CO<sub>2</sub> ambiental, al estar compuesto básicamente por hidróxido de calcio.

Palabras clave: Pavimento, CO<sub>2</sub>

Destino del producto: España

Tipo: Pavimento

Objeto de análisis: Permite una captación de Dióxido de carbono por 15-20 años

Reducción de contaminación: Elimina 0.89 kg de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de pavimento.

Photocat garden:



Imagen 24. Material Photocat Garden. Shineonrenotech

Es una impregnación de hormigón con atributos fotocatalíticos. Es un tratamiento de superficie transparente que se adhiere al concreto sin cambiar el color de la superficie. Este contribuye positivamente al medio ambiente tanto al reducir los contaminantes del aire como al reducir el mantenimiento (22).

Palabras Clave: Descontaminantes

Destinación del producto:

Tipo: Recubrimiento

## ProClean – Air:



Imagen 25. Material ProClean – Air. Fotocatálisis

Es una pintura fotocatalítica que tiene diferentes aplicaciones como lo es para interiores, exteriores, pavimento y aceras, en ambientes abiertos aprovecha el contacto directo con agentes contaminantes y en ambientes cerrados tiene características de desinfectante, desodorante y bactericida y así mismo previene la propagación de infecciones respiratorias que se encuentren en dicho ambiente, tiene características de material descontaminante y autolimpiable, pues elimina material particulado como el Nox, Sox y el CO<sub>2</sub>, tiene la capacidad de prevenir la aparición de suciedad y moho recurrente en paredes(23).

Palabras Clave: Pintura fotocatalítica, Descontaminante

Destino del producto: España

Tipo: Pintura

Reducción de contaminación: Alcances pintura ProClean – Air

PINTURA	ELIMINACIÓN NOx (%)
Pintura incolora	51,80
Pintura blanca	15,40
Pintura roja	25,50
Pintura verde	24,60
Pintura azul	22,40
Pintura negra	16,80
Pintura amarilla	23,50

Imagen 26. Alcances Material ProClean – Air. Fotocatálisis

## Actifloor – Pure genius:



Imagen 27. Material Actifloor – Pure genius. Actifloor

Pure Genius es un agente purificador de aire que gracias a tener características de un material fotocatalizador que al ser activado por la luz el dióxido de titanio que se encuentra en la superficie del suelo

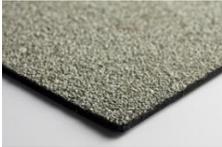
Palabras Clave: Piso descontaminante,

Destinación del producto: Francia

Tipo: Suelo

Reducción de contaminación: Reduce la cantidad de los compuestos orgánicos volátiles hasta en un 85%(24).

A partir de estos materiales se realizó una tabla síntesis de acuerdo a dos agentes contaminantes (NOx – CO<sub>2</sub>) identificando el tipo de material que este neutraliza como agente contaminante, a su vez se seleccionarán los materiales que se utilicen para la realización del tercer objetivo

Materiales con fijación de NOx (Óxidos de nitrógeno)*					
Nombre del producto	Imagen	Agentes que descontamina	Procedencia	Elemento constructivo	Fijación por m <sup>2</sup> o % de adsorción
Air Clean		NOx y VOC Óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles	Breincó - España	Adoquín con dióxido de titanio	70% al año
Bionictile		NOx y HNO <sub>3</sub> Óxidos de nitrógeno y ácido nítrico	Ceracasa - España	Cerámica	270,91 mg por hora de NOx 2.38 kg por año por m <sup>2</sup> de cerámica
NOxer		NOx óxidos de nitrógeno	Vinci y Mitsubishi	Pavimento	4mg por hora
NOx - Active		NOx óxidos de nitrógeno	Francia	Recubrimiento asfáltico	Fija la cantidad de NOx de 25 carros que se desplazan 26000 Km
ProClean - Air		NOx óxidos de nitrógeno	España	Pintura fotocatalítica	51.8%
NoxOff		NOx óxidos de nitrógeno	Dinamarca	Recubrimiento (líquido)	4mg por hora
FNNANO FN1		NOx óxidos de nitrógeno	República Checa	Líquido	100 gr por m <sup>2</sup>

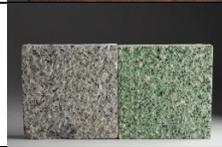
Materiales con fijación de CO <sub>2</sub> (Dióxido de carbono)*					
GeoSile x		CO <sub>2</sub> Dióxido de carbono	Trenzamet al - España	Aglomeran te	Fija el 50% del peso
Ecograni c		CO <sub>2</sub> Dióxido de carbono	PVT - España	Losa fotocatalític a	78mg por hora de CO <sub>2</sub> , 0.69 kg por año
UGP- KLIMCO		CO <sub>2</sub> Dióxido de carbono	Baldoexpor - España	Pavimento fotocatalític o	0.86 kg de CO <sub>2</sub> por m <sup>2</sup> de pavimento
Connect a		CO <sub>2</sub> Dióxido de carbono	ICA Solucions - España	Emulsión	

Tabla 12. Resultados materiales ficha técnica (Elaboración propia).\*La gran mayoría de los materiales expuestos en el cuadro fueron sacados de plataformas como el materfad y Asociación ibérica de la fotocatalisis: AIF

A partir de esta tabla y de los alcances que tiene cada uno de los materiales allí expuestos definieron 7 materiales para utilizar en la manzana de las artes escénicas (especificado en el objetivo 3) donde se evidencia una descontaminación del aire, cuatro de estos materiales tienen como característica principal la eliminación de NO<sub>x</sub>, estos son:

- NO<sub>x</sub>-active: Se utilizará como manto asfáltico en una de las cubiertas del proyecto
- ProClean – Air: Se utilizará como pintura que recubrirá la superficie del suelo del segundo nivel
- NO<sub>x</sub>OFF: Que se utilizará como recubrimiento en los adoquines que se utilicen al interior del proyecto
- FNNANO FN1: Será utilizado, aprovechando sus múltiples aplicaciones en las tejas del proyecto y las superficies exteriores de la sala múltiple

Por otro lado, los tres materiales que se encarga de eliminar el CO<sub>2</sub> en el proyecto son:

- Geosilex: Que se utilizará como aglomerante o aditivo en las superficies de concreto del proyecto, específicamente las paredes exteriores del proyecto y las superficies del teatro al aire libre.
- Ecogranic: Que será utilizado en los adoquines que se encuentran en el hall de acceso y que gracias a sus alcances como material descontaminante traerá resultados positivos para el proyecto y su entorno inmediato.
- UGP-KLIMCO: Este pavimento por su versatilidad se utilizará sobre el pompeyano destinado como el acceso principal del proyecto.

Durante la etapa de investigación se lograron otras investigaciones que permitieron el conocimiento de más elementos arquitectónicos y urbanos que descontaminan el aire de agentes contaminantes. Actualmente ya hay una alternativa para la adsorción de material particulado, esta alternativa es el cemento fotocatalítico (Argos es una empresa Colombiana que ha estado promoviendo el uso de este concreto, además de ofrecerlo como uno de sus productos), este cemento tiene en su composición partículas de dióxido de titanio, este tipo de opciones ya han sido verificadas y hay una gran cantidad de materiales que cuentan en su composición con dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) la gran limitación de este compuesto químico es la variable costo – beneficio, pues a pesar de que el beneficio al usar este compuesto permite una fijación del CO<sub>2</sub>, tiene un alto costo, convirtiéndolo en una opción de difícil acceso, al identificar esta problemática, este proyecto busca encontrar otras alternativas que permita los mismos alcances del dióxido de titanio pero con una mayor accesibilidad para el medio.

Pureti: Esta empresa, cuya filial se encuentra en la ciudad de Bogotá, Brinda soluciones para la purificación continua del medio ambiente, tanto exteriores como interiores al aplicar alguno de los tres productos de la marga Pureti descompone y elimina la suciedad, malos olores, bacterias y demás contaminantes del aire en presencia de la luz UV; esto promueve el bienestar y la seguridad de las personas, mejorando el ambiente y la sostenibilidad de los espacios, y reduciendo los costes de mantenimiento de los inmuebles. Este compuesto a base de agua y partículas ultrafinas de dióxido de titanio. Se aplica mediante micro-nebulización sobre todo tipo de superficies

Alcances: Al aplicar 1m<sup>2</sup> del producto se consigue destruir el óxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) que produciría un vehículo en 10.000.

Si este producto lo aplicáramos en toda el área construida de los bloques de la UPB (Sin contar fachadas, paredes interiores, ni elementos estructurales) y el área construida de Unicentro (Sin contar cubierta, divisiones interiores, ni elementos estructurales) estaríamos aplicando 245 086.21m<sup>2</sup> (Aproximadamente) esto significaría hacer la limpieza del material particulado antes mencionado de todos los carros que había en la ciudad de Medellín para el año 2018 (258 441 vehículos) durante los primeros 9483.26 Km recorridos.

Pureti recibió un testeo en la universidad en el mes de noviembre del año 2019, aunque a pesar de haberse utilizado el producto, este no fue aplicado de manera correcta. Es por esto por lo que no logra evidenciarse un cambio significativo entre los paneles solares que fueron expuestos al producto y los que no, posteriormente se realiza una revisión durante los 3 primeros meses del 2020 verificando si se consigue una mayor eficiencia por parte de los paneles que reciben dicha aplicación.





Imágenes 28, 29, 30, 31, 32 y 33. Pruebas Pureti, Elaboración propia

Para verificar los alcances obtenidos por el producto Pureti se le pidió a Andrés Felipe Eusse Giraldo y a Luis Felipe Duarte Herrera profesores e investigadores por parte de la MICRO-RED de la Universidad Pontificia Bolivariana, dar a conocer los rendimientos obtenidos por los paneles solares que están siendo evaluados, este determinó realizar un análisis ANOVA (análisis de varianza) para identificar las diferencias de potencia y energía de cada uno de los paneles, este análisis permite determinar si hay diferencia en el promedio de las muestras realizadas y tras la realización de este análisis se llega a la conclusión de que no hay una diferenciación estadísticamente significativa en el promedio de la potencia o energía generada por los paneles con o sin tratamiento, Andrés anexa dos tablas que permiten identificar la potencia y la energía obtenida por los paneles.

## 5.2 Comparación Anova Potencia

uinverter	08/12/2019	04/01/2020	07/02/2020	05/03/2020	02/03/2020	Promedio
1	92.52	15	45.62	142.97	51.05	<b>69.43</b>
9	89.5	13.6	39.12	152.38	51.55	69.22
19	89	12.7	37.9	150.92	49.7	68.04
7	94	13	34.13	146.65	45.35	66.63
8	90.55	13.75	41.35	145.83	54.05	69.11

Tabla 13. Potencia paneles solares (Elaboración Andrés Eusse – Luis Duarte)

## 5.2 Comparación Anova Energía

uinverter	08/12/2019	04/01/2020	07/02/2020	05/03/2020	02/03/2020	Promedio
1	704.916533	380.4	244.866667	1004.175101	290.63908	<b>524.999476</b>
9	652.251695	346.383333	249.383333	994.426251	293.547701	507.198462
19	564.949063	338.333333	239.45	866.583878	270.478161	455.958887
7	651.069343	335.95	246.566667	990.555044	286.377586	502.103728
8	666.915001	354.45	244.2	1006.278511	293.106322	512.989966

Tabla 14. Energía paneles solares (Elaboración Andrés Eusse – Luis Duarte)

Teniendo en cuenta que el panel solar que recibió el tratamiento fue el panel #1 y los otros paneles fueron elegidos aleatoriamente para permitir determinar una diferencia significativa por parte de los paneles, a pesar de que el panel seleccionado en potencia y energía tenga una eficiencia ligeramente mayor a los otros, estos resultados no son suficientes para comprobar la efectividad del tratamiento, pero tampoco se puede descartar la efectividad del producto debido a

la forma y a las condiciones en las que fue aplicado el producto, pues este fue realizado por un aspersor manual, mientras que la empresa determina su aplicación por medio de una pistola de pulverización automática.

Una de las aplicaciones de materiales descontaminantes, sucedió para el año 2002, en la ciudad de Milán, donde se construyó la superficie de una carretera de 7000 m<sup>2</sup> con cemento fotocatalítico obteniendo una reducción del 60% en la concentración del óxido de nitrógeno (NOx) en el nivel de la calle, actualmente hay dos ciudades españolas (Madrid y Barcelona) con licitaciones abiertas con la aplicación de soluciones fotocatalíticas.



Imagen 34. Iglesia Jubileo de Roma. Twitter

En la iglesia de Jubileo de Roma se ve la aplicación de un cemento fotocatalítico (TX Active) patentado por la empresa Italiana Italcementi, que tras el contacto con la luz del sol permite reducir aquel material particulado que se encuentre presente en el aire, la aplicación de este material en una superficie de 1000 m<sup>2</sup> equivaldría a plantar 80 árboles de hoja Caduca, a su vez permite eliminar la contaminación producida por 30 vehículos de gasolina o 10 vehículos diesel, los distribuidores aseguran que si se utilizara en superficies urbanas expuestas a la radiación del sol podría alcanzar a reducir el 50% de la contaminación, este tipo de cemento también está siendo distribuido por la empresa colombiana ARGOS, donde asegura que su concreto fotocatalítico degrada contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NOx), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's), Material particulado (PM), esto favorece a la reducción de las formaciones de Ozono (O<sub>3</sub>).

Otro aspecto a tener en cuenta durante la investigación fue un proyecto realizado en México por la empresa Biomitech donde desarrollaron un sistema de purificación a partir de lo que ellos llaman un árbol artificial llamado Biourban que tiene entre

sus beneficios la descontaminación del material particulado en un 99,7%, la captura de agentes nocivos como en CO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>2</sub>, su sistema de purificación tiene como descontaminante el uso de microalgas, esto permite que consuma la cantidad de CO<sub>2</sub> ocasionadas por 2980 personas en un día y es capaz de producir la cantidad de oxígeno que producirían 368 árboles anualmente.



Imagen 35. Biomitech. Mas - México

Por otro lado una de las posibles soluciones para evitar la gran cantidad de CO<sub>2</sub> arrojados por la producción de cemento es producir este cemento con una delgada capa de grafeno que le permite mayor resistencia y durabilidad del material por menor cantidad de cemento, este material es capaz de reducir 446 kg por cada tonelada de emisiones de CO<sub>2</sub> provocada por la producción del cemento, a pesar de los altos costos que llevaría su producción.

Como elemento común se utilizará un proyecto que utilice este tipo de materiales que permitan la descontaminación de su entorno

## **5.2 Implementación de materiales descontaminantes en un proyecto arquitectónico en búsqueda de un nodo descontaminante**

Para resolver el tercer objetivo, para convertir un proyecto en un nodo descontaminante se opta por utilizar un proyecto realizado para el taller vertical de la UPB de patrimonio y reciclaje realizado en el municipio de Santa Cruz de Lorica del departamento de Córdoba.

Se decide intervenir el palacio de las trece columnas y su manzana correspondiente, identificando la necesidad de generar la manzana de las artes escénicas, en esta utilizaremos algunos de los materiales encontrados en la investigación, para identificar este proyecto como un nodo descontaminante.

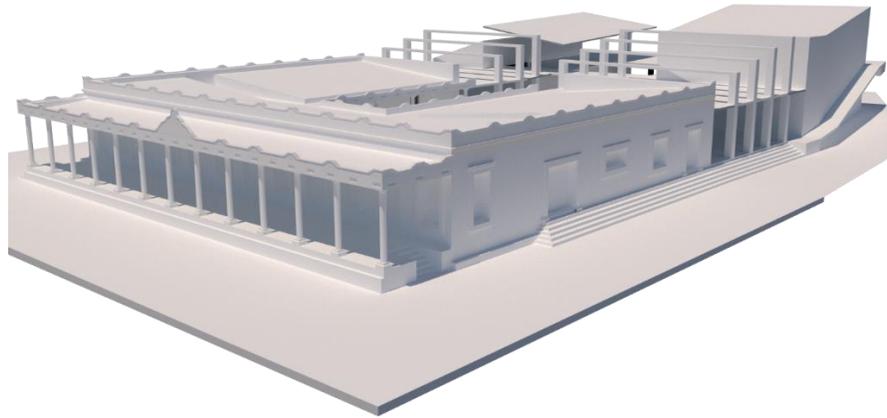


Imagen 36. Manzana de las artes escénicas (Elaboración propia)

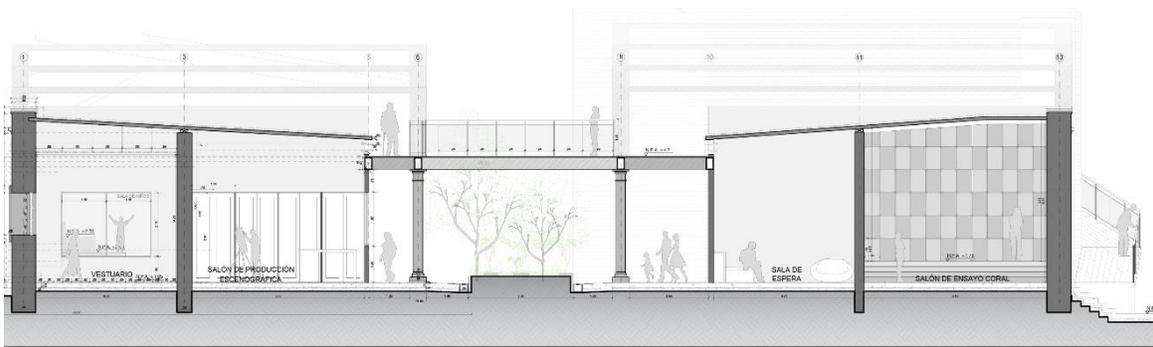


Imagen 37. Sección 1 Manzana de las artes escénicas (Elaboración propia)

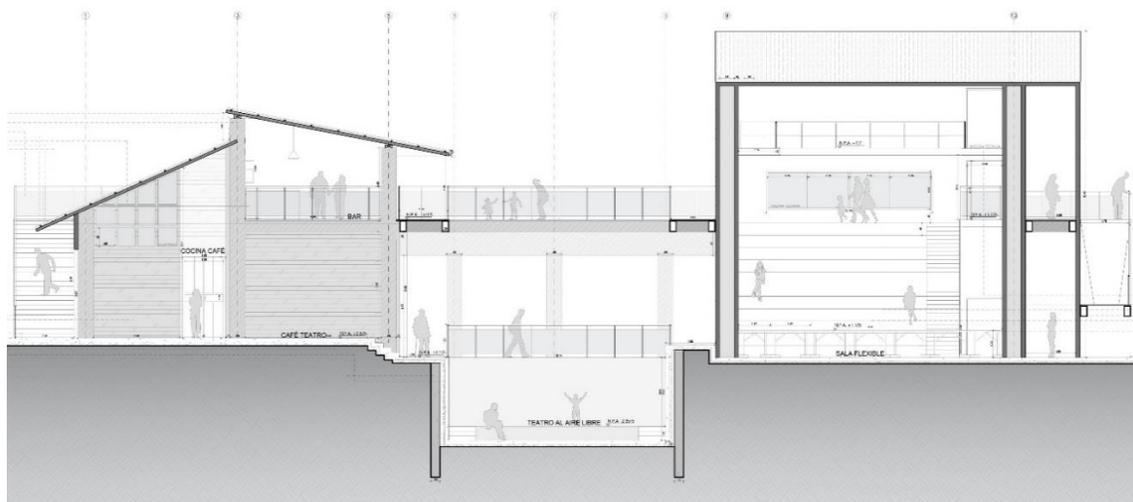


Imagen 38. Sección 2 Manzana de las artes escénicas (Elaboración propia)

## Superficies adoquinadas

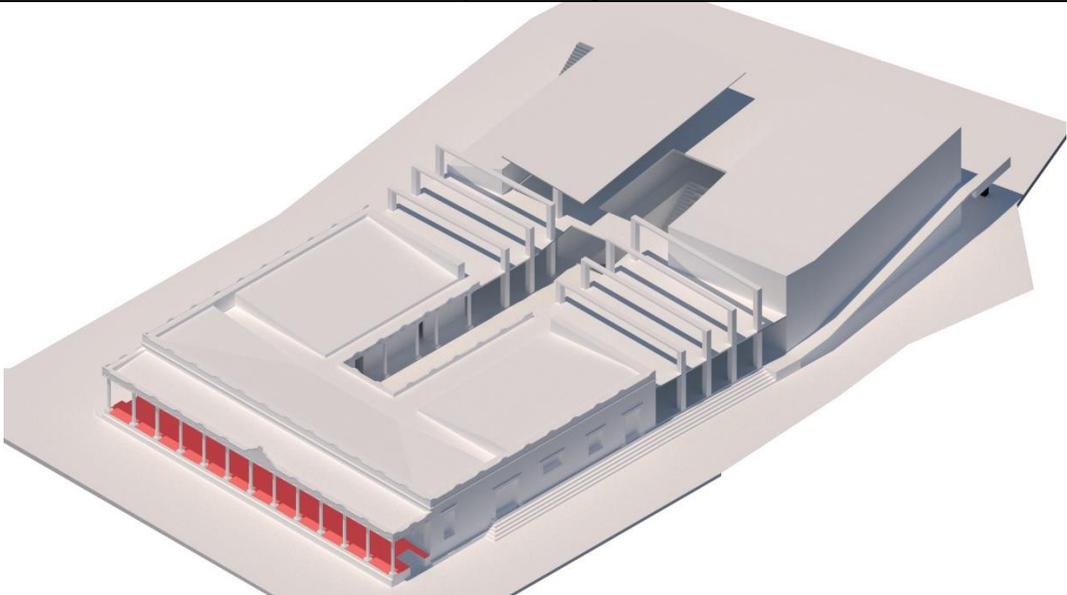
Adoquín Ecogranic

Área dispuesta del material: 162.15m <sup>2</sup>
Material Fijado: NOx
Cantidad de agente contaminante por año: 110.8 kg

Imagen 39. Ecogranic en la Manzana de las artes escénicas (Elaboración propia)

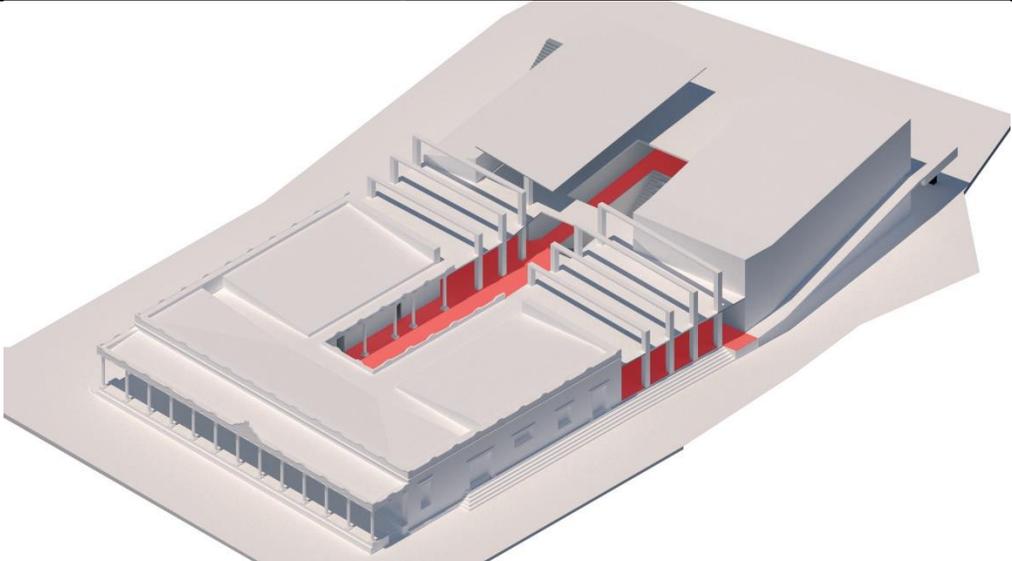
Adoquín con NOx - OFF

Área dispuesta del material: 1494.3 m <sup>2</sup>
Material fijado: NOx
Cantidad de agente contaminante por año: 52.36 kg

Imagen 40. NOx – OFF en la Manzana de las artes escénicas (Elaboración propia)

Las áreas dispuestas para adoquines al interior del proyecto permite tener una cantidad de 163.16 kg de NOx fijado por este tipo de elementos

**Superficies en cubiertas**

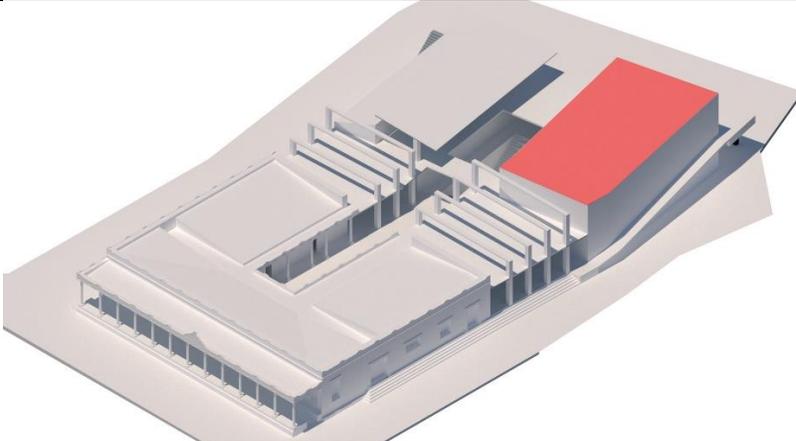
<b>Manto asfáltico NOx Active</b>

Área dispuesta del material: 281.2 m <sup>2</sup>
Material Fijado: NOx
Cantidad de agente contaminante por año: 6.8 kg

Imagen 41. NOx Active en la Manzana de las artes escénicas (Elaboración propia)

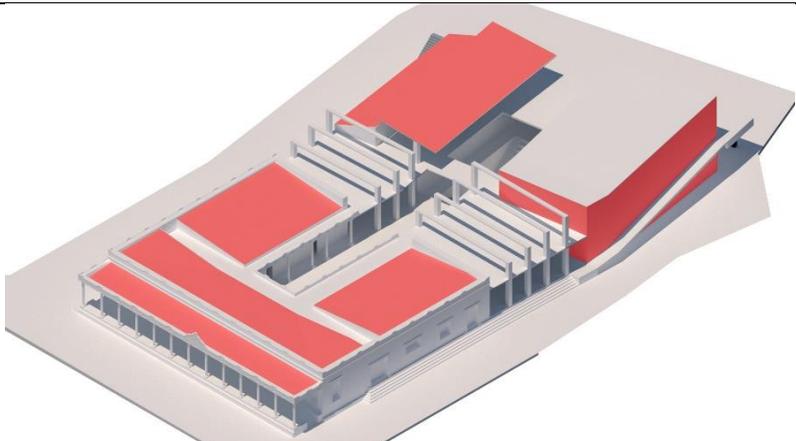
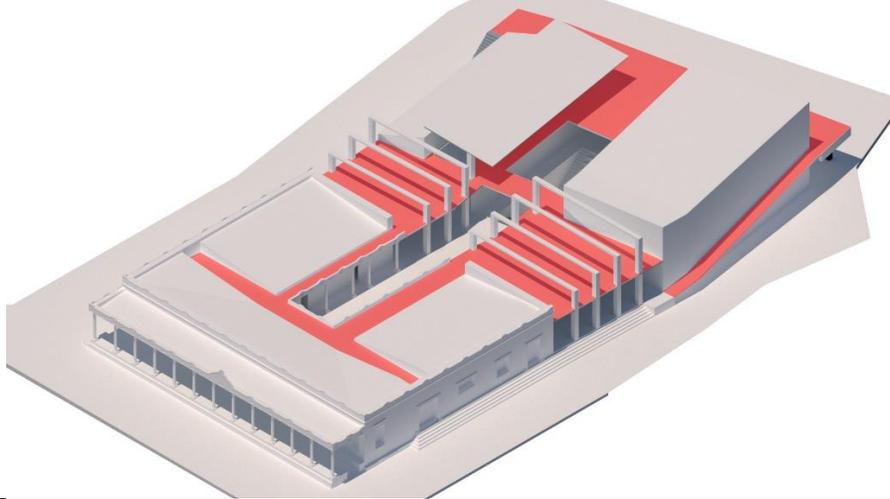
<b>Recubrimiento FNNANO FN1</b>

Área dispuesta del material: 1556.23 m <sup>2</sup>
Material Fijado: NOx
Cantidad de agente contaminante por año: 0.16 kg

Imagen 42. FNNANO FN1. Manzana de las artes escénicas (Elaboración propia)

Las áreas dispuestas para cubiertas al interior del proyecto permite tener una cantidad de 6.96 kg de NOx fijado por este tipo de elementos

## Recubrimiento en pisos y paredes

### Pintura fotocatalítica incolora ProClean - Air



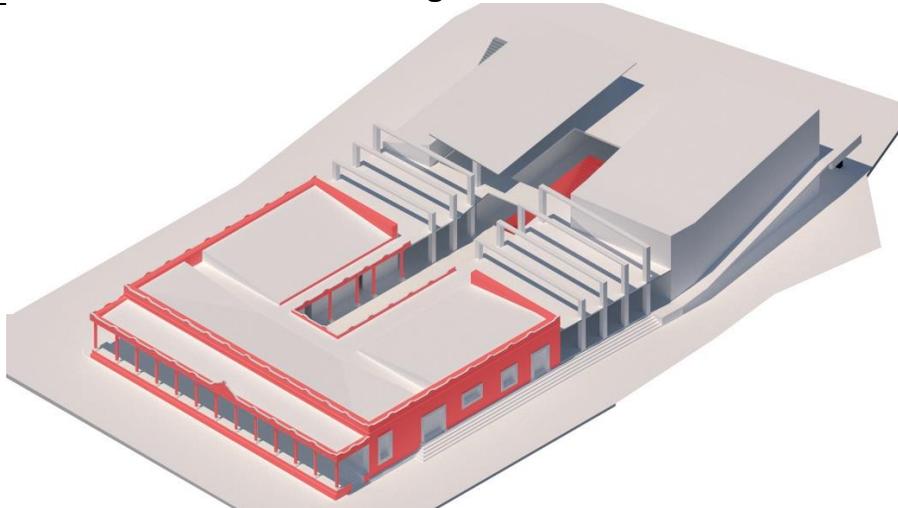
Área dispuesta del material: 1000.55 m<sup>2</sup>

Material Fijado: NO<sub>x</sub>

Cantidad de agente contaminante por año: 29.35 kg

Imagen 43. ProClean – Air en la Manzana de las artes escénicas (Elaboración propia)

### Recubrimiento aglomerante Geosilex



Área dispuesta del material: 28.72 m<sup>3</sup>

Material Fijado: CO<sub>2</sub>

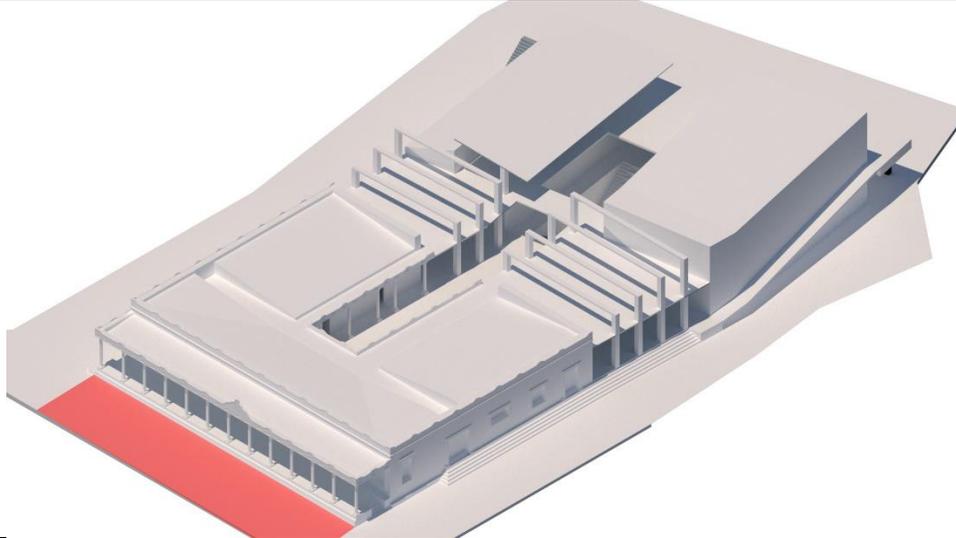
Cantidad de agente contaminante: 1723.2 kg

Imagen 44. GeoSilex en la Manzana de las artes escénicas (Elaboración propia)

Las áreas dispuestas para recubrimientos en pisos y paredes al interior del proyecto permite tener una cantidad de 29.35 kg de NO<sub>x</sub> y 1723.2 kg de CO<sub>2</sub> fijado por este tipo de elementos

## Pavimentos

### Pavimento UGP-KLIMCO



Área dispuesta del material: 464.3 m<sup>2</sup>

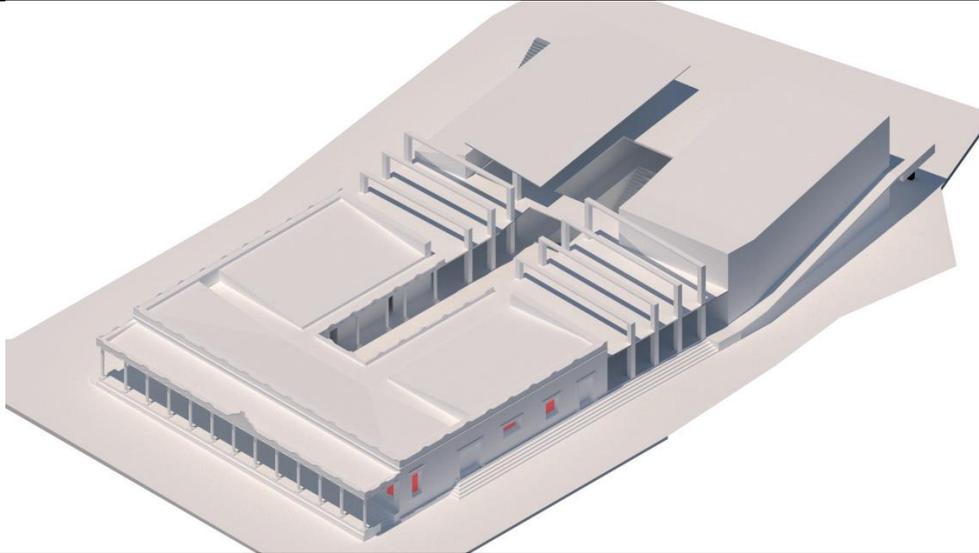
Material Fijado: CO<sub>2</sub>

Cantidad de agente contaminante: 413.23 kg

Imagen 45. UGP-KLIMCO en la Manzana de las artes escénicas (Elaboración propia)

## Superficies vidriadas

### Vidrios con aditivo Pureti



Área dispuesta del material: 42.86 m<sup>2</sup>

Material Fijado: NOx

Cantidad de agente contaminante: 159.83 kg

Imagen 46. Pureti en la Manzana de las artes escénicas (Elaboración propia)

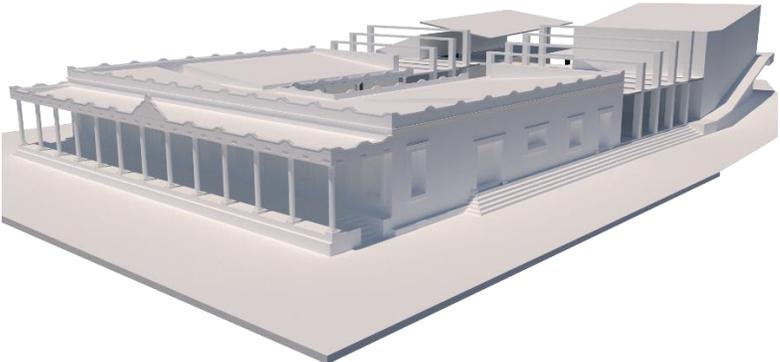
TOTAL DE MATERIAL FIJADO	
	NOx
	359.3 Kg
	CO2
	2136.43 Kg

Imagen 47. Total material fijado en la Manzana de las artes escénicas (Elaboración propia)

Al utilizar estos materiales en un proyecto arquitectónico podemos identificar los alcances que tendríamos si hicieramos uso de estos materiales en nuestros proyectos arquitectónicos, como aporte la arquitectura y la construcción deberían tomar este tipo de iniciativas que conviertan sus proyectos (solo desde la descontaminación del aire por los agentes activos en los materiales) en nodos descontaminantes que reduzcan la contaminación ambiental y mejore las condiciones de vida de las personas que habitan el proyecto arquitectónico.



Imagen 48, Planta Manzana de las artes escénicas (Elaboración propia)

## 6. CONCLUSIONES

A manera de conclusión este trabajo de investigación permitió el encuentro y recopilación de material importante para futuros alcances frente al uso de materiales descontaminantes y utilizarlos en futuros proyectos como filtros ambientales, por otro lado, se identifican los alcances de esta investigación como material que aporte a futuras investigaciones sobre materiales descontaminantes, específicamente las condiciones del aire.

El primer objetivo donde se pretendía la creación de un nuevo material, obtuvo avances importantes, a pesar de este no haberse concluido, pero se logró identificar posibles siguientes pruebas de laboratorio haciendo uso de un agregado de mayor tamaño que permita la porosidad del material, por otro lado hacer uso dentro de futuras investigaciones del cemento con aire incluido, que permitirá un progreso significativo del material fijado.

En el segundo objetivo, se encuentran materiales que permitan usarse para diferentes tipos de exigencias arquitectónicas, donde además deja pendiente una futura investigación de la mano de nuevos materiales como pureti, teniendo en cuenta que el resultado que obtuvo en esta investigación no era la esperada debido al método de aplicación

En el tercer objetivo, se logra identificar un proyecto arquitectónico, con alcances y beneficios para su entorno cercano, permitiéndole convertirse en nodo descontaminante, incluso dando cabida a entidades como la UPB a utilizar en futuros proyectos este tipo de materiales que aportan a su condición de carbono cero.

## **7. RECOMENDACIONES**

Para futuras investigaciones se pueden utilizar en una escala macro a nivel urbana e identificar los alcances que tendría un proyecto urbano como el plan parcial de parques del río utilizando en su totalidad materiales descontaminantes y determinar los beneficios que estos materiales traerían no solo a su entorno cercano, sino también a nivel de ciudad, por otro lado, para el desarrollo del nuevo material, se deben determinar desde un principio la mayor realización de probetas que permitan una investigación más exhaustiva y así encontrar resultados más variados e incluso que a partir de estos resultados se busque la fusión de los mejores resultados teniendo presente la descontaminación del medio ambiente como eje principal del proyecto de investigación, dar cabida a empresas nacionales para la investigación de materiales que se encuentren en periodo de proyección en el medio, evidenciar los alcances de este tipo de materiales para que entes público – privados presenten un mayor interés en el uso de estos materiales en sus proyectos arquitectónicos, mencionando antes de la ejecución del proyecto los alcances de descontaminación que estos nuevos proyectos podrían tener.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- (1) Autie-Pérez, M, A. Blanco-Flores, A. Autie-Castro, G. Ricardo-Páez. S. (2011) Carbones activados a partir de anamú (*Petiveria alliacea* L.). Sus Características como adsorbente. Parte I. Adsorción de CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>. En Revista CENIC Ciencias Químicas, Vol 42, N 1 (17-23) La Habana, Cuba.
- (2) Autie-Pérez, M, A. Fernández, G, M. Carrera, G, M. (2002) Adsorción de dióxido de carbono y amoníaco en un carbonizado de cascara de coco. En Revista CENIC Ciencias Químicas, Vol 34, N 2 (97-99) La Habana, Cuba.
- (3) Chávez-Ulloa, E. Pérez, L, T. Reyes, T, J. Corvo, P, F. Osorno, C, J, B. En carbonatación de concreto en atmósfera natural y cámara de carbonatación acelerada. Revista CENIC Ciencias Químicas. La Habana, Cuba.
- (4) Djordjevic, T, K. Joksimovic, D, Oija. Jovanovic-Popovic, M, Dj. (2018) Consumo de energía y reducciones de emisión de co<sub>2</sub> a través de la renovación de los techos de los edificios residenciales aplicando el sistema de techo verde. 10.2298/TSCI170530127D
- (5) Samsun, N. Zain, M, E, M. Amir, H, K, A. Abu Hasan, H. Riad Hasan, Md. (2017) Avances en la reducción fotocatalítica de co<sub>2</sub> con agua: una revisión. 10.3390/ma10060629
- (6) Metáfora Visual S.L. (2018) ¿Qué es la contaminación ambiental?. Recuperado de: <https://cuidemoselplaneta.org/contaminacion-ambienta/>
- (7) Instituto para la Salud Geoambiental. (2019) Material particulado. Recuperado de: <https://www.saludgeoambiental.org/material-particulado>
- (8) RISCTOX. (2010) Compuestos orgánicos volátiles (COV). Recuperado de: <https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=621>
- (9) Mejía, Susana, Impacto ambiental de la construcción, (18 de febrero de 2018). Impacto ambiental de la construcción. Recuperado de: <http://edificioquimbaya.com/2018/02/26/impacto-ambiental-construccion/>
- (10) Sousa, R. Álvarez, E, A, C. Rojas, P, N. Melo, L, S, F. Romero, O, G. Riveros, S, L C. Calderón, D, S, L. Vazao, C. (2018) Mitigación del cambio climático con un Sistema de Comercio de Emisiones en Colombia: primeros hallazgos económicos. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/estudios%20economicos/469.pdf>

- (11)(12) Consejo Nacional de Política Económica y Social, (23 de marzo de 2018). política nacional de edificaciones sostenibles. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3919.pdf>
- (13) El congreso de Colombia. (31 de diciembre de 2019). Fundamento de la política ambiental colombiana. Recuperado de: [http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0099\\_1993.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html)
- (14) Ecogranic. EcoGranic®: pavimento descontaminante de hormigón. Recuperado de: <https://pvt.es/ecogranic/>
- (15) Vallas Metalia. (13 de febrero de 2013) Geosilex Trenza Metal ha sido galardonada con el Primer Premio de Construcción Sostenible de Castilla y León. Recuperado de: <http://vallasmetalia.com/actualidad/noticias/25-geosilex-trenza-metal-ha-sido-galardonada-con-el-primer-premio-de-construccion-sostenible-de-castilla-y-leon>
- (16) Italcementi. TX Active ® - El ingrediente activo fotocatalítico. Recuperado de: <https://www.italcementi.it/it/txactive-principio-attivo>
- (17) Breinco (25 de enero de 2010) eco-logic® by Breinco mejora la calidad del aire para mejorar nuestra calidad vida. Recuperado de: [https://www.breinco.com/pdfs/noticias/resum\\_informe.pdf](https://www.breinco.com/pdfs/noticias/resum_informe.pdf)
- (18) Bmi Group. NOx – Activ – Cubiertas descontaminantes. Recuperado de: <https://www.bmigroup.com/es/productos-y-sistemas-para-tejados/productos-para-cubierta-plana/bmi-icopal>
- (19) ProClean Air – Paints. PRO CLEAN-AIR. Pintura descontaminante y autolimpiante. Basada en la Tecnología de Fotocatálisis Recuperado de: <https://www.procleanair-paints.com/proclean-air>
- (20) Lauzon Flooring. Piso inteligente. Recuperado de: <https://lauzonflooring.com/pure-genius/smart-floor/>
- (21) Photocat. Recuperado de: <http://photocat.net/wp/noxoff/>
- (22) Photocat. Limpiamos el aire que respiramos, hormigón limpio que dura. Recuperado de: <http://photocat.net/wp/products/photocat-garden/>
- (23) Materfad. FNNANO FN1, Recubrimiento fotocatalítico para purificación de aire. Recuperado de: <http://es.materfad.com/material/2932/fnnano-fn1>

(24) Fotocatalisis. Bionictile® La cerámica que purifica el aire. En Ceracasa Ceramicasa. Recuperado de: <http://www.fotocatalisis.org/assets/doc450.pdf>