LA BIODEPURACIÓN DEL AIRE CON PLANTAS PURIFICANTES Y ORNAMENTALES, COMO ALTERNATIVA AMBIENTAL EN EL SIGLO XXI.

Presentado por:

LADY JOHANA PEDRAZA ORTIZ

20062180048

PROYECTO CURRICULAR: INGENIERÍA AMBIENTAL

MONOGRAFÍA DESCRIPTIVA

Director:

CESAR GARCÍA

SEMILLERO: “TECNOAPRO”

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

COLOMBIA

2015

“Las ideas emitidas por el autor son de exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente opiniones de la Universidad”
(Artículo 117, Acuerdo 029 de 1998).

A mi Familia, a mis profesores y a mis amigos.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincera y profunda gratitud a las siguientes personas:

En primer lugar me gustaría agradecer sinceramente a mi Director de tesis, El profesor Cesar García, por su gran dedicación, compromiso y esfuerzo.

Su orientación profesional, su gran conocimiento, su paciencia, persistencia y lo más importante de todo, su motivación, fueron fundamentales en la elaboración de esta monografía.

Agradezco también a mi familia, por su gran apoyo durante este tiempo, por su motivación y por creer en este nuevo logro que viene y en todas las oportunidades que se presentarán en el camino luego de ser profesional.

Agradezco a la Universidad por la formación que me brindó durante estos años y a los Jurados por tomarse el tiempo para revisar y darle su punto de vista a este documento.

Abstract

Este trabajo describe, desde la literatura científica disponible, algunos orígenes, la evolución y la eficacia de la biotecnología que purifica el aire interior con plantas vegetales. Define algunas características de estas plantas y las discusiones sobre su eficacia. Los Compuestos Orgánicos Volátiles COV son los principales contaminantes del aire interior, con concentraciones a menudo varias veces más altas que en el exterior. Se encontraron 37 especies que mediante su sistema maceta - planta pueden proporcionar a un bajo costo, eficiente y sostenible, la auto- regulación y un sistema de Biorremediación de la contaminación del aire interior, que puede complementar eficazmente las medidas de ingeniería para reducir la contaminación del aire en interiores, y por lo tanto mejorar el bienestar humano.

Palabras Clave: Biotecnología; Compuestos orgánicos volátiles; Contaminantes; Aire interior; Biorremediación.

This work describe, from the available scientific literature, some origins, developments and effectiveness of the biotechnology that purify indoor air using vegetable plants. Describe some characteristics of these plants and introduce discussions about their effectiveness. The Volatile Organic Compounds VOCs are major contaminants of indoor air, with concentrations often several times higher than outdoors. They found 37 species through its system of potted-plants can provide an efficient, low-cost, sustainable, self-regulating, bioremediation system for indoor air pollution, which can effectively complement engineering measures to reduce indoor air pollution, and hence improve human wellbeing.

Keywords: Biotechnology; Volatile organic compounds; contaminants; Indoor air; Bioremediation.

Contenido

Agradecimientos iv

Abstract v

Lista de tablas ix

Lista de figuras xi

Introducción 1

1 Formulación del problema 8

2 Justificación 8

3 Objetivos 9

3.1 Objetivo general 9

3.1.1 Objetivos específicos 9

4 Marco teórico 10

4.1 La contaminación del aire en espacios interiores 10

4.2 Los compuestos orgánicos volátiles (voc) 14

4.3 El síndrome del edificio enfermo (SBS) 17

4.4 La biorremediación 20

4.4.1 La fitorremediación 20

4.4.1.1 Fitorremediación en Colombia 21

4.4.1.1.1 Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas en Antioquia 22

4.4.1.1.2. Remoción de hidrocarburos en aguas usando tecnologías de fitorremediación, Manizales 23

4.4.1.1.3. Análisis de la mitigación del impacto ambiental en el lago del parque La Florida, por fitorremediación usando buchón de agua, Cundinamarca. 24

4.4.2 La biodepuración del aire 25

4.4.3 Biodepuración del aire con plantas vegetales. 25

5. Antecedentes legales, normativos e institucionales sobre calidad de aire en Colombia 29

5.1. Actores asociados a la Calidad de aire en Colombia 31

5.2. Normatividad sobre el Recurso Atmosférico en Colombia 31

6. Metodología 33

6.1. Recolección de información secundaria 33

6.2. Selección de la información 34

7. Resultados 36

7.1. Análisis estadístico de la información 36

7.2. Análisis de la revisión bibliográfica sobre purificación del aire 41

7.3. Revisión bibliográfica de la documentación seleccionada 43

7.4. Principales contaminantes del aire en espacios cerrados 61

7.5. Tecnología de biodepuración del aire 66

7.5.1. Remoción del benceno y del tolueno 71

7.5.2. Remoción del ozono 73

7.6. Principales Plantas Purificantes Para la Biodepuración del Aire Interior 73

7.6.1. Acción de las plantas sobre los principales voc 76

7.6.2. Análisis de las plantas biodepuradoras identificadas a partir de su taxonomía .. 81

7.7. Efectividad de la biodepuración del aire en espacios cerrados por medio de las plantas 86

7.7.1. El programa phyt'air 86

7.7.2. Investigaciones sobre biodepuración del aire interior con plantas 89

7.8. Especies de Plantas presentes en Colombia 92

Conclusiones 94

Recomendaciones 97

Referencias 98

Lista de tablas

Tabla 1 - Clasificación de contaminantes orgánicos de espacios interiores 14

Tabla 2 - Criterios de valoración documental 34

Tabla 3 - Distribución de documentos según su tipo 36

Tabla 4 - Distribución de documentos según criterio de tiempo de publicación 38

Tabla 5 - Distribución de documentos según criterio de carácter 38

Tabla 6 - Relevancia vs Alcance de la información 42

Tabla 7 - Relevancia vs Tiempo de publicación 42

Tabla 8 - Relevancia vs Carácter 43

Tabla 9 - Convenciones para la tabla de revisión bibliográfica 43

Tabla 10 - Documentos de la revisión bibliográfica - i (por orden de código) 45

Tabla 11 - Documentos de la revisión bibliográfica - ii (por orden de código) 57

Tabla 12 - Principales contaminantes en espacios interiores y directrices de la WHO 62

Tabla 13 - Principales fuentes de contaminantes y rutas de exposición 64

Tabla 14 - Datos de experimentos grupos de control y con plantas con follaje 68

Tabla 15 - Químicos removidos por plantas de hogar desde una cámara experimental sellada durante período de exposición de 24-HR 70

Tabla 16 - Benceno removido por Marginata dentro de una cámara sellada experimental 71

durante un período de exposición de 24-HR (Concentración en ppm) 71

Tabla 17 - Lista de Plantas Descontaminantes 74

Tabla 18 - VOC y número de plantas biodepuradoras identificadas en este trabajo 76

Tabla 19 - Plantas que actúan en la biodepuración del benceno 76

Tabla 20 - Plantas que actúan en la biodepuración del tricloroetileno 77

Tabla 21 - Plantas que actúan en la biodepuración del xileno 77

Tabla 22 - Plantas que actúan en la biodepuración del formaldehído 78

Tabla 23 - Plantas que actúan en la biodepuración del amoníaco 79

Tabla 24 - Plantas que actúan en la biodepuración del tolueno 80

Tabla 25 - Plantas que actúan en la biodepuración del monóxido de carbono 80

Tabla 26 - Plantas que actúan en la biodepuración del dióxido de carbono 80

Tabla 27 - Ubicación general de las plantas biodepuradoras según taxonomía I 82

Tabla 28 - Ubicación general de las plantas biodepuradoras según taxonomía II. 82

Tabla 29 - Distribución de las plantas biodepuradoras identificadas según clase y sub-clase 85

Tabla 30 – Lista de Plantas presentes en territorio Colombiano 93

Lista de figuras

Figura 1. Total de muertes atribuibles a la Contaminación del aire en hogares en el 2012. 13

Figura 2. Distribución de documentos según su tipo. 37

Figura 3. Distribución de documentos según su alcance. 37

Figura 4. Distribución de documentos según su tiempo de publicación. 38

Figura 5. Distribución de documentos según su carácter. 39

Figura 6. Distribución de documentos según su relevancia. 39

Figura 7. Distribución de documentos según su idioma. 40

Figura 8. Distribución de documentos según su acceso. 40

Figura 9. Distribución de documentos según tipo documento. 41

Figura 10. Distribución de las plantas biodepuradoras por super-división y división. 85

Introducción

"La contaminación atmosférica es el problema ambiental de mayor preocupación para los colombianos y el generador de los mayores costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). Estos costos, en el 2004, fueron estimados en 1,5 billones de pesos anuales, y estaban relacionados con efectos sobre la salud pública, mortalidad y morbilidad (Larsen, 2004, pág. 4). No obstante lo anterior, en el 2005 el Departamento Nacional de Planeación consideraba que el país no contaba con lineamientos nacionales para la formulación de estrategias coordinadas, eficientes y equitativas, orientadas a prevenir y controlar la contaminación del aire, lo que generaba como consecuencia, que las acciones locales y sectoriales se hubieran desarrollado en el pasado de manera aislada y las acciones para la prevención y el control de la contaminación del aire no hubieran sido evaluadas, sus logros no estaban documentados y los beneficios eran difícilmente comparables entre si (Departamento Nacional de Planeación, 2005, pág. 2).

La contaminación atmosférica ha sido en las últimas décadas una preocupación no sólo de ambientalistas y profesionales del ambiente, sino que ha empezado a tocar la sensibilidad y conciencia de muchos seres humanos. De hecho, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) de la Organización Mundial de la Salud (OMS), anunció en octubre de 2013 que había clasificado la *contaminación del aire* dentro del Grupo 1, es decir como un *agente cancerígeno para los seres humanos,* dado que hay evidencia suficiente en animales de experimentación y una fuerte evidencia en humanos expuestos, que el agente actúa a través de un mecanismo relevante de carcinogenicidad (Organización Panamericana de la Salud, 2013).

El hábitat humano evidencia actualmente numerosas fuentes de contaminación:

1. Los seres humanos pasan más del 90% de su tiempo en espacios interiores cerrados.
2. La contaminación del aire exterior que entra a los espacios interiores.
3. Las instalaciones que requieren combustión: calentadores fijos del ambiente y para agua caliente, chimeneas, calentadores auxiliares, aparatos de cocina.
4. Actividades humanas como el tabaquismo, la respiración y la bio-contaminación.
5. Productos domésticos: productos para el cuidado, limpieza, reparación y decoración de casas y edificios.
6. Materiales para la construcción y el amueblamiento.

Estos espacios contaminados afectan la salud de las personas. Entre los principales impactos se pueden indicar: a) irritaciones respiratorias, oculares o cutáneas, b) somnolencia, c) dolor de cabeza, d) fatiga general, e) alergias (causadas por bacterias u hongos), f) intoxicaciones agudas y mortales (la generada por monóxido de carbono CO), g) patologías a largo plazo (cardiovasculares, perturbaciones endocrinas, cáncer, etc.,).

En el ámbito colombiano, el problema ha sido identificado e incluso costeado. Larsen (2004) estimó el costo promedio anual por los impactos en la salud asociados con el problema de la contaminación del aire interior en Colombia alrededor de los 415.000 millones de pesos, de los cuales el 28% de ese costo estaba representado en la mortalidad de mujeres adultas, 47% relacionado con Enfermedades Respiratorias Agudas (ERA) en niños y mujeres adultas, 12% relacionado con mortalidad infantil por enfermedad respiratoria y un 13% en la morbilidad por enfermedades pulmonares obstructivas crónicas en mujeres adultas (pág. 33).

Los métodos de depuración del aire en espacios interiores son poco conocidos en la actualidad en el medio colombiano, por esta razón se ha visto la oportunidad de elaborar este

documento descriptivo que acopiando y seleccionado documentación pertinente, ofrezca en forma clara, sencilla y útil información académica que sirva de soporte a posteriores trabajos de investigación y de aplicación relacionada con la biodepuración del aire de compuestos orgánicos volátiles, en recintos o espacios interiores.

Esta monografía describe a partir de la literatura científica disponible, el origen y el nivel del desarrollo y efectividad de la biotecnología para la depuración del aire en espacios cerrados que utiliza plantas vegetales, detalla las características de algunas de esas plantas y presentará las discusiones sobre su efectividad.

1 Formulación del problema

La población desconoce gran parte de las alternativas ambientales para purificar el aire contaminado en recintos cerrados, así como también el país carece de investigaciones sobre la biodepuración del medio ambiente en su contaminación a través de alternativas ambientalmente sostenibles utilizando plantas purificantes y ornamentales.

2 Justificación

Debido a la falta de estudios en nuestro país y al desconocimiento en general de la población sobre el tema de la purificación del aire contaminado en recintos interiores, se plantea en este documento la purificación o descontaminación del aire a través de un método natural como lo es la utilización de ciertas plantas, las cuales a través de la fotosíntesis y de su metabolismo, pueden absorber y depurar de manera rápida, efectiva y a bajo costo este aire contaminado.

Los seres humanos pasan entre un 80 y un 90% de su tiempo en espacios cerrados y resulta que el aire interior está más contaminado que el aire exterior debido a la presencia de compuestos orgánicos volátiles (VOC por su sigla en inglés de *Volatile Organic Compounds*) que provienen de las pinturas, pegamentos, barnices, disolventes, materiales de construcción de casas o edificios o de artículos de limpieza y consumo habitual como detergentes, adhesivos, cigarrillos, alfombras, plásticos, pinturas. El formaldehído, xileno, tolueno, amoniaco, monóxido de carbono y benceno son los VOC más importantes y frecuentes (Asociación Española para la Cultura, el Arte y la Educación, 2014).

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar una monografía de carácter descriptivo sobre la biodepuración del aire utilizando plantas purificantes y ornamentales en espacios cerrados, como alternativa ambiental en el siglo XXI.

3.1.1 Objetivos específicos.

1. Realizar una revisión bibliográfica en artículos, bases de datos de universidades, libros, y la web sobre el tema de la purificación del aire con organismos vivos.
2. Realizar una búsqueda documental completa sobre el aire y su respectiva contaminación en espacios cerrados.
3. Averiguar en artículos científicos las principales plantas purificantes y los compuestos contaminantes, donde mediante bases documentales se demuestre su capacidad de depuración del aire; y de esta forma realizar un reporte de cada especie utilizada en la actualidad.
4. Analizar los documentos encontrados sobre el tema de la Biodepuración de aire en espacios cerrados, especies y contaminantes para posteriormente seleccionar la información acorde al desarrollo del objetivo general.
5. Finalmente realizar un documento síntesis de la información encontrada que aplique al tema propuesto y presentar sus respectivas conclusiones.

4 Marco teórico

4.1 La contaminación del aire en espacios interiores

La preocupación por la contaminación del aire en espacios interiores se inició a partir de la década de los setenta cuando ocurrió el embargo del petróleo por parte de los países miembros de la OPEP[1]. Esto trajo como consecuencia entre otras, la creación de la Agencia Internacional de Energía (IEA por su sigla en inglés) con los objetivos en materia de seguridad energética (diversidad, eficiencia y flexibilidad en todos los sectores energéticos), desarrollo económico, conciencia ambiental y búsqueda de soluciones a preocupaciones ambientales[2], así como la presión por la eficiencia energética a través del incremento en las regulaciones por el uso y consumo de energía.

Uno de los sectores que rápidamente se afectó por la crisis energética y las regulaciones fue el sector de la construcción y de manera más específica la construcción de edificios. Las regulaciones llevaron a la búsqueda de soluciones que redujeran el consumo de energía en los sistemas de ventilación, iluminación, uso del agua, lo que a su vez llevó a la construcción de espacios más sellados, uso de vidrios energéticamente más eficientes y a la reducción en las tasas de intercambio entre el aire interno y externo. Sin embargo estas soluciones generaron con el tiempo efectos adversos a la salud de las personas, lo que más tarde se llegó a conocer como el "síndrome del edificio enfermo".

[1] Durante la guerra entre árabes e israelíes de 1973, los miembros árabes de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) impusieron un embargo contra Estados Unidos como represalia por la decisión estadounidense de re-abastecimiento de las fuerzas armadas israelíes y de ganar influencia en las negociaciones de paz de la posguerra. Miembros árabes de la OPEP también extendieron el embargo a otros países que apoyaron a Israel incluyendo los Países Bajos, Portugal y Sudáfrica. Fuente: Departamento de Estado de los EEUU. Recuperado de: https://history.state.gov/milestones/1969-1976/oil-embargo

[2] Fuente: http://www.iea.org/aboutus/whatwedo/

En 1982, el Grupo de Trabajo de "Evaluaciones y monitoreo de la exposición a contaminantes de interiores" de la Organización Mundial de la Salud, se reunió en Copenhagen con la Oficina Regional de la OMS para Europa y el gobierno de la República Federal Alemana, reconociendo que se habían reportado muchos casos de impactos serios en la salud humana debido a la exposición en espacios internos a formaldehído, monóxido de carbono y a otros químicos orgánicos presentes en productos de consumo. En la reunión se revisó el conocimiento actual sobre las fuentes contaminantes de espacios interiores, se consideraron las concentraciones reportadas, se evaluó la efectividad de los medios para medir y monitorear la exposición de estos contaminantes en los seres humanos, se listaron los efectos adversos esperados en la salud humana por estos contaminantes y se evaluó la pertinencia del conocimiento de ese entonces sobre la relación exposición-efecto con el propósito de estimar el impacto total en la salud pública en los casos donde había disponibilidad de datos sobre exposición aceptable (World Health Organization. Regional Office for Europe, 1982, pág. 1).

De igual forma, el Grupo de Trabajo consideró la cantidad de población expuesta a cada uno de los contaminantes identificados, tanto en los niveles por encima y por debajo de los actualmente establecidos. Consideraron entre los contaminantes al humo del tabaco (fumar pasivo), NO_2, CO, Radón, Formaldehído, SO_2, CO_2, O_3, asbestos, fibras minerales, compuestos orgánicos y alérgenos.

El Grupo concluyó que si bien los instrumentos disponibles para medir la exposición eran de calidad aceptable, los datos de monitoreo y el conocimiento sobre la distribución de fuentes de contaminación y concentraciones eran inadecuados o marginales. Se advirtió que si bien se tenía un amplio conocimiento sobre los efectos adversos en la salud, era inadecuado el conocimiento en la relación exposición-efecto especialmente lo relativo a efectos tardíos en

casos de exposiciones crónicas. Por otro lado concluyó que el conocimiento de ese entonces no permitía establecer cuantitativamente el impacto sobre la salud pública y en consecuencia estimaron concentraciones por debajo de las cuales no ocurrirían efectos adversos a la salud en un ambiente de interior (World Health Organization. Regional Office for Europe, 1982, págs. 1-2).

En 1988 la Agencia para la Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) adelantó un estudio por solicitud del Congreso de los EEUU con una muestra de diez edificios para determinar la presencia de VOC. Ya en 1982 había adelantado un estudio orientado específicamente a obtener mayor conocimiento sobre la presencia en el aire de VOC en espacios interiores de hogares y particularmente de aquellos VOC clasificados como carcinogénicos y mutagénicos (benzeno, tetracloroetileno entre otros) (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1988, pág. 1).

El estudio arrojó los siguientes resultados: a) se identificó la presencia de al menos 500 VOC en 4 edificios, b) entre 100 y 200 VOC se encontraron en niveles de concentración mayores a las de las muestras de aire exterior, c) las muestras de estas elevadas concentraciones se encontraron en los materiales de construcción, productos de consumo y productos de proceso para la limpieza y cigarrillos (entre 18 y 111 VOC en tasas superiores a los 1,000 $\mu g/m^2/h$; d) en los edificios nuevos, las concentraciones de compuestos aromáticos individuales y alifáticos (xilenos y decanos) los niveles eran superiores a las concentraciones en el aire externo (por un factor de 100); e) la vida media de estos VOC oscilaba en un rango de entre dos y ocho semanas, f) el tiempo necesario para que las concentraciones internas bajaran al nivel de las concentraciones del aire externo se estimaron entre tres a doce meses, g) las concentraciones de particulados finos en espacios dedicados a fumadores se encontraban elevadas (entre 20 – 70

$\mu g/m^3$) (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1988, pág. 4). Finalmente el estudio recomendaba que se adelantaran más evaluaciones en otro tipos de edificios, tales como hospitales y centros comerciales, entre otros, donde las personas pasaban también una gran cantidad de tiempo y que se evaluara una mayor variedad de materiales para la construcción con el propósito de establecer las tasas de emisión de VOC asociadas (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1988, pág. 6).

En el 2012, de acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), ocurrieron 4.3 millones de muertes atribuidas a la contaminación del aire en hogares, la mayoría de las cuales sucedieron en países de ingresos medios y bajos (LMI) de las regiones del Sudeste asiático y del Pacífico occidental, ver Figura 1.

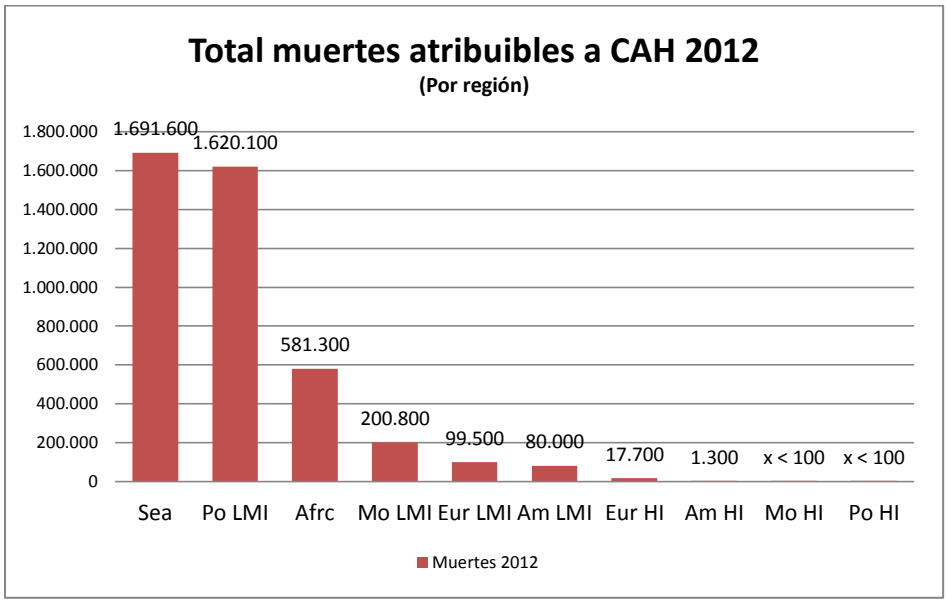


Figura 1. Total de muertes atribuibles a la CAH (Contaminación de aire en hogares) en el 2012. *Nota:* Convenciones: *Sea*: Sudeste de Asia, *Po*: Pacífico Occidental, *Afr*: Africa, *Mo*: Mediterráneo Oriental, *Eur*: Europa, *Am*:América *LMI*: Ingresos medio y bajo, *HI*: Ingresos altos. Adaptado de: World Health Organization. (2014). Burden of disease from household air pollution for 2012. Summary of results[3].

[3] Recuperado de: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/HAP_BoD_results_March2014.pdf?ua=1

La OMS (Organización Mundial de la Salud, 2014) ha determinado que detrás de estas muertes prematuras hay causas que las explican:

- Unos 3,000 millones de personas cocinan y calientan sus hogares con fuegos abiertos y cocinas en los que queman biomasa (madera, excrementos de animales o residuos agrícolas) y carbón.
- Más del 50% de las muertes por neumonía en menores de 5 años son causadas por partículas inhaladas en interiores con aire contaminado.
- Cada año en promedio 3,8 millones de defunciones prematuras ocurren debido a enfermedades no transmisibles, en particular por accidente cerebrovascular, cardiopatía isquémica, neumopatía obstructiva crónica y cáncer de pulmón, las cuales son atribuibles a la exposición al aire contaminado de interiores.

4.2 Los compuestos orgánicos volátiles (voc)

Los compuestos orgánicos son sustancias químicas que contienen carbono y se encuentran en los seres vivos. Los compuestos orgánicos volátiles (VOC) por sus siglas en inglés (*Volatile organic compounds*) son una categoría de contaminantes orgánicos presentes en el aire de espacios interiores (Ver Tabla 1), son "compuestos orgánicos cuyo punto de ebullición se encuentra en el rango de (50 °C a 100 °C) hasta (240 °C a 260 °C)" (ISO, 2011, pág. 2).

Tabla 1

Clasificación de contaminantes orgánicos de espacios interiores

Categoría	Descripción	Abreviatura	Rango de punto de ebullición (^{0}C)	Métodos de muestreo
1	Compuestos orgánicos muy volátiles (*Very volatile (gaseous) organic compounds*)	VVOC	<0 a 50 - 100	Por lotes: absorción en carbón.
2	Compuestos orgánicos volátiles (*Volatile organic compounds*)	VOC	50-100 a 240-260	Absorción en Tenax. Carbón molecular negro
3	Compuestos orgánicos semivolátiles (*Semivolatile organic compounds*)	SVOC	240-260 a 380-400	Absorción en espuma de

Categoría	Descripción	Abreviatura	Rango de punto de ebullición (^{0}C)	Métodos de muestreo
				poliuretano o XAD-2
4	Compuestos orgánicos asociados a material particulado o a material orgánico particulado (*Organics compounds associated with particulate matter or particulate organic matter*)	POM	>380	Colección de filtros

Nota: Adaptado de "Indoor air quality: Organic pollutants" (World Health Organization, 1987, pág. 4).

Los VOC pueden ser de origen natural o artificial (químico sintético), siempre están formados por el elemento carbono y otros elementos como el hidrógeno, halógenos, oxígeno, azufre, etc. Por su volatilidad y capacidad de propagación desde su lugar de emisión generan directa o indirectamente impactos en las personas y el medio ambiente. Las principales fuentes de origen de las VOC son la combustión, pinturas, aerosoles, tales como desinfectantes, insecticidas y ambientadores (Bureau Européen des Unions de Consommateurs, 2005, pág. 10).

En un estudio científico publicado por investigadores de la *School of Public Health* de la Universidad de Curtin (Perth, Australia), *University of Western Australia* (Crawley, Australia) y el Departamento de Medicina Respiratoria del *Princess Margaret Hospital* en el 2004, se concluyó que en ese entonces la "exposición doméstica a los VOC en niveles inferiores a las recomendaciones aceptadas en la actualidad puede aumentar el riesgo de asma infantil. La medición de los VOC totales puede subestimar los riesgos asociados con los compuestos individuales" (Rumchev, Spickett, Bulsara, Phillips, & Stick, 2004) y como éste existen muchos más estudios que llegan a conclusiones similares.

Un estudio financiado por la BEUC[4] (Bureau Européen des Unions de Consommateurs) y realizado por la ICRT[5] (International Consumer Research and Testing) relacionado con un test

[4] BEUC: Organización que representa a los consumidores de la Unión Europea y actualmente tiene su sede en Bruselas (http://www.beuc.org/)

efectuado a 74 productos de consumo de ambientadores vendidos en Europa con el propósito de determinar las concentraciones de VOC y aldehídos en el aire después que el producto hubiera sido utilizado, llegó a las siguientes conclusiones:

- La totalidad de las emisiones de VOC de todos los productos analizados, ocurrieron en concentraciones superiores a los 200 $\mu g/m^3$ después de dos (2) horas de uso, lo que representa un aumento sustancial en la contaminación del aire en interiores.
- De acuerdo con la revisión de la literatura científica, la difusión de estas moléculas puede demorarse más del tiempo debido al fenómeno de la adsorción de los compuestos orgánicos volátiles por parte de los materiales presentes en los hogares, que actúan como un depósito. Bajo ciertas circunstancias, estos fenómenos de adsorción pueden dar lugar a alergias en la piel como resultado del contacto entre la piel y los objetos o materiales.
- Adicionalmente, la revisión arrojó que hay evidencia de formación de contaminantes secundarios a partir de los VOC primarios, por acción del calor, la luz y oxidantes como el ozono. (Bureau Européen des Unions de Consommateurs, 2005, pág. 48).

Dada la importancia e impacto de los VOC en la salud humana, la Organización de las Naciones Unidas promulgó y promovió desde 1997, el *Protocolo sobre la contaminación atmosférica transfronteriza con respecto a la lucha contra las emisiones de compuestos orgánicos volátiles o sus flujos transfronterizos* (conocido como el Protocolo de compuestos orgánicos volátiles o el Protocolo VOC) cuyo objetivo es proporcionar el control y la reducción de las emisiones de compuestos VOC con el fin de reducir sus flujos transfronterizos y así

[5] ICRT: Consorcio global conformado por más de 35 organizaciones de consumidores dedicadas a realizar investigación y evaluación de productos y servicios en el mundo, entre ellas: Association des Consommateurs Test-Achats SC (Belgium), Consumentenbond (The Netherlands), Consumer Reports (USA), Stiftung Warentest (Germany), UFC - Que Choisir (France), Which? (UK). De igual forma tiene miembros en Europa, Asia Pacifica, Latino América y Africa (http://www.international-testing.org/index.html).

proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos que estos generan (United Nations, 1997). Dicho protocolo a la fecha, ha sido acogido y ratificado por cerca de 31 países entre los que se encuentran los de la Unión Europea y EEUU entre otros[6].

4.3 El síndrome del edificio enfermo (SBS)

Como se anotó anteriormente, problemas en la salud humana relacionados con el simple hecho de estar presente al interior de los edificios, se habían detectado desde la década de los sesentas, pero es sólo en los setentas que el síndrome llega a ser más conocido y estudiado. Un informe de la WHO de 1984 estimaba que hasta un 30% de los edificios nuevos o remodelados en el mundo, podrían ser objeto de excesivas quejas relacionadas con la calidad del aire interior (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1991, pág. 1).

Los principales signos o síntomas asociados a este síndrome son los siguientes: a) letargo o fatiga, b) dolor de cabeza, mareos, náuseas, c) irritación de las membranas mucosas y en la piel, d) sensibilidad a los olores. Estos síntomas fueron reportados entre una población de ocupantes de edificios y pudieron ser temporalmente asociados a su presencia en ellos. Normalmente, aunque no siempre, se trató de edificios de oficinas (ALA, EPA, Consumer Product Safety Commission, American Medical Association, 1994, pág. 17).

Las observaciones realizadas en varios países del mundo, en edificios cuyos ocupantes presentaron síntomas como los arriba mencionados, fueron resumidas por Burge (2004, págs. 186-187), en las siguientes conclusiones:

- Existe un amplio rango de prevalencia de síntomas entre los ocupantes de los diferentes edificios, que no se explican por factores personales individuales.

[6] Puede consultarse el protocolo en el siguiente enlace: https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-1-d&chapter=27&lang=en

- Edificios que cuentan con sistemas de aire acondicionado generalmente tienen una alta prevalencia de trabajadores sintomáticos frente edificios que son ventilados de manera natural.
- El síndrome ocurre en edificios que cumplen completamente con estándares en términos de temperatura, ventilación e iluminación.
- Si bien la presencia de diferentes químicos (particularmente los VOC) ha sido frecuentemente relacionada con síntomas en algunos edificios individuales, no se ha demostrado que sean una causa directa del síndrome para un amplio rango de edificios, incluidos aquellos que cuentan con ventilación natural.
- Los edificios que son ventilados de forma natural tienen frecuentemente condiciones de temperatura y ventilación por encima de los estándares recomendados, pero al mismo tiempo cuentan con menos trabajadores que manifiestan los síntomas del síndrome.
- Se encontró que el uso prolongado de pantallas, algunos aspectos relacionados con el uso de grandes cantidades de papel, tales como la presencia de fibras y polvos, compuestos químicos de las tintas, polvo generado por la destrucción de papel y el humo del cigarrillo si están relacionados frecuentemente con la aparición de los síntomas relativos al síndrome.
- Aquellos trabajadores que tienen poca posibilidad de controlar las condiciones del ambiente de trabajo, son más susceptibles de experimentar los síntomas relacionados con el síndrome.

Entre las soluciones sugeridas por la EPA (1991, pág. 3) para superar el SBS (por sus siglas en inglés *Sick Building Syndrome*) se encontraban:

1. Remoción o modificación de la fuente de contaminación (cuando la fuente era conocida).
2. Incrementar las tasas de ventilación y de distribución del aire.
3. Limpieza o purificación del aire (con limitaciones teniendo en cuenta las tecnologías de ese momento para filtrar y los costos).
4. Educación y comunicación (como medida de prevención)

Las revisiones de estudios previos relacionados con el impacto de las tasas de ventilación en el SBS han concluido que las tasas por debajo de los 10 L/s por persona están asociadas a una prevalencia incrementada de los síntomas (Mendell, 1993; Godish and Spengler, 1996; Seppänen et al., 1999) citado por (Wargocki, Wyon, Sundell, Clausen, & Fanger, 2000, pág. 223).

Posteriormente, los experimentos reportados por Wargocki et al., (2000) concluyeron que una ventilación incrementada a una tasa entre 3, 10 y 30 L/s por persona, que corresponde a un intercambio total con el aire exterior a una tasa de 0.6, 2.0 y 6.0 h^{-1} respectivamente, y que son rangos que se encuentran en forma típica en edificios de oficinas alrededor del mundo (Sundell,1994; Womble et al., 1995; Bluyssen et al., 1996; Pejtersen et al., 1999b citado por Wargocki, et al., 2000, pág. 223), mejoraron la percepción de la calidad del aire, disminuyeron la intensidad de algunos de los síntomas y mejoraron el desempeño de las personas en promedio un 1.7% por cada aumento al doble de la tasa de ventilación entre 3 y 30 L/s por persona. En ese sentido recomendaron que con el propósito de promover el confort humano, la salud y la productividad se mejorara la calidad del aire interior, se mantuviera en un alto nivel de calidad mediante el control de las fuentes de contaminación en interiores y se garantizara una ventilación adecuada (Wargocki, et al., 2000, págs. 232-234).

4.4 La biorremediación

> La biorremediación es el uso de organismos vivos, sobre todo microorganismos, para degradar los contaminantes ambientales en formas menos tóxicas. Utiliza bacterias de origen natural, hongos o plantas para degradar o detoxificar las sustancias peligrosas para la salud humana y / o el medio ambiente… los desechos orgánicos se degradan biológicamente en condiciones controladas a un estado inocuo, o a niveles inferiores a los límites de concentración establecidos por las autoridades reguladoras (Vidali, 2001, pág. 1164).

La biorremediación no es una estrategia viable cuando los sitios contaminados poseen altas concentraciones de productos químicos tóxicos para la mayoría de los microorganismos, que contienen metales tales como cadmio o plomo y sales de cloruro sódico. Dentro del campo de las tecnologías de biorremediación se encuentra entre otras la Fitorremediación.

4.4.1 La fitorremediación

Las tecnologías de fitorremediación reducen *in situ* o *ex situ* la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas. Esta técnica utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes (Delgadillo-López et al.; 2011, págs. 597-598)

La fitorremediación tiene entre sus ventajas que no requiere el transporte del sustrato contaminado, es eficiente tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos, es de bajo costo, no requiere personal especializado para su aplicación, hace uso de prácticas agronómicas convencionales, mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, puede emplearse en agua, suelo, aire y sedimentos y favorece el reciclado de recursos (Delgadillo-López et al., 2011, pág. 605). No obstante, presenta algunos inconvenientes: lentitud cuando las especies usadas son

árboles o arbustos, sólo es aplicable dentro de la zona de influencia de la rizósfera de la planta, es aplicable en ambientes con concentraciones bajas de contaminación, cuando los contaminantes se acumulan en la madera pueden volver al ambiente por combustión de la misma, requieren de áreas relativamente grandes y pueden aumentar la solubilidad de algunos contaminantes (Delgadillo-López et al. 2011, pág. 605).

4.4.1.1 Fitorremediación en Colombia

En el país, se estudia ampliamente sobre este campo de la microbiología, y es cierto que aún no se ha empezado a investigar propiamente el campo de la biodepuración del aire mediante plantas vegetales, pero si estamos bastante avanzados en el estudio de los diferentes mecanismos utilizados, para limpiar vertimientos mediante microorganismos y plantas que descomponen estos materiales, aquí se mostrará a manera de ejemplo algunos de los escenarios en los que se está utilizando en Colombia la fitorremediación para remover contaminantes de residuos líquidos y suelos.

Mientras que los métodos convencionales pueden alterar de manera irreversible las propiedades del suelo, el agua y de los seres vivos que habitan en ellos, suelen ser muy costosos y tienen una limitada eficacia, la fitorremediación se presenta como una alternativa sustentable, de bajo costo y con una alta aplicabilidad para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminación natural y antropogénica.

Existen seis métodos diferentes de fitorremediación que se agrupan en dos conjuntos, los que se utilizan como medio de contención (rizofiltración, fitoestabilización y fitoinmovilización) y los que se utilizan como medio de eliminación (fitodegradación, fitoextracción y fitovolatilización). Dependiendo del tipo de contaminante y su cantidad así como del medio en el que se encuentre dicho contaminante, se elige un método de fitorremediación u otro, siendo los

más utilizados la fitoestabilización para la contención de contaminantes y la fitoextracción para su eliminación**.** (La Pacha Mama, 2014)

4.4.1.1.1 Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas en Antioquia

Consiste en el diseño del sistema de humedales artificiales y su respectiva implementación, para el tratamiento de aguas residuales provenientes de la unidad productiva de cerdos del Centro de Recursos Naturales Renovables (La Salada) Antioquia, basado en un ensayo de fitorremediación, su propósito fue evaluar la efectividad de estos humedales artificiales para reducir un poco la carga contaminante, como un sistema de tratamiento limpio y que pueda ser utilizado en todas las granjas porcicolas de Colombia.

Estos humedales funcionan basados en mecanismos en los cuales las plantas juegan un papel importante al contribuir en la depuración de las aguas residuales, junto con la función realizada por los microorganismos que se generan dentro de los medios filtrantes. (Arias, Betancur, Rojas, & Salazar, 2010)

Algunos de los procesos son:

- Eliminación de sólidos en suspensión por filtración a través de los medios sobre los que crecen las plantas y las raíces.
- Eliminación de materia orgánica por la acción de microorganismos, principalmente bacterias aerobias favorecidas por la aireación obtenida por las plantas a través de sus raíces.
- Eliminación de nitrógeno que es el principal contaminante de las aguas porcinas. Esto se da mediante procesos de nitrificación y desnitrificación favorecidos por la existencia de zonas aerobias y anaerobias.

- Eliminación de fósforo, esto se hace mediante la transformación directa que las plantas realizan y por los fenómenos de adsorción que efectúan los componentes del suelo.
- Eliminación de patógenos que se da por la adsorción sobre las partículas del sustrato. (Arias, Betancur, Rojas, & Salazar, 2010)

4.4.1.1.2. Remoción de hidrocarburos en aguas usando tecnologías de fitorremediación, Manizales

Uno de los problemas ambientales más importantes en la actualidad es la contaminación de los ecosistemas acuáticos ocasionado por derrames o vertimientos de hidrocarburos. En este caso las principales consecuencias son la pérdida de las características físicas y químicas del agua, que por ende conduce a cambios en la dinámica de los ecosistemas, pérdida de biodiversidad, enfermedades, contaminación de aguas superficiales y subterráneas además de afectar los suelos.

Este tipo de fitorremediación surge por la necesidad de proporcionar una solución alternativa a la disminución del impacto ambiental generado por los vertimientos de hidrocarburos en diferentes ambientes (agua y suelo), esto usando plantas con un buen nivel de adaptabilidad al contaminante y al ambiente, con el fin de restaurar la calidad ambiental. (Saffon, 2015)

Los vertimientos de aguas mezcladas con combustibles generados durante las actividades diarias en las estaciones de transporte, requieren de tratamientos biológicos como la fitorremediación, que al integrarse al tratamiento convencional, generan remociones de los contaminantes en altos porcentajes.

Por medio del estudio realizado con prototipos de humedales de vegetación flotantes ó filtros de macrófitas flotantes se analiza en este estudio la posibilidad de utilizar este mecanismo como un tratamiento terciario posterior a un separador utilizado en la industria petrolera para que la limpieza sea mayor y más efectiva. (Saffon, 2015)

4.4.1.1.3. Análisis de la mitigación del impacto ambiental en el lago del parque La Florida, por fitorremediación usando buchón de agua, Cundinamarca.

Este estudio fue realizado en el lago del Parque La Florida, ubicado en el municipio de Funza (Cundinamarca, Colombia), siendo este un cuerpo de agua cuyas condiciones físico-químicas pueden variar con los cambios climáticos, siendo este también afectado por el vertimiento de diversas sustancias. Para el desarrollo de este se utilizó el buchón de agua (Eichornia crassipes), una macrófita que ha sido ampliamente utilizada para tratamientos secundarios y terciarios en la depuración de aguas contaminadas, basado en las propiedades de esta planta para absorber nutrientes, la capacidad que tienen de reproducirse rápidamente, la asimilación de una variedad de contaminantes, la facilidad de recolección, su tolerancia a altas concentraciones de sustancias tóxicas. Con el objeto de evaluar la efectividad de la biorremediación mediante el uso de esta planta en las aguas del lago, se instaló un filtro natural en el punto de desborde del canal que aporta aguas del río Bogotá. Se realizaron muestreos durante dos años (2009 a 2011) en las aguas del lago y se compararon estos resultados con los reportados por el Laboratorio de la Corporación Autónoma Regional CAR, durante este mismo período de tiempo en el punto de muestreo El Cortijo, sobre el rio Bogotá. (Gomez & Pinzon, 2012)

El Plomo fue el metal pesado con mayor concentración en el agua que contaminó el lago. A pesar de esto, el porcentaje de remoción fue aproximadamente de 99%. El Cromo, que fue el

otro metal pesado analizado en este trabajo, presentó una disminución aproximada de 100% con respecto al agua del río siendo estos parámetros en los que más se reflejó la mitigación del impacto ambiental en las aguas del lago del parque La Florida. Estos resultados ratifican la capacidad de absorción de metales pesados por parte del buchón. (Gomez & Pinzon, 2012)

4.4.2 La biodepuración del aire

La biodepuración es una técnica del campo de la fitorremediación, que pertenece a los procesos biotecnológicos utilizados para el tratamiento del aire y de efluentes gaseosos. De manera específica la biodepuración elimina los agentes contaminantes "mediante el lavado con un fluido con células en suspensión, el cual se regenera por actividad microbiana en un tanque aireado" (Gonzaga Gutierrez, 2006, pág. 453). La velocidad de la degradación depende del tipo de microorganismos y de su rendimiento.

4.4.3 Biodepuración del aire con plantas vegetales.

En los cincuentas, tanto la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés: National Aeronautics and Space Administration), como la antigüa Unión Soviética, desarrollaron de manera separada *Closed Ecological Life Support System* (CELSS)[7] en el contexto de la denominada Carrera Espacial. Los estudios de la NASA se orientaron a la regeneración atmosférica con énfasis en el uso de sistemas fotosintéticos para la eliminación de dióxido de carbono y regeneración de oxígeno como parte de un sistema de soporte de vida, aplicados en los programas BioHome, y posteriormente en Biosphere 2 y Mars Desert Research Station. Por su parte la Unión Soviética, se orientó a evaluar la efectividad del

[7] Closed Ecological Life Support System (CELSS siglas en inglés) son un esfuerzo científico por crear sistemas de soporte de vida autosuficiente en las estaciones espaciales y colonias a través de los sistemas ecológicos controlados y cerrados, como el BioHome, BIOS-3, de la Biosfera 2 y Mars Desert Research Station. Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Controlled_ecological_life_support_system

uso de sistemas de algas del tipo Chlorella[8] como fuente de alimento (por su alto contenido de proteínas) y en unidades de intercambio de dióxido de carbono en los submarinos y en las naves espaciales (Central Intelligence Agency, 1962, pág. 7), resultados que se aplicaron con éxito en el programa BIOS-3[9]. Luego, en las décadas de los sesentas y ochentas, la NASA empezó a interesarse por el tema del SBS y se convirtió en líder en la búsqueda e identificación de soluciones biológicas a los problemas asociados con la contaminación del aire en espacios interiores.

La NASA puso aprueba la eficacia de la biodepuración del aire utilizando plantas que actuaban sobre contaminantes tales como formaldehído, xileno, amoniaco, benceno. En 1973, durante la misión Skylab III[10], se identificaron 107 VOC en el interior de la nave, la mayoría de ellos provenientes de los materiales de construcción del laboratorio que podrían poner en riesgo la salud de los tripulantes. Los materiales sintéticos utilizados para construir Skylab emitían bajos niveles de productos químicos, en un efecto conocido como *liberación de gases*, los cuales propagaban VOC como el formaldehído, benceno y tricloroetileno, irritantes conocidos y carcinógenos potenciales. Cuando estas sustancias químicas se encontraron atrapadas sin

[8] Chlorella (nombre común: clorela) es un género de algas verdes unicelulares del filo Chlorophyta. Tiene forma esférica, mide de 2 a 10 μm de diámetro, y no posee flagelo. La Chlorella contiene pigmentos verdes fotosintetizadores de clorofila-a y -b en su cloroplasto. A través de la fotosíntesis se multiplica rápidamente, requiriendo sólo dióxido de carbono, agua, luz solar y pequeñas cantidades de minerales. Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Chlorella)

[9] BIOS-3 comenzó en 1965, y se completó en 1972. Consistía en un hábitat de 315 metros cúbicos (11,124 pies cúbicos) diseñado para acoger a tres personas. Estaba dividido en 4 compartimentos uno de los cuales era un área para los huéspedes. Otros estaban destinados a cultivar algas, verduras y cereales, para aprovisionar a los habitantes. No era por completo independiente de su entorno puesto que la energía eléctrica y algunos alimentos se importaban desde el exterior, pero el agua se reciclaba, y el equilibrio entre oxígeno y dióxido de carbono se mantenía por la acción de las algas. Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/BIOS-3

[10] Skylab 3 (también llamado SL-3 o SLM-21) fue la segunda misión tripulada con destino a Skylab, la primera estación espacial estadounidense. La misión comenzó el 28 de julio de 1973, con el lanzamiento de tres astronautas desde un cohete Saturno IB y tuvo una duración de 59 días, 11 horas y 9 minutos. Se efectuaron en total 1084,7 horas de experimentos relacionados a temas como estudios médicos, observaciones solares y estudios sobre los recursos de la Tierra, entre otros. Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Skylab_3

circulación, como en el caso del Skylab, los habitantes podían enfermar dado que no ocurría la depuración natural como ocurre en el complejo ecosistema de la Tierra (NASA, 2014).

En 1984 surgieron los primeros estudios en los que se evidenciaba que las plantas en el interior podrían eliminar los VOC de los espacios sellados. Para ampliar su investigación, un grupo de investigadores de la NASA construyó un edificio herméticamente cerrado llamado *BioHome*. Las paredes interiores se componían de paneles de plástico de 30 pulgadas en fibra de vidrio moldeado que proporcionaban un excelente aislamiento térmico. Estaba equipado para proporcionar un hábitat completamente funcional, adecuado para una persona. El resto del espacio interior tenía unos componentes bio-regenerativos conformados por plantas vegetales.

Los análisis preliminares del BioHome arrojaron evidencia de una alta presencia de VOC en su interior. Luego de esto, se introdujeron 15 especies de plantas dentro del módulo, con el propósito de evaluar la absorción de los VOC y posteriormente se examinó la calidad del aire. Los resultados mostraron que la calidad del aire había mejorado y la mayoría de los VOC se habían eliminado.

Estudios posteriores adelantados por la NASA y con la participación del doctor Bill Wolverton y colegas en el año 1980, se orientaron a entender cómo las plantas influenciaban y removían los químicos que contaminaban el aire interior y el por qué algunas plantas eran más efectivas que otras.

> Estudios de investigación habían mostrado que las plantas de hogar absorben, metabolizan o relocalizan los químicos orgánicos que contaminan el aire, a través de microbios que crecen en y alrededor de las raíces de las plantas donde estos son degradados…Los datos de la investigación científica indican que cada planta tiene su

> propio código genético que le permite cultivar microbios específicos requeridos para satisfacer sus necesidades (Wolverton & Wolverton, 1992, pág. 100).

Los estudios del equipo de investigadores del doctor Bill Wolverton se orientaron en 1980 a evaluar la capacidad de plantas que tuvieran una mayor área en sus hojas. Decidieron por una parte, enfocarse en el formaldehído (un VOC que en ese entonces había obtenido una mayor atención como contaminante en espacios interiores y a que se encontraba en aglomerados de madera y en aislantes utilizados en casas y casas-rodantes) y luego de una pequeña evaluación identificaron a las plantas: Golden Pothos (*Scindapsus aureus*), Nephthytis (*Syngonium podophyllum*) y la Papa dulce (batata) (*Ipomoea batatas*), como las que tenían una mayor capacidad para remover el formaldehído de la atmósfera en ciclos de un poco más de 24 horas. Adicionalmente encontraron que las concentraciones de VOC podrían reducirse con plantas de hogar comunes que se introdujeran en ambientes completamente cerrados (NASA, 2005, pág. 4).

5. Antecedentes legales, normativos e institucionales sobre calidad de aire en Colombia

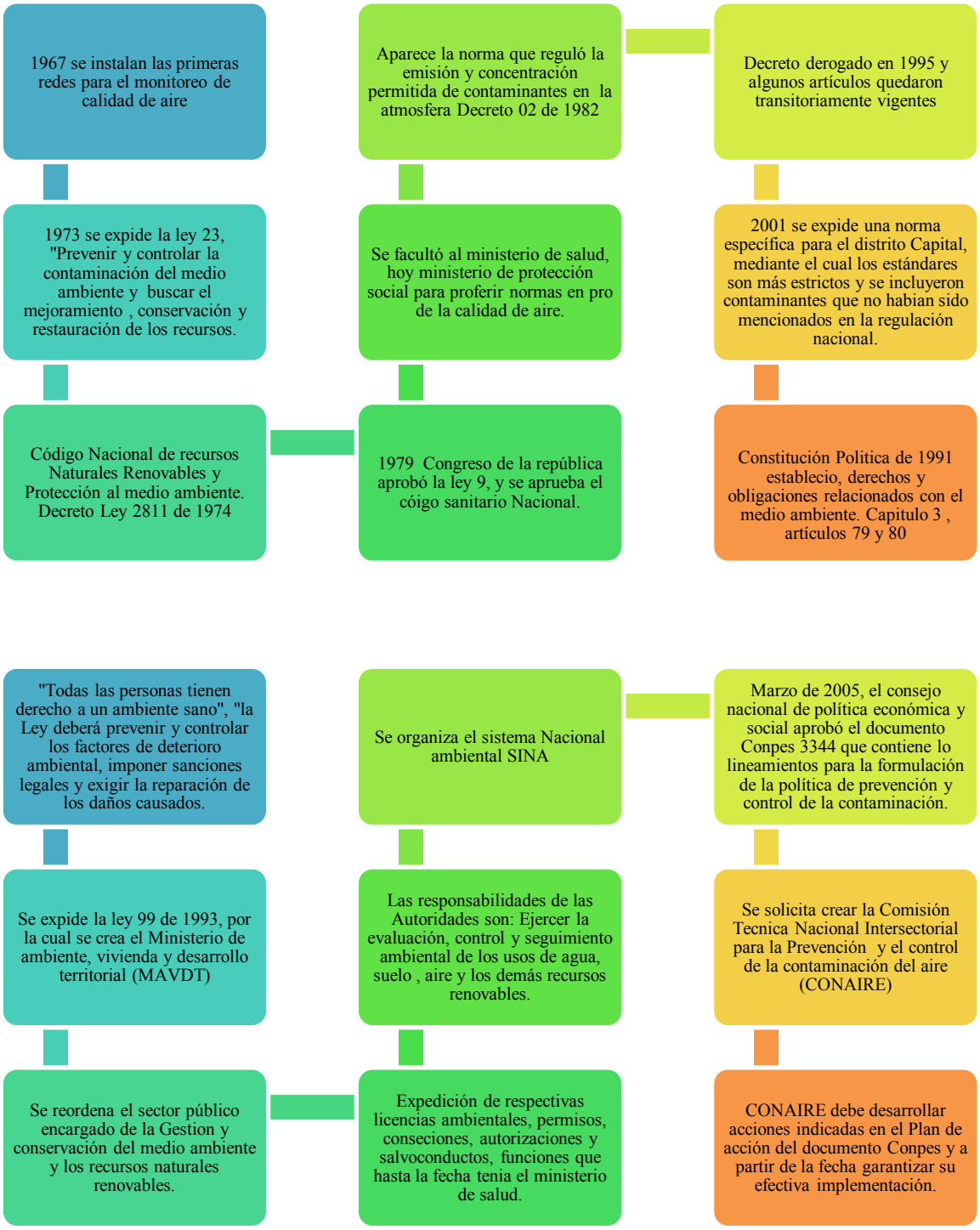
La contaminación atmosférica en Colombia, como bien se ha dicho en capítulos anteriores constituye uno de los principales problemas ambientales, por varias razones, entre ellas: el flujo vehicular, las emisiones de las industrias, la explotación minera a cielo abierto y muchos otros factores que sobrepasan los estándares fijados en las normas ambientales en largos periodos de exposición.

En los últimos años se han desarrollado instrumentos para controlar la contaminación del aire, se han formulado también políticas de prevención y control de la contaminación para ayudar a fortalecer el sistema y la gestión de los entes públicos.

Colombia ha tenido una amplia tradición en materia de acciones para el control de la contaminación del aire:

Figura 2

Antecedentes sobre la creación de organismos y normativa con respecto al recurso aire.



Adaptado luego de revisar toda la trayectoria de la normativa Colombiana y se enfocó principalmente en el documento “Política de prevención y control de la contaminación de Aire” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial, 2010)

5.1. Actores asociados a la Calidad de aire en Colombia

Dentro de la estructura institucional, actúan conjuntamente entidades públicas y privadas, dentro de ellas se encuentra el Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial, las Corporaciones Autónomas Regionales y las Corporaciones para el desarrollo sostenible, Autoridades ambientales urbanas, Ministerio de minas y energía, Ministerio de Transporte y Ministerio de Protección social, el Departamento Nacional de Planeación y el instituto de Hidrologia, Meteorologia y estudios ambientales. Las funciones de estas autoridades territoriales y de la planificación ambiental están descritas en los artículos 63 al 66 de la ley 99 de 1993 y el artículo 13 de la ley 768 del 2002.

5.2. Normatividad sobre el Recurso Atmosférico en Colombia

A continuación se presenta la normativa referente a la regulación en cuanto a calidad de aire en nuestro país.

Tabla 2

Decreto 2811 de 1974	Código de recursos naturales y del medio ambiente Art. 33, 192, 193 Control de ruido en obras de infraestructura
Ley 09 de 1979	Código sanitario nacional
Decreto 02 de 1982	Reglamenta título I de la Ley 09-79 y el decreto 2811-74 Disposiciones sanitarias sobre emisiones atmosféricas Art. 7 a 9 Definiciones y normas generales Art.73 Obligación del Estado de mantener la calidad atmosférica para no causar molestias o daños que interfieran el

	desarrollo normal de especies y afecten los recursos naturales Art. 74 Prohibiciones y restricciones a la descarga de material particulado, gases y vapores a la atmósfera Art. 75 Prevención de la contaminación atmosférica
Ley 99 de 1993	Creación del SINA y se dictan disposiciones en materia ambiental Art.5 Funciones de Minambiente para establecer normas de prevención y control del deterioro ambiental Art. 31 Funciones de las CAR,s relacionadas con calidad y normatividad ambiental
Decreto 948 de 1995	Normas para la protección y control de la calidad del aire
Resolución 1351 de 1995	Se adopta la declaración denominada Informe de Estado de Emisiones-IE1
Resolución 005 de 1996	Reglamenta niveles permisibles de emisión de contaminantes por fuentes móviles
Resolución 864 de 1996	Identifica equipos de control ambiental que dan derecho al beneficio tributario según art. 170, ley 223 de 1995

Adaptado de la Unidad de planeación minero energética. Colombia. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2015)

6. Metodología

La metodología implementada en esta monografía descriptiva es de carácter exploratorio y documental debido a que el conocimiento sobre plantas descontaminantes es un tema poco divulgado en el país y la mayoría de los documentos hacen parte de publicaciones científicas. La obtención y el análisis de los datos se basan en la consulta de información primaria y secundaria proveniente de bases de datos, publicaciones científicas y sitios especializados en internet.

6.1. Recolección de información secundaria

La información obtenida para el presente trabajo tuvo como fuentes principales las siguientes:

- Interstate Technology and Regulatory Council (ITRC)
- L'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (APPA) (Francia)
- NASA Technical Reports Server (NTRS) (http://ntrs.nasa.gov/search.jsp)
- Observatoire de la Qualite de l'Air Interieur (OQAI) (Francia)
- Organización Mundial de la Salud (WHO)
- Sitio web de la European Lung Foundation (http://www.europeanlung.org)
- Sitio web de United States Department of Agriculture (http://www.usda.gov)
- Sitio web de Wolverton Environmental Services, Inc. Indoor Air Pollution (http://www.wolvertonenvironmental.com/air.htm)
- Sitio web Plantes Dépolluantes (http://www.plantes-depolluantes.com)
- The United States Geological Survey (USGS)
- U.S. EPA Technology Innovation and Field Services Division (EPA-CLU)

- United States Environmental Protection Agency (EPA)
- Bases de datos de la Universidad Distrital y Nacional (Revistas científicas)
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial
- Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales (IDEAM)
- Departamento de Planeación Nacional

6.2. Selección de la información

La información recolectada se sometió a un proceso de valoración con el propósito de realizar una selección de los documentos que fueran más relevantes y útiles, a partir de los cuales realizar el presente trabajo, esta valoración se realizó utilizando nueve (9) criterios que pueden verse en la siguiente tabla (ver Tabla 2).

Tabla 2

Criterios de valoración documental

Identificador de Criterio	Criterio	Descripción	Escala de Valoración	Codificación
ALC	Alcance	Propósito general del documento y su manera de abordar el tema.	General Específico Especializado	G E S
TIM	Tiempo de publicación	Fecha de producción	Antes de 1980 1980 – 2000 2001 – 2010 2011 – 2015	A B C D
CAR	Carácter	Principal propósito comunicacional del documento	Divulgativo Informativo Académico Normativo Soporte a desarrollos específicos	1 3 5 7 9
REL	Relevancia	Importancia del documento con relación al propósito de la investigación	Baja Media Alta	1 3 5
IDI	Idioma	Categorización dependiendo del idioma	Inglés Francés	I F

Identificador de Criterio	Criterio	Descripción	Escala de Valoración	Codificación
		en el que está escrito el documento	Español Otro	E O
ACC	Acceso	Si requiere ser usuario registrado y o se debe pagar un valor por acceder al documento o simplemente está disponible para el público	Libre Restringido	L R
TDOC	Tipo de documento	Tipología de documentos en función de su contenido	Libro Publicación Periódica Actas - Reportes Tesis Bibliografías Catálogos Bases de Datos Página Web	LB PP AC TS BB CT BD PW
MD	Medio en que se encontró el documento		Impreso Digital	I D
FRM	Formato (para documentos digitales)		Word Portable Document Format Htlm Base de Datos	W P H B

Fuente: Pedraza 2015 (Autora)

Cada documento se codificó y se valoró utilizando una tabla en Excel y con los resultados se realizó un proceso estadístico descriptivo básico.

7. Resultados

Luego del proceso de revisión, clasificación y selección bibliográfica se presenta en primer lugar, el análisis de dicha información, seguido de la identificación de los principales contaminantes, que de acuerdo con la literatura consultada son los más frecuentes en los espacios interiores, en tercer lugar se describe la tecnología de la biodepuración del aire con plantas que eliminaría estos contaminantes, en cuarto lugar un inventario de las principales plantas referenciadas y finalmente un resumen sobre la discusión actual relacionada con la efectividad de esta técnica.

7.1. Análisis estadístico de la información

Del análisis de los documentos y su categorización se obtuvieron los siguientes resultados:

De acuerdo al tipo de documento (documento o página web), el 92% (57) son documentos (disponibles para ser descargados en formato acrobat reader), mientras que un 8% (5) se trata de información obtenida de páginas web, ver Tabla 3 y Figura 2.

Tabla 3

Distribución de documentos según su tipo

Código	Tipo	Nro. Doc.
Doc	Documento	57
PagWeb	Página Web	5
	Total general	62

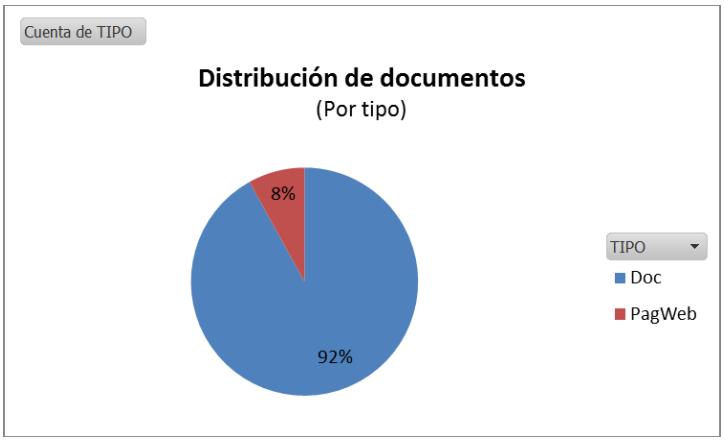


Figura 2. Distribución de documentos según su tipo.

De acuerdo con el criterio de alcance, un 61% (38) de los documentos son especializados, seguido de un 24% (15) con un alcance específico y sólo un 15% (9) tienen alcance considerado general, ver Figura 3.

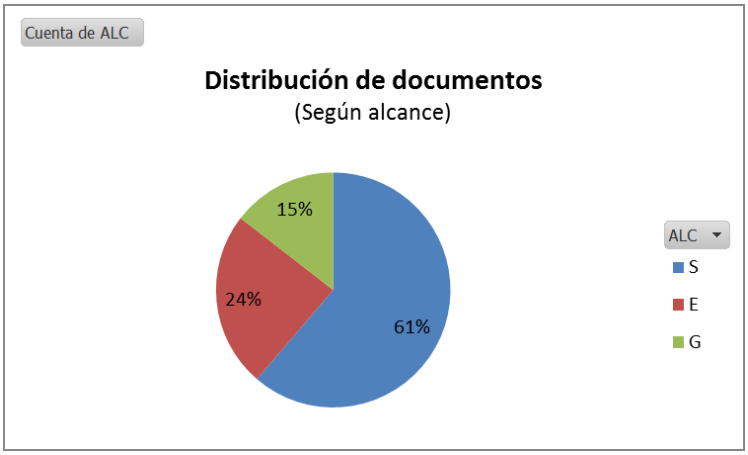


Figura 3. Distribución de documentos según su alcance.

Según el criterio de tiempo de publicación, un 2% (1) se trata de un documento fechado antes de año 1980, 31% (19) son documentos fechados entre los años 1980 y 2000, un 40% (25) fechados entre los años 2001 y 2010; y un 27% (17) documentos datados desde el 2011 al 2015, en este sentido puede decirse que el 67% (42) de los documentos consultados se han generado en los últimos quince años, ver Tabla 4 y Figura 4.

Tabla 4

Distribución de documentos según criterio de tiempo de publicación

Código	Actualidad	Nro.Doc.	%
A	Antes de 1980	1	2%
B	1980 <= X <= 2000	19	31%
C	2001 <=X<=2010	25	40%
D	2010<X<=2015	17	27%
	Total general	62	100%

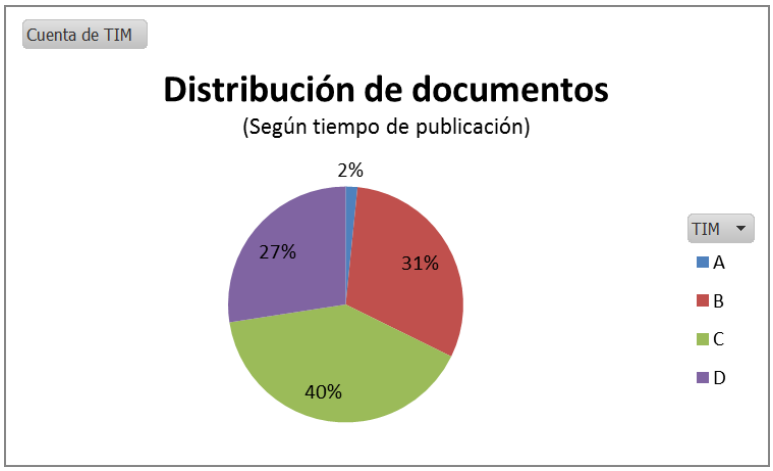


Figura 4. Distribución de documentos según su tiempo de publicación.

De acuerdo con el criterio de carácter, 8% (5) tienen carácter divulgativo con destino a un público general, seguido de un 6% (4) que tiene un carácter informativo para públicos más interesados en los temas sobre el cual versan, luego un 31% (19) tienen un carácter académico, seguido luego de un 29% (18) cuyo carácter es servir de apoyo a la normatividad mundial, finalmente hay un 26% (16) que dan cuenta de experimentos en laboratorio o desarrollo de proyectos industriales aplicados, ver Tabla 5 y Figura 5.

Tabla 5

Distribución de documentos según criterio de carácter

Código	Carácter	Nro. Docs	%
1	Divulgativo	5	8%
3	Informativo	4	6%
5	Académico	19	31%
7	Normativo	18	29%

Código	Carácter	Nro. Docs	%
9	Soporte a desarrollos Específicos	16	26%
	Total general	62	100%

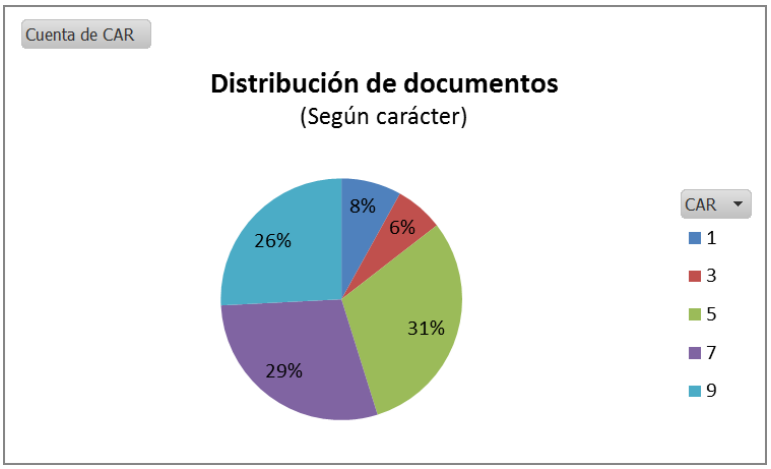


Figura 5. Distribución de documentos según su carácter.

Desde el criterio de la relevancia, se encontró que el 10% (6) de la documentación encontrada tiene una baja relevancia (calificación: 1) con relación al tema de la investigación, 26% (16) fue calificada con una relevancia media (calificación: 3), mientras que un 65% (40) fue calificado por tener una alta relevancia (calificación: 5), ver Figura 6.

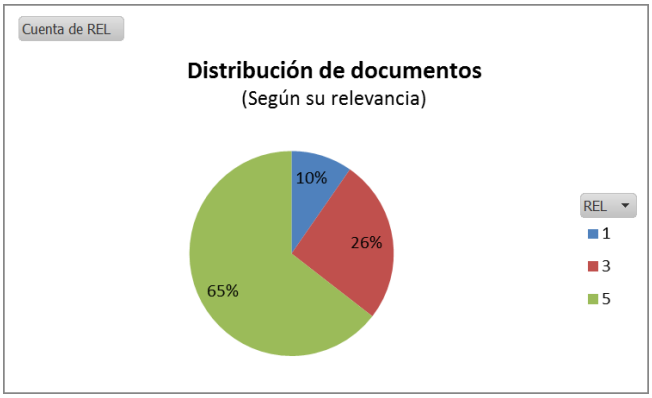


Figura 6. Distribución de documentos según su relevancia.

Analizada la documentación desde el punto de vista del idioma en que están escritos, se encontró que el 74% (46) de los documentos están escritos en idioma inglés, 13% (8) en francés, 11% (7) en español y en otro idioma (italiano) un 2% (1), ver Figura 7.

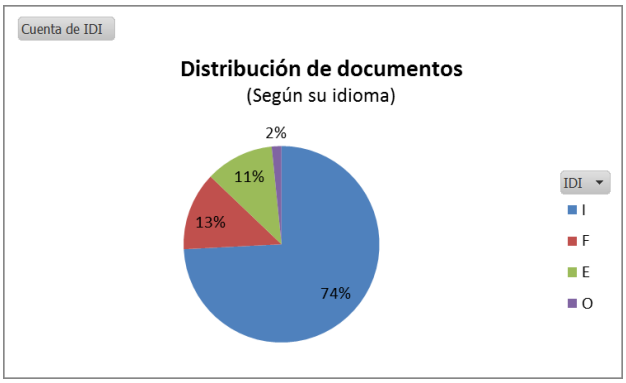


Figura 7. Distribución de documentos según su idioma.

Desde el punto de vista del acceso, se encontró que el 98% (61) de la documentación proviene de sitios con acceso público y sólo un 2% (1) tiene acceso restringido, en cuanto que se requiere estar registrado en el sitio, pagar una cuota o comprar el documento, ver Figura 8.

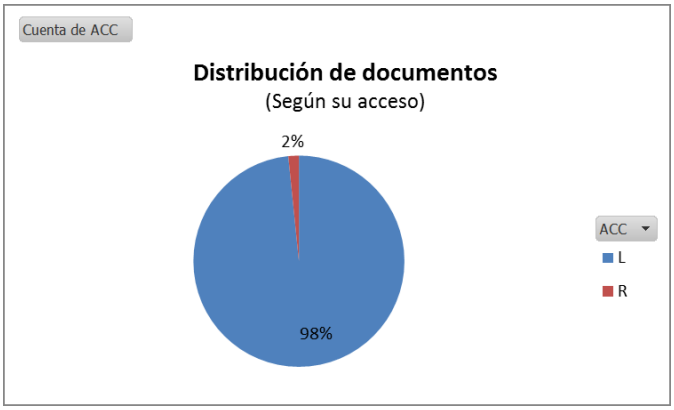


Figura 8. Distribución de documentos según su acceso.

Analizada la documentación a partir del criterio de tipo de documento, se encontró que el 44% (27) de los documentos son reportes, informes técnicos o actas (AC); el 34% (21) se trata de documentos extraídos de publicaciones periódicas (revistas especializadas) (PP); un 13% (8) libros (digitales) (LB) y sólo un 10% (6) páginas web (PW). Ver Figura 9.

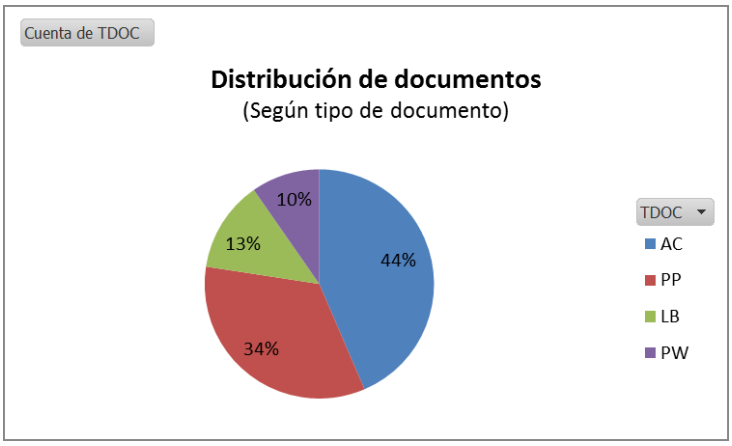


Figura 9. Distribución de documentos según tipo documento.

La totalidad 100% (62) de los documentos se encontraron en medio digital, de los cuales 87% (54) en formato *Portable Document Format* (pdf), 10% (6) en páginas desarrolladas en *HyperText Markup Language* (html) es decir páginas con formato de documentos para hipertexto y un 3% (2) hace referencia a documentos extraídos de bases de datos de texto.

7.2. Análisis de la revisión bibliográfica sobre purificación del aire

El criterio de *relevancia* permitió asignarle a cada documento consultado un determinado valor que calificara la importancia del aporte del documento con relación al propósito de la investigación. A partir de la lectura cuidadosa y atenta de los documentos más relevantes se pudo identificar y alcanzar el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo.

Los valores para el criterio de *Relevancia* fueron: *Baja, Media* y *Alta.* Se presenta a continuación un análisis cuantitativo de la documentación consultada bajo el criterio de relevancia contrastado con los demás criterios.

Si se atiende a la relación "*relevancia vs alcance*" puede decirse que el 81% (50) de la documentación consultada y seleccionada corresponde a documentación con relevancia media y alta, de los cuales el 26% (13/50) tienen un alcance *específico* y el 74% (37/50) restante un alcance *especializado,* ver Tabla 6.

Tabla 6

Relevancia vs Alcance de la información

	Alcance			Total	%
Relevancia	**General**	**Específico**	**Especializado**		
Baja	3	2	1	6	*9.7*
Media	5	5	6	16	*25.8*
Alta	1	8	31	40	*64.5*
Total general	**9**	**15**	**38**	**62**	
%	*15%*	*24%*	*61%*		

De otra parte, analizada la documentación desde los criterios de "*relevancia vs tiempo de publicación"*, el 60% (37) de los documentos de relevancia media y alta, son publicaciones que datan de los últimos quince años (2001 – 2015), ver Tabla 7.

Tabla 7

Relevancia vs Tiempo de publicación

Relevancia	**Antes de 1980**	**1980 – 2000**	**2001 – 2010**	**2011 - 2015**	**Total general**	**%**
Baja		1	2	3	**6**	*10%*
Media	1	4	6	5	**16**	*26%*
Alta		14	17	9	**40**	*65%*
Total general	1	19	25	17	**62**	
%	*2%*	*31%*	*40%*	*27%*		

Finalmente, desde la perspectiva del carácter o propósito comunicacional de los documentos consultados, como se mencionó anteriormente, el 85% (53) de los documentos tienen un carácter bien sea *académico, normativo o bien de soporte a desarrollos específicos*. Ahora bien al analizar la relación "*relevancia vs carácter"*, el 77% (48) de los documentos presentan una relevancia media y alta, de los cuales un 33% (16), tienen un carácter *académico*, otro 33% (16) tiene un carácter *Normativo* y el 33% (16) restante un carácter de *soporte a desarrollos específicos*, ver Tabla 8.

Tabla 8

Relevancia vs Carácter

	Divulgativo	**Informativo**	**Académico**	**Normativo**	**Soporte a Desarrollos específicos**		**%**
Baja	1		3	2		**6**	*10%*
Media	3	1	5	5	2	**16**	*26%*
Alta	1	3	11	11	14	**40**	*65%*
Total general	**5**	**4**	**19**	**18**	**16**	**62**	
	8%	*6%*	*31%*	*29%*	*26%*		

7.3. Revisión bibliográfica de la documentación seleccionada

Se presenta en detalle cada uno de los documentos seleccionados indicando un código de identificación, la referencia del documento, la valoración de su *alcance*, *tiempo de publicación*, *carácter* y *relevancia*, para favorecer la lectura y comprensión ver la tabla de convenciones (ver Tabla 9) que se usarán en la Tabla 10 y Tabla 11 (ver tablas).

Tabla 9

Convenciones para la tabla de revisión bibliográfica

Criterio	**Descripción**	**Codificación**	**Escala de Valoración**
Alcance	Propósito general del documento y su manera de abordar el tema.	**G**	*General*
		E	*Específico*
		S	*Especializado*
Tiempo de	Fecha de producción	**A**	*Antes de 1980*

Criterio	Descripción	Codificación	Escala de Valoración
publicación		**B**	*1980 – 2000*
		C	*2001 – 2010*
		D	*2011 - 2015*
Carácter	Principal propósito comunicacional del documento	**1**	*Divulgativo*
		3	*Informativo*
		5	*Académico*
		7	*Normativo*
		9	*Soporte a desarrollos específicos*
Relevancia	Importancia del documento con relación al propósito de la investigación	**1**	*Baja*
		3	*Media*
		5	*Alta*
Idioma	Categorización dependiendo del idioma en el que está escrito el documento	Inglés	*I*
		Francés	*F*
		Español	*E*
		Otro	*O*
Acceso	Si requiere ser usuario registrado y o se debe pagar un valor por acceder al documento o simplemente está disponible para el público	Libre	*L*
		Restringido	*R*
Tipo de documento	Tipología de documentos en función de su contenido	Libro	*LB*
		Publicación Periódica	*PP*
		Actas - Reportes	*AC*
		Tesis	*TS*
		Bibliografías	*BB*
		Catálogos	*CT*
		Bases de Datos	*BD*
		Página Web	*PW*
Medio	Medio en que se encontró el documento	Impreso	*I*
		Digital	*D*
Formato	Formato (para documentos digitales)	Word	*W*
		Portable Document Format	*P*
		Htlm	*H*

Criterio	Descripción	Codificación	Escala de Valoración
		Base de Datos	*B*
		Word	*W*

Tabla 10

Documentos de la revisión bibliográfica - i (por orden de código)

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*ALCANCE*	*TIEMPO PUBLICACIÓN*	*CARÁCTER*	*RELEVANCIA*	*RESUMEN*
1	(ALA, EPA, Consumer Product Safety Commission, American Medical Association, 1994)	S	B	7	5	Folleto está orientado a los profesionales de la salud, que lo usarían como una herramienta en el diagnóstico de los signos y síntomas de un individuo que podría estar relacionado con un problema de contaminación del aire interior. El documento está organizado de acuerdo al grupo de contaminantes o contaminantes, se enumeran signos clave y síntomas de la exposición al contaminante(s), con orientaciones de diagnóstico para ayudar a determinar la causa del problema de salud. Un resumen rápido de referencia de esta información se incluye en este folleto. Ofrece sugerencias de medidas correctivas e información más detallada en cada sección. También incluye referencias de información contenida en cada sección, copatrocinadas por las siguientes instituciones: *The American Lung Association (ALA), The Environmental Protection Agency (EPA), The Consumer Product Safety Commission (CPSC), and The American Medical Association (AMA) U.S. Government Printing Office Publication* No. 1994-523-217/81322, 1994
2	(Bureau Européen des Unions de Consommateurs, 2005)	S	C	5	3	En este documento se presentan las investigaciones relacionadas con emisiones contaminantes provenientes de ambientadores. Las pruebas de laboratorio fueron de iniciativa del BEUC (Bureau européen des Unions de Consommateurs) y llevadas a cabo por la ICRT (International Consumer Research & Testing) sobre ambientadores que se venden en Europa. Los resultados de estas pruebas fueron publicadas en Diciembre de 2004 en las revistas de organizaciones de consumidores entre las cuales se encuentran: Altro Consumo (Italia), Compra Maestra (España), Pro Teste (Portugal), Test Achats (Belgica) y Que Choisir (Francia).
3	(Burge, 2004)	E	C	5	5	Describe el síndrome del edificio enfermo (SBS), el cual se caracteriza por ofrecer síntomas sobre la mucosa y la piel. Los síntomas generales son temporales y se

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*ALCANCE*	*TIEMPO PUBLICACIÓN*	*CARÁCTER*	*RELEVANCIA*	*RESUMEN*
						relacionan con el trabajo en particular en edificios. Se trata de trabajadores que son sintomáticos, pero donde el edificio o sus servicios son la causa. El documento presenta los síntomas comunes y un método de evaluación. El número promedio de síntomas relacionados con el trabajo por ocupante se conoce como el índice de síntoma del edificio. Se puede medir de forma reproducible con encuestas simples. El índice de síntomas del edificio muestra una amplia variación entre los diferentes edificios " Enfermos ". Los edificios suelen tener las condiciones de temperatura del aire, la humedad y los niveles de iluminación que cumplen plenamente con las normas vigentes.
4	(Central Intelligence Agency, 1962)	E	A	7	3	Documento de la CIA en el que se reporta el estado de avance de la investigación soviética en el programa de bioastronaútica en el año 1962.
5	(Cuny, y otros, 2005)	S	C	9	5	El artículo pone el acento sobre los medios de remediación con respecto a la contaminación del aire interior. Presentando los avances de la utilización de procedimientos naturales. El propósito del artículo es abordar el papel que las plantas vegetales podrían jugar en esta temática. Después de recordar los principios fundamentales que sirven de base para la utilización de esta técnica, se insiste en las capacidades que pueden presentar las plantas vegetales y no sobre los sistemas de tratamiento del aire sobre la base de la rizo-filtración.
6	(Delgadillo-López, González-Ramírez , Prieto-García, Villagomez-Ibarra, & Acevedo-Sandoval, 2011)	S	D	5	1	La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Estas fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo. En esta revisión se presenta un panorama de las diversas técnicas fitocorrectivas empleadas para restaurar suelos y efluentes contaminados; así como del potencial que ofrece el uso de plantas transgénicas
7	(U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1988)	S	B	7	5	El reporte documenta el primero de dos estudios sobre la calidad del aire interior, llevado a cabo por la EPA en respuesta al interés del Congreso de los EEUU. Presenta el estudio realizado sobre 10 edificios.
8	(U.S. Environmental Protection Agency (EPA),	E	B	7	5	El reporte documenta el segundo de los dos estudios sobre la calidad del aire interior llevado a cabo por la EPA en respuesta al interés del Congreso de los EEUU. El resumen

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*ALCANCE*	*TIEMPO PUBLICACIÓN*	*CARÁCTER*	*RELEVANCIA*	*RESUMEN*
	1988)					del proyecto fue desarrollado por la oficina de la *Acid Deposition, Environmental Monitoring and Quality Assurance de Washington D.C*
9	(European Lung Foundation, 2015)	G	B	1	3	Folleto divulgativo de la fundación con el propósito de evidenciar al público, el problema general de los pulmones por causa de la contaminación de espacios cerrados. Describe el origen, los principales problemas que genera y algunas medidas para evitarlos.
10	(Gonzaga Gutierrez, 2006)	G	C	5	1	Descripción general sobre las ecotecnologías que buscan el diseño de ecosistemas para beneficio del hombre y los sistemas naturales buscando reducir los efectos nocivos al medio ambiente. Por su parte, la biotecnología presenta una serie de herramientas que podrían ser compatibles con este mínimo impacto a la naturaleza. El documento hace distinciones sobe estos conceptos fundamentales. Concluye que lo que debe hacerse es recurrir a las biotecnologías celulares en las que no se transforme el genoma y que permitan seleccionar germoplasmas provenientes de los mismos ecosistemas sobre los cuales se quiere intervenir.
11	(ISO, 2011)	S	D	7	5	Este apartado de la ISO 16000 especifica un método para determinar la presencia de VOC en el aire interior, en materiales para construcción de edificios o materiales y otros productos usados en ambientes internos. El método se denomina TENAX. El método es aplicable a la medición de compuestos orgánicos volátiles no polares y polares en concentraciones que van desde ligeramente sub-microgramos por metro cúbico a varios miligramos por metro cúbico. Utilizando los principios especificados en este método, se determinan algunos compuestos muy volátiles (VVOC) y los compuestos orgánicos semi-volátiles (SVOC).
12	(Larsen, 2004)	E	C	9	3	El reporte provee estimados de los costos sociales y económicos del daño ambiental. Los costos se presentan en seis categorías ambientales: (i) contaminación del aire urbano, (ii) agua, saneamiento e higiene, (iii) contaminación del aire interior, (iv) degradación de la tierra para agricultura; (v) desastres naturales y (vi) accidentes viales.
13	(Mauseth, 2009)	G	C	5	1	Libro de Botánica general para universidad. Se utilizó para comprender los principios básicos de taxonomía.
14	(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)	E	D	7	1	Página web del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial que da información útil para dar soporte a la toma de decisiones que permitan formular la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire que regirá al país en las próximas décadas.

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*ALCANCE*	*TIEMPO PUBLICACIÓN*	*CARÁCTER*	*RELEVANCIA*	*RESUMEN*
15	(Stutte, 2012)	S	C	5	5	Resumen general de los trabajos realizados por el doctor Wolverton y su equipo de investigadores.
16	(NASA, 2014)	G	D	3	5	Descripción general de los desarrollos realizados por el Dr. Wolverton para la NASA.
17	(Organización Mundial de la Salud, 2014)	E	D	1	5	Página web de la WHO sobre la contaminación del aire en interiores. Nota descriptiva N. 292
18	(Organización Panamericana de la Salud, 2013)	E	D	1	3	Noticia de la OPS sobre el tema: Lyon/Ginebra, 17 de octubre de 2013 (IARC)– La agencia especializada en cáncer de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC, según sus siglas en inglés), anunció en esa fecha que había clasificado la contaminación del aire como carcinógeno para los humanos (Grupo 1).
19	(Plantes Dépolluantes, 2014)	E	D	3	5	Página web en francés dedicada a la difusión sobre tema de las plantas descontaminantes.
20	(Rumchev, Spickett, Bulsara, Phillips, & Stick, 2004)	S	C	5	3	Reporte de la investigación realizada por los autores en la que concluyen que la exposición doméstica a los VOC en niveles por debajo de los actualmente aceptados puede incrementar el riesgo de asma en la infancia. La medida total de los VOC puede subestimar los riesgos asociados con los compuestos individuales.
21	(United Nations, 1997)	E	B	7	1	Protocolo de la convención realizada en 1979 sobre contaminación de largo alcance por contaminación transfronteriza relacionada con el control de emisiones de los VOC y sus flujos transfronterizos. Ginebra, 18 Noviembre 1991. Entró en vigor el 29 de septiembre de 1997.
22	(U.S. Environmental Protection Agency, 1987)	S	B	7	5	El reporte revisa las investigaciones sobre calidad del aire de interiores desde 1980 hasta diciembre de 1984. Es también una compilación de dos documentos que realizaron revisión bibliográfica y presentan esfuerzos importantes hasta ese momento sobre el tema.
23	(Vidali, 2001)	E	C	5	5	Un breve resumen sobre el desarrollo de las tecnologías de biorremediación. Se discuten las principales características y limitaciones y una visión general del estado actual de las aplicaciones en este campo. El autor es miembro del Departamento de Química Inorgánica, Metal orgánica, y Analítica de la Universidad de Padua.
24	(Wargocki, Wyon, Sundell, Clausen, & Fanger, 2000)	S	B	5	3	Reporte de la investigación realizada por los autores sobre la calidad percibida del aire interior y el síndrome del edificio enfermo. Estudio sobre oficinas amobladas de 108 m cúbicos, ventilados con flujo de aire del exterior en tasas de 3, 10 y 30 L/s por persona correspondiente a la tasa de intercambio de 0,6; 2 y 6 horas. Este estudio muestra los beneficios para la salud, confort y productividad con tasas de

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*ALCANCE*	*TIEMPO PUBLICACIÓN*	*CARÁCTER*	*RELEVANCIA*	*RESUMEN*
						ventilación muy por encima de los mínimos niveles prescritos y de los estándares y guías establecidos. Confirma los resultados de un estudio previo realizado en las mismas oficinas cuando la calidad del aire interior se mejoró disminuyendo la carga de contaminación mientras que la ventilación permanecía inalterada.
25	(Wolverton & Wolverton, 1992)	S	B	9	5	Este estudio está orientado a determinar la influencia de un gran número de plantas de hogar dentro de edificios energético-eficientes. Se utilizaron casas en el sur del Missisipi como ambiente real. Una terraza de cristal (solarium) y una sala de estar fueron evaluadas en dos estudios durante 3 meses en diferentes estaciones del año. Un dormitorio sin plantas dentro de la misma casa se utilizó como control.
26	(Wolverton, McDonald, & Watkins, Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy-efficient homes, 1984)	S	B	9	5	Reporte de los experimentos realizados para determinar la habilidad de las plantas: *Scindapsus aureus, Syngonium podophyllum y Chlorophytum elatum var. vittatum* para remover el formaldehído desde un ambiente contaminado, con concentraciones iniciales de 15-37 ppm, bajo condiciones de estudio.
27	(Wolverton, Willard, & Bounds, 1989)	S	B	9	5	Reporte interno de los trabajos realizados por Wolverton y su equipo de investigadores de la NASA en la que seleccionan 12 nuevas especies de plantas para determinar su capacidad de absorber VOC del aire interno de cámaras selladas. Se describe el hallazgo de cómo las plantas defoliadas realizan una absorción más eficiente, llevando a la conclusión que en la absorción participan de manera importante la zona de las raíces.
28	(World Health Organization. Regional Office for Europe, 1982)	S	B	7	5	Reporte de la WHO - Grupo de trabajo de Valoración y Monitoreo de la Exposición a Contaminantes en espacios interiores que fue citado por la Oficina Regional de Europa de la WHO y el Gobierno de Alemania para discutir los impactos de los contaminantes sobre la salud humana, teniendo en cuenta los numerosos casos reportados en particular por formaldehido y monóxido de carbono entre otros contaminantes.
29	(World Health Organization, 1987)	S	B	7	5	Reporte del Grupo de Trabajo de la WHO. Orientado a consolidar en ese entonces, la información disponible sobre contaminantes orgánicos en ambientes de espacios interiores de los países de Italia, Alemania, Holanda y los EEUU. Se encontró una fuerte relación entre los diferentes datos. Con esto se pudieron determinar tablas con niveles de exposición más acertados.
30	(World Health Organization.	S	C	7	5	Este libro presenta las guías de la WHO para la protección de la salud pública relacionada

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*ALCANCE*	*TIEMPO PUBLICACIÓN*	*CARÁCTER*	*RELEVANCIA*	*RESUMEN*
	Regional Office for Europe, 2010)					con los riesgos para la salud que pueden presentar los químicos presentes en el aire de espacios interiores. Las sustancias que se consideran son: benceno, monóxido de carbono, formaldehído, naftaleno, dióxido de nitrógeno, hidrocarburos aromáticos, radón, tricloroetileno y tetracloroetileno. Las guías están orientadas a profesionales de la salud involucrados en la prevención de los riesgos de exposición al ambiente, así como a los especialistas y autoridades involucradas en diseñar y usar edificios, materiales y productos para uso en espacios interiores. La guía provee una base científica para la determinación de estándares legales.
31	(Association pour la Prévention de la Pollution Atmospheríque Nord-Pas De Calais, 2010)	E	C	3	5	Expediente generado por la *Association pour la Prévention de la Pollution Atmospherique* para informar el estado de avance sobre los estudios realizados por la *Université Lille 2 Droit et Santé*, la CNRS, la CSTB y la ADEME con relación a la efectividad de la descontaminación de aire en espacios interiores por medio de plantas vegetales (Programa PHYTAIR).
32	(Bernier, 2011)	G	D	3	3	Divulgación de la experiencia realizada por *el Centre D'Ecologie Urbaine de Montreal* (CEUM) en la utilización de plantas trepadoras en fachadas en edificios de la vía Jeanne-Mance de la ciudad de Montreal, como proyecto piloto de un programa más grande cuyo propósito es realizar a escala de ciudad esta experiencia (200.000 techos urbanos).
33	(Brown, 1997)	S	B	7	5	Documento preparatorio para el análisis del estado de la calidad del aire en ambientes de interior en el año 1997. El documento se enfoca en sitios de trabajo no-industriales. Identifica los principales VOCs, las presiones y tendencias debidas a causas humanas, la respuesta que ha dado el gobierno australiano a a estas presiones e indicadores de calidad del aire interior.
34	(Bruce, Perez-Padilla, & Albalak, 2000)	S	B	7	5	Documento publicado bajo el auspicio de la WHO. Identifica a la contaminación del aire de espacios interiores como la principal amenaza a la salud pública que requiere atención y formulación de políticas urgentes. Indica la tuberculosis y las enfermedades respiratorias agudas como factores importantes para realizar las investigaciones así como la relación que tienen estas enfermedades con la pobreza de las comunidades y su dependencia de combustibles contaminantes.
35	(Bruce, Rehfuess, Mehta, Hutton, & Smith, 2006)	S	C	5	5	El acceso a fuentes de energía modernas ha sido descrito como un requisito necesario aunque no suficiente para el desarrollo económico y social. Es, por tanto, de gran preocupación que casi la mitad de la población mundial sigue dependiendo para sus

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*ALCANCE*	*TIEMPO PUBLICACIÓN*	*CARÁCTER*	*RELEVANCIA*	*RESUMEN*
						necesidades cotidianas de energía en los hogares, de combustibles ineficientes y combustibles sólidos altamente contaminantes, principalmente de biomasa (madera, estiércol animal y residuos de cultivos) y carbón. La mayoría de los hogares que utilizan combustibles sólidos los queman en chimeneas o estufas sencillas que liberan la mayor parte del humo en el hogar. La contaminación del aire interior resultante (IAP) es una importante amenaza para la salud, especialmente para las mujeres y los niños pequeños, que pueden pasar muchas horas cerca del fuego. Además, la dependencia de los combustibles sólidos y estufas ineficientes tiene otras consecuencias de largo alcance para la salud, el medio ambiente, y el desarrollo económico.
36	(Burchett, Torpy, Brennan, & Craig, 2010)	S	C	9	5	El propósito de este informe fue presentar los resultados de un proyecto emprendido para promover una comprensión de los beneficios que traen las plantas colocadas en macetas para contribuir a la calidad del aire interior, al bienestar de los ocupantes del edificio, y contribuir a la 'ecologización de la ciudad para las comunidades urbanas sostenibles. La investigación comprendió: ensayos de laboratorio de eliminación de compuestos orgánicos volátiles (COV) con tres especies no probadas; un estudio sobre el número mínimo de plantas necesarias para reducir los COV y CO2; un examen preliminar de si las plantas podrían aumentar la carga de esporas de moho en el aire; y una investigación de los efectos de las plantas en el bienestar psicológico del personal. Las pruebas de laboratorio confirmaron que las especies estudiadas tienen capacidades similares para eliminar COV igual que nueve especies probadas previamente. El estudio registró reducciones de CO2 y COV, pero menos marcadas que en estudios anteriores, probablemente debido a una mayor eficiencia de los sistemas de aire acondicionado más modernos, y la iluminación inadecuada. La investigación y desarrollo en horticultura es necesaria para optimizar la contribución de las plantas en la eliminación de CO2. No se observaron efectos significativos por las plantas en los recuentos de moho. Se observaron altas reducciones significativas de estados de ánimo negativos en las personas. También se presentan recomendaciones para nuevas actividades de I + D.
37	(Departamento Nacional de Planeación, 2005)	E	C	7	3	Este documento presenta a consideración del Consejo Nacional de Política Económica y Social, CONPES, los lineamientos para la formulación de políticas y estrategias intersectoriales para la prevención y el control de la contaminación del aire en las ciudades y zonas industriales de Colombia.

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*ALCANCE*	*TIEMPO PUBLICACIÓN*	*CARÁCTER*	*RELEVANCIA*	*RESUMEN*
38	(Cuny D. , 2010)	S	C	5	5	Presentación desde la perspectiva del investigador de la *Université Lille Nord de France, Faculté de Pharmacie. Laboratoire des Sciences Végétales et Fongiques*, del estado de conocimiento a esa fecha sobre las diferentes tecnologías utilizadas para depurar el aire en interiores y algunas aplicaciones prácticas. Se realiza una revisión especial acerca de la efectividad de las plantas para depurar el aire. Identificación de la relación planta-suelo como factor de mayor efectividad y la indicación de posibilidades de utilizar las plantas como bio-indicadores.
39	(Cuny & Cuny, 2010)	S	C	5	5	Presentación de los autores del marcador de genotoxicidad en un modelo vegetal indicador de la calidad del aire interior - Proyecto MAGIQ en el marco del programa de *Restitution du programmme national de recherche environnement santé travail* (Restitución del programa nacional de investigación ambiente salud trabajo) auspiciado por la ANSES (Agencia nacional de seguridad sanitaria, alimentación, ambiente y trabajo).
40	(U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1991)	G	B	1	3	Boletín de la EPA de 1991, en el que describe las generalidades del síndrome del edificio enfermo y de la enfermedad relacionada con las construcciones, causas indicadores, y modos de remediación.
41	(U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2000)	G	B	5	3	La fitorremediación es el nombre dado a un conjunto de tecnologías que usan diferentes plantas como técnicas para la contención, destrucción, o extracción. La fitorremediación ha estado recibiendo atención últimamente por los resultados de las pruebas de campo que indican un ahorro en costos en comparación con los tratamientos convencionales. Esta introducción tiene por objeto proporcionar una herramienta que permita evaluar la aplicabilidad de la fitorremediación en un sitio. Este documento define los términos y proporciona un marco para entender las aplicaciones de fitorremediación. Es una compilación de la investigación y el trabajo de remediación que se ha hecho hasta la fecha. No es un manual de diseño, y no está destinado a proporcionar suficiente información para elegir, diseñar e instalar una aplicación de fitorremediación. Este trabajo también se puede utilizar para ayudar a guiar la investigación, el desarrollo y la regulación.
42	(Fjeld, 2000)	E	B	5	5	Las plantas son utilizadas ampliamente en entornos de edificios; sin embargo, los estudios que reportan síntomas en la salud y el malestar de la gente como respuesta a la presencia de plantas de follaje de interior son escasos. El objetivo de los estudios presentados fue evaluar el efecto de las plantas de follaje o una combinación de plantas de follaje y las

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*ALCANCE*	*TIEMPO PUBLICACIÓN*	*CARÁCTER*	*RELEVANCIA*	*RESUMEN*
						lámparas fluorescentes de amplio espectro completo, sobre la salud y las enfermedades auto-reportadas en tres entornos de trabajo diferentes.
43	(Dela Cruz, Christensen, & Müller, 2014)	S	D	5	5	Estudios de laboratorio indican que la eliminación de VOCs inducida por plantas es una combinación de mecanismos directos (por ejemplo, absorción) e indirectos (por ejemplo, la biotransformación por microorganismos). También demuestran que la tasa de reducción del nivel de compuestos orgánicos volátiles está influenciada por un número de factores tales como las especies de las plantas, la intensidad de la luz y la concentración de VOC. Por ejemplo, en algunos estudios, un aumento en la intensidad de la luz tiene han demostrado que conduce a un aumento en la eliminación de un contaminante. Los estudios llevados a cabo en situaciones de la vida real, tales como oficinas y hogares son pocos y muestran resultados mixtos.
44	(Giese, Bauer-Doranth, Langebartels, & Sandermann, 1994)	S	B	9	5	Los resultados de los experimentos son consistentes con el concepto de la descontaminación del aire interior por medio de plantas de interior comunes tales como la *spider plant*. El formaldehido parece ser eficientemente detoxificado y metabolizado.
45	(Guo, y otros, 2013)	S	D	9	5	Este estudio evaluó los síntomas subjetivos relacionados con las concentraciones en espacios interiores, de productos químicos, entre los residentes en una urbanización en Dalian, China, donde la contaminación del aire debida a los materiales de decoración de interiores se ha convertido recientemente en un importante problema de salud. Cincuenta y nueve hombres y cincuenta mujeres fueron encuestados por sus síntomas relacionados con el síndrome del edificio enfermo. El formaldehído (HCHO), NO2, y los compuestos orgánicos volátiles (COV) en sus viviendas fueron recolectadas por medio de un difusor y medido posteriormente por GC/MS. Se concluye que las substancias químicas presentes en los materiales para decoración de interiores en el aire de espacios interiores por debajo de los valores reglamentarios pueden afectar la salud de los residentes.
46	(Huang, Lee, & Yen, 2015)	S	D	9	3	El propósito de este estudio fue explorar el tamaño del material particulado y su composición en espacios de interior versus espacios al aire libre, así como en los espacios interiores que contenían alfombras y sin ellas; y, finalmente, ofrecer algunas recomendaciones. Los equipos de medición utilizados fueron modelos de Aerotrak Company serie (9310-02)

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*ALCANCE*	*TIEMPO PUBLICACIÓN*	*CARÁCTER*	*RELEVANCIA*	*RESUMEN*
47	(Yoo, Kwon, & Son, 2006)	S	C	9	5	El documento evalúa la habilidad de las plantas: *Hedera helix L., Spathiphyllum wallisii Regal, Syngonium podophylum Schott., y Cissus rhombifolia*, para remover VOCs de espacios interiores tales como benceno y tolueno. Los resultados indican una interacción entre los gases absorbidos por las plantas. Las diferentes vías para la absorción y la respuesta a un sólo gas no fueron necesariamente indicadores de la respuesta cuando otros gases estaban presentes. Los cambios en las tasas de fotosíntesis, conductancia de los estomas y transpiración antes y después de la exposición a los gases, indicaron que los VOC afectaron de manera adversa a las plantas y los efectos no fueron consistentes entre las diferentes especies y tipos de gases. Efectos perjudiciales de los contaminantes volátiles en plantas de interior pueden ser críticos para establecer su eficacia para mejorar la calidad del aire interior y requiere más estudios.
48	(Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2012)	G	D	7	3	Con base en lo datos suministrados por los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire (SVCA) el IDEAM recopila información muy importante relacionada con el monitoreo y del estado de la calidad del aire en el país.
49	(Carter, y otros, 2009)	E	C	5	5	Editoral de la revista Indoor Air, impresa en Singapur, en el que los estudiantes del *National Science Foundation* (NSF) identifican las prioridades en el tema del aire interior.
50	(World Health Organization (WHO) & International Programme on Chemical Safety (IPCS), 1997)	S	B	7	5	Informe final del simposio realizado del 25-27 de septiembre de 1997 en Ustroñ (Polonia) organizado por el Instituto de Medicina Ocupacional y Salud Ambiental de Sosnowiec (Polonia), el Comité Polaco para la Investigación Científica de Varsovia (Polonia), el Programa del Ambiente de las Naciones Unidas, la Organización Internacional del Trabajo y la Organización Mundial de la Salud (Regional Europa). Presenta los resultados del simposio para revisar la evidencia y relaciones entre la calidad del ambiente interior, la salud respiratoria, incluyendo enfermedades alérgicas.
51	(Istituto Superiore di Sanità (ISTISAN), 2014)	S	D	5	3	A la fecha de la realización del taller, Italia no contaba con una legislación de referencia para el tema del aire en interiores. El Instituto Superior de Salud (ISS) ofrece una contribución de tipo técnico orientada a los legisladores y operadores del sector público y privado para que puedan afrontar mejor el problema *indoor* para favorecer la homogeneidad de acciones y el desarrollo de estratagias de salud pública en este asunto.
52	(U.S. Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC),	S	C	7	3	Descripciones de las técnicas de fitotecnología concentradas especialmente en: fitodegradación, rizodegradación, fito-hidráulica, fito-extractores, fito-degradación y

CÓDIGO	REFERENCIA	ALCANCE	TIEMPO PUBLICACIÓN	CARÁCTER	RELEVANCIA	RESUMEN
	2009)					fito-volatilización. Este enfoque fue escogido para proporcionar la precisión científica y la comprensión básica de estos mecanismos. Los árboles de decisión ayudan a guiar al usuario a través de la aplicación de fitotecnologías en un proyecto de remediación.
53	(Kirchner, y otros, 2007)	E	C	7	3	Primera referencia disponible con relación a la calidad del aire interior en los hogares franceses. Se concentró en más de 30 variables (químicas, biológicas y físicas). La medición se realizó durante un período de una semana en varias habitaciones de cada casa, garajes en adjunto y exteriores. Los primeros resultados muestran diferencias entre el aire interior y al aire libre, con algunas concentraciones de algunos contaminantes más altas en el interior o que ni siquiera encuentran al aire libre. La mayoría de los compuestos de interés se encuentran en la mayoría de las viviendas encuestadas. Estos hallazgos demuestran el gran número de posibles fuentes de contaminación interior (materiales de construcción, accesorios, muebles, productos de limpieza del hogar, actividad humana, el medio ambiente al aire libre, etc.) y de las condiciones de ventilación. Este estudio fue desarrollado por : *L'Observatoire de la qualité de l'air interieur* (OQAI) en 567 alojamientos seleccionados al azar representativos de 24 millones de residencias en Francia entre los años 2003-2005.
54	(Kim, y otros, 2010)	S	C	9	5	Reporte de experimentos realizados para determinar la eficacia de la eliminación de formaldehído gaseoso en 86 especies de plantas que representan cinco clases generales (helechos, plantas de follaje leñosas, plantas de follaje herbáceo, plantas nativas coreanas y hierbas). El potencial de fitorremediación se evaluó por la exposición de las plantas al formaldehído gaseoso (2,0 ml.L-1) en cámaras herméticas (1,0 m3) construidas con materiales inertes y se realizó la medición de la velocidad de eliminación. Las especies más efectivas fueron : *Japonica Osmunda, Selaginella tamariscina, Davallia Mariesii, Polypodium formosanum, Psidium guajava, Lavandula spp., Pteris dispar, Pteris multifida y Pelargonium spp*. con tasas de eliminación de más de 1,87 mg.m-3.cm-2 durante 5 horas.
55	(Kim, y otros, 2008)	S	C	9	5	Reporte de experimentos realizados para comparar la eficiencia en la remoción de formaldehido entre las partes aéreas de las plantas y la zona de las raíces. Las especies utilizadas *fueron Fatsia japonica Decne. & Planch., y Ficus Benjamina L.* Se concluye que la zona de las raíces realizó mejores absorciones de formaldehído tanto en el día como en la noche gracias a los microorganismos y a los procesos de absorción

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*ALCANCE*	*TIEMPO PUBLICACIÓN*	*CARÁCTER*	*RELEVANCIA*	*RESUMEN*
						en las raíces.
56	(Lioy & P.J., 2006)	S	C	5	5	En años recientes, la información y los conceptos atribuidos a la contaminación exterior se han encontrado útiles para el examen de los procesos químicos y dinámicos de ambientes de interior. Además, debido a la naturaleza de confinamiento del ambiente interior, procesos tales como Destilación Global (efecto saltamontes) puede conducir a niveles más altos y sostenidos de productos químicos semivolátiles en ambientes interiores y generar exposiciones de multi-ruta (inhalación, vía dérmica, por dieta, y no-dieta). Tales procesos también pueden conducir a una mezcla compleja de ambos compuestos semivolátiles y volátiles en el aire interior y en las superficies o dentro de los objetos. Este artículo examina específicamente lo anterior en combinación con otro de los temas de interior, la química interior, y coloca los resultados en un contexto que se puede utilizar para evaluar (1) múltiples exposiciones a contaminantes y riesgos acumulativos o agregados en el interior, (2) las estrategias de reducción de la exposición que puede crear ambientes interiores saludables.
57	(Observatoire de la Quailité de l'air Interieur (OQAI), Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de Lille & Agencie de L'Environnement et de la Maitrise de L'Energie (ADEME), 2010)	S	C	5	5	Luego de algunos años, se ha desarrollado alrededor de la depuración del aire de interior por medio de plantas, un fuerte proceso de divulgación en medios y un marketing intensivo. Las investigaciones científicas han sido conducidas en este tema por parte de la NASA, pero ningún trabajo de síntesis se ha realizado hasta la fecha para determinar y establecer la eficacia e inocuidad de tales dispositivos. Las jornadas técnicas han realizado la invitación a miembros del OQAI, así como a instituciones científicas interesadas en el tema del aire interior. Se revisan los trabajos realizados en Francia y en otros países y se realizan las discusiones respecto a los trabajos presentados.
58	(Zhou, Yue, Chen, & Xu, 2013)	S	D	9	5	Reporte de experimentos realizados con 10 plantas de la familia de las *Marantaceae* y 10 de las *Pteridophytes* evaluadas por sus habilidades en la remoción de formaldehído en el aire. Las tasas de purificación más rápidas se encontraron en las especies: *C. zebrina, M. punctatum* y las más lentas fueron las especies: *C. parasiticus, P. ensiformis cv., Victoriae, N. nidus cv Volulum y C. setosa*. 8 Especies de plantas de maceta podrían recomendarse para purificar el aire interior de formaldehído*: N. nidus, Calathea rotundifolia, P. cretica cv. Albolineata, C. ornata, P. bifurcatum, N. nidus cv. Volulum, C. roseo-picta, and C. freddy.*

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*ALCANCE*	*TIEMPO PUBLICACIÓN*	*CARÁCTER*	*RELEVANCIA*	*RESUMEN*
59	(Zhou, Qin, Liao, & Xu, 2011)	S	D	9	5	Reporte de experimentos realizados con 30 especies de plantas de las familias: *Araceae y Liliaceae* en la remoción de formaldehído al interior de cámaras de vidrio. Las plantas con mejor desempeño fueron: *Scindapsus aureus, Asparagus setaceus, S. trifasciata cv. Hahnii, C. comosum, A. commutatum cv. White Rajah, A. commutatum cv. Red Narrow, A. commutatum cv. Treubii, S. pictus cv. Argyraeus, G. gracilis and P. sodiroi cv. Wendimbe*.
60	(Weidner & Texeira, 2006)	S	C	9	5	El potencial de detoxificación de contaminantes del aire, predominantemente de formaldehído y nicotina, por parte de plantas de interior, se presenta en este reporte técnico. Específicamente con las plantas: Epipremnum aureum y Ficus benjamina.
61	(Wang, Pei, & Zhang, 2014)	S	D	9	5	Reporte de experimentos para determinar los diferentes mecanismos presentes en la filtración botánica para la remoción de contaminantes en el aire de interiores. Se utilizaron especies *Epipremnum aureum* (Golden photos). Se encontró que el aire que fluye a través de la cama de las raíces que contienen microbios es esencial para obtener una significativa eficiencia en la remoción de formaldehído. El papel de la planta consiste en introducir y mantener una comunidad microbiana la cual efectivamente degradó los VOCs.
62	(Asociación Española para la Cultura, el Arte y la Educación, 2014)	G	D	1	1	La Ciencia Ecológica es un subsitio del portal de la ASOCAE que contiene información general sobre temas de ecología. La información se encuentra en español y es útil para la obtención de información general sobre diferentes temas del área.
63						

A continuación se presenta la lista completa de documentos consultados y seleccionados con la identificación de su *Código* y las valoraciones de los criterios: *Idioma, Acceso, Tipo de documento, Medio, Formato* y el número de páginas ver Tabla 11.

Tabla 11

Documentos de la revisión bibliográfica - ii (por orden de código)

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*IDIOMA*	*ACCESO*	*TIPO DE DOC.*	*MEDIO*	*FORMATO*	*NÚMERO DE PÁGINAS*
1	(ALA, EPA, Consumer Product Safety Commission, American Medical Association, 1994)	I	L	LB	D	P	33

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*IDIOMA*	*AC-CESO*	*TIPO DE DOC.*	*MEDIO*	*FORMATO*	*NÚMERO DE PÁGINAS*
2	(Bureau Européen des Unions de Consommateurs, 2005)	I	L	AC	D	P	54
3	(Burge, 2004)	I	L	AC	D	P	7
4	(Central Intelligence Agency, 1962)	I	L	AC	D	P	102
5	(Cuny, y otros, 2005)	F	L	PP	D	P	4
6	(Delgadillo-López, González-Ramírez , Prieto-García, Villagomez-Ibarra, & Acevedo-Sandoval, 2011)	E	L	PP	D	P	16
7	(U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1988)	I	L	AC	D	P	8
8	(U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1988)	I	L	AC	D	P	12
9	(European Lung Foundation, 2015)	I	L	LB	D	P	4
10	(Gonzaga Gutierrez, 2006)	E	L	PP	D	P	6
11	(ISO, 2011)	I	L	AC	D	P	36
12	(Larsen, 2004)	I	L	AC	D	P	74
13	(Mauseth, 2009)	I	R	LB	D	B	51
14	(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)	E	L	PW	D	H	1
15	(Stutte, 2012)	I	L	AC	D	P	8
16	(NASA, 2014)	I	L	PW	D	H	1
17	(Organización Mundial de la Salud, 2014)	E	L	PW	D	H	1
18	(Organización Panamericana de la Salud, 2013)	E	L	PW	D	H	1
19	(Plantes Dépolluantes, 2014)	F	L	PW	D	H	1

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*IDIOMA*	*AC-CESO*	*TIPO DE DOC.*	*MEDIO*	*FORMATO*	*NÚMERO DE PÁGINAS*
20	(Rumchev, Spickett, Bulsara, Phillips, & Stick, 2004)	I	L	PP	D	P	6
21	(United Nations, 1997)	I	L	AC	D	P	3
22	(U.S. Environmental Protection Agency, 1987)	I	L	AC	D	P	2
23	(Vidali, 2001)	I	L	PP	D	P	10
24	(Wargocki, Wyon, Sundell, Clausen, & Fanger, 2000)	I	L	PP	D	P	15
25	(Wolverton & Wolverton, 1992)	I	L	AC	D	P	7
26	(Wolverton, McDonald, & Watkins, Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy-efficient homes, 1984)	I	L	AC	D	P	6
27	(Wolverton, Willard, & Bounds, 1989)	I	L	AC	D	P	14
28	(World Health Organization. Regional Office for Europe, 1982)	I	L	AC	D	P	48
29	(World Health Organization, 1987)	I	L	AC	D	P	77
30	(World Health Organization. Regional Office for Europe, 2010)	I	L	AC	D	P	484
31	(Association pour la Prévention de la Pollution Atmospheríque Nord-Pas De Calais, 2010)	F	L	AC	D	P	29
32	(Bernier, 2011)	F	L	LB	D	P	80
33	(Brown, 1997)	I	L	LB	D	P	68
34	(Bruce, Perez-Padilla, & Albalak, 2000)	I	L	PP	D	P	15
35	(Bruce, Rehfuess, Mehta, Hutton, & Smith, 2006)	I	L	LB	D	B	23

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*IDIOMA*	*AC-CESO*	*TIPO DE DOC.*	*MEDIO*	*FORMATO*	*NÚMERO DE PÁGINAS*
36	(Burchett, Torpy, Brennan, & Craig, 2010)	I	L	AC	D	P	47
37	(Departamento Nacional de Planeación, 2005)	E	L	AC	D	P	30
38	(Cuny D. , 2010)	F	L	AC	D	P	43
39	(Cuny & Cuny, 2010)	F	L	AC	D	P	21
40	(U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 1991)	I	L	AC	D	P	4
41	(U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2000)	I	L	LB	D	P	105
42	(Fjeld, 2000)	I	L	PP	D	P	7
43	(Dela Cruz, Christensen, & Müller, 2014)	I	L	PP	D	P	20
44	(Giese, Bauer-Doranth, Langebartels, & Sandermann, 1994)	I	L	PP	D	P	9
45	(Guo, y otros, 2013)	I	L	PP	D	P	16
46	(Huang, Lee, & Yen, 2015)	I	L	PP	D	P	5
47	(Yoo, Kwon, & Son, 2006)	I	L	PP	D	P	7
48	(Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2012)	I	L	LB	D	P	311
49	(Carter, y otros, 2009)	I	L	PP	D	P	2
50	(World Health Organization (WHO) & International Programme on Chemical Safety (IPCS), 1997)	I	L	AC	D	P	150
51	(Istituto Superiore di Sanità (ISTISAN), 2014)	O	L	AC	D	P	145
52	(U.S. Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC), 2009)	I	L	AC	D	P	204
53	(Kirchner, y otros, 2007)	F	L	PP	D	P	11

CÓDIGO	*REFERENCIA*	*IDIOMA*	*AC-CESO*	*TIPO DE DOC.*	*MEDIO*	*FORMATO*	*NÚMERO DE PÁGINAS*
54	(Kim, y otros, 2010)	I	L	PP	D	P	7
55	(Kim, y otros, 2008)	I	L	PP	D	P	6
56	(Lioy & P.J., 2006)	I	L	PP	D	P	18
57	(Observatoire de la Quailité de l'air Interieur (OQAI), Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de Lille & Agencie de L'Environnement et de la Maitrise de L'Energie (ADEME), 2010)	F	L	AC	D	P	44
58	(Zhou, Yue, Chen, & Xu, 2013)	I	L	PP	D	P	7
59	(Zhou, Qin, Liao, & Xu, 2011)	I	L	PP	D	P	7
60	(Weidner & Texeira, 2006)	I	L	AC	D	P	10
61	(Wang, Pei, & Zhang, 2014)	I	L	PP	D	P	9
62	(Asociación Española para la Cultura, el Arte y la Educación, 2014)	E	L	PW	D	H	

7.4. Principales contaminantes del aire en espacios cerrados

La calidad del aire en el interior de los hogares, oficinas, escuelas, guarderías, edificios públicos, centros de atención médica u otros edificios privados y públicos, donde las personas pasan gran parte de su vida es un elemento esencial determinante de la vida sana y el bienestar de las personas. El aire limpio es un requisito básico de la vida. Las sustancias peligrosas emitidas por los edificios mismos, los materiales de construcción y equipos de interior o las mismas actividades humanas en espacios interiores, como la combustión de combustibles para cocinar o calentar, conducen a una amplia gama de problemas de salud que incluso pueden ser mortales.

La Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés) elaboró en el 2010 una guía en la que identificó los principales contaminantes presentes en espacios interiores. La guía está dirigida a profesionales de la salud pública involucrados en la prevención de riesgos para la salud por la exposición ambiental, así como a especialistas y autoridades involucradas en el diseño y uso de edificios, materiales internos y productos. Proporcionan una base científica para las normas legalmente exigibles. En la siguiente tabla se pueden apreciar los principales contaminantes, ver Tabla 12.

Tabla 12

Principales contaminantes en espacios interiores y directrices de la WHO

Contaminante	Resultados críticos para la definición de la guía	Directrices
Benceno	Leucemia Mieloide Aguda (evidencia suficiente sobre su causalidad). Genotoxicidad	No se recomienda un nivel seguro a su exposición. La unidad de riesgo de Leucemia es de 1 $\mu g/m^3$ en concentración de aire de $6X10^{-6}$ Las concentraciones de benceno en el aire asociados con un excesivo riesgo vital son: 1/10.000, 1/100.000 and 1/1 000.000 son 17, 1.7 and 0.17 µg/m3, respectivamente.
Monóxido de Carbono	La exposición aguda a esta substancia está relacionada con la reducción de la tolerancia al ejercicio y el incremento en los síntomas de la enfermedad isquémica del corazón.	15 min – 100 mg/m^3 1 hora – 35 mg/m^3 8 horas – 10 mg/m^3 24 horas – 7 mg/m^3
Formaldehído	Irritación sensorial	0.1 1 mg/m^3 -30 min promedio
Naftaleno	Lesiones en el tracto respiratorio llevan a la inflamación y tumores malignos en estudios en animales.	0.01 mg/m^3 promedio anual
Dióxido de Nitrogeno	Síntomas respiratorios, bronco-constricción, incremento en la reactividad bronquial, inflamación de vías respiratorias y disminución en el sistema inmunológico que conduce a una mayor susceptibilidad a la infección respiratoria	200 $\mu g/m^3$-1 hora en promedio 40 $\mu g/m^3$- promedio anual
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	Cáncer de pulmón	No hay umbral se puede determinar y todas las exposiciones interiores se consideran relevantes para la salud

Contaminante	Resultados críticos para la definición de la guía	Directrices
		Unidad riesgo de cáncer de pulmón para las mezclas de HAP se estima en $8,7x10^{-5}$ ng/m3 de B[a]P Concentraciones en la exposición de por vida produce exceso de riesgo de cáncer : 1/10.000, 1/100.000 y 1/1000.000 son aproximadamente 1,2, 0,12 y 0,012 ng/m^3 respectivamente
Radón	Cáncer de pulmón La evidencia sugiere asociación con otros tipos de cáncer, especialmente leucemia cánceres de las vías extra-torácicas.	El exceso de riesgo de por vida de muerte por cáncer de pulmón inducida por radón (hasta 75 años de edad) se estima en $0,6x10^{-5}$ Bq/ m^3 para los no fumadores de toda la vida y 15×10^{-5} Bq/m^3 para los fumadores actuales (15 a 24 cigarrillos por día); entre los exfumadores, el riesgo es intermedio, dependiendo del tiempo de abandono del tabaco. Las concentraciones de radón asociadas con riesgo de por vida de más de 1/100 y 1/1000 son 67 y 6,7 Bq/ m3 para los fumadores actuales y 1670 y 167 Bq / m3 para los no fumadores de toda la vida, respectivamente
Tricloroetileno	Carcinogénesis (hígado, riñón, conducto biliar y el linfoma de Hodgkin), con la suposición de genotoxicidad.	Estimación de la unidad de riesgo: $4,3\times10^{-7}$ por g/m^3 Las concentraciones de tricloroetileno en el aire están asociadas con un exceso del riesgo de cáncer de 1:10.000, 1: 100.000 y 1:1.000.000 son 230, 23 y 2.3 mg/m^3, respectivamente
Tetra-cloro etileno	Efectos en el riñón indicativos de enfermedad renal temprana y deterioro de su rendimiento	0,25 mg/m^3 - promedio anual

Nota: Adaptado de "WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants" (World Health Organization. Regional Office for Europe, 2010, págs. xxiv-xxv).
Unidades de medida: µg microgramo / ng: nanogramo / Bq: becquerel o becquerelio1 (símbolo Bq) es una unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades que mide la actividad radiactiva. Un becquerel se define como la actividad de una cantidad de material radiactivo con decaimiento de un núcleo por segundo. Equivale a una desintegración nuclear por segundo.

La identificación de las principales fuentes de origen de estos contaminantes y las maneras como los seres humanos pueden contaminarse pueden verse en la siguiente Tabla 13.

Tabla 13

Principales fuentes de contaminantes y rutas de exposición

Contaminante	Fuentes en espacios interiores (orden alfabético)	Principales rutas de exposición
Benceno	Actividades de Fotocopiado e impresión Actividades humanas (limpieza, pintura) Adhesivos para los techos Aire del exterior (tráfico) Alfombras de nylon Combustibles (madera, telas, gasolina, keroseno, petróleo para estufas, inciensos) Estaciones de gasolina Fibra de vidrio Garajes Humo del cigarrillo Industrias relacionadas con Carbón, gas natural, químicos y acero Madera contrachapada Materiales de construcción Muebles Páneles de madera Pinturas Pisos en caucho PVC Removedores de pinturas Repelentes Sistemas de calentamiento y cocina Solventes Vinilos	Inhalación
Monóxido de Carbono	Cercanía a vías de tráfico de vehículos y parqueaderos Chimeneas Combustión de inciensos Combustión inadecuada de gas propano y metano Emisiones por actividades antropogénicas Humo de cigarrillo Sistemas de calentamiento y cocina	Inhalación
Formaldehído	Barnices Barnices para las uñas Champús Cosméticos Equipos electrónicos (PC) Humo de cigarrillo Impresoras Insecticidas Jabón líquido Lacas Madera contrachapada Materiales aislantes Materiales de construcción Muebles Papel de colgadura Pegantes Pinturas Productos de consumo	Inhalación

Contaminante	Fuentes en espacios interiores (orden alfabético)	Principales rutas de exposición
	Productos de limpieza para hogares Productos de papel Productos hechos de madera Resinas Textiles	
Naftaleno	Bolas de Naftalina Calentadores a base de kerosene Combustión de inciensos Combustión de madera, gasolina Herbicidas Humo de cigarrillo Insecticida doméstico o de jardines (Carbaryl) Lubricantes Materiales de plástico Motores Diesel o Petróleo Pinturas PVC Resinas sintéticas Solventes multipropósito Spray para el cabello	Inhalación Contacto por la piel
Dióxido de Nitrógeno	Combustión de madera, petróleo, kerosene o carbón Estufas de leña, gas natural, propano Garajes Humo de cigarrillo Parqueaderos subterráneos Sistemas de calefacción (Madera, gas natural) Tráfico vehicular	Inhalación
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	Alimentos fritos Carnes o productos ahumados Edad de las construcciones (entre más viejas pueden generar concentraciones mayores) Endulzantes y postres Estufas a combustión de estiércol,madera, residuos orgánicos, carbón o briquetas Gasolina Humo del cigarrillo Inmunizadores de madera a base de creosota Productos horneados Tráfico vehicular Velas, veladoras	Inhalación Ingestión Contacto en la piel
Radón	Vapores que emanan del suelo Materiales de construcción a base de piedra volcánica o concretos a base de esquisto Obras hidráulicas que usan fuentes de agua subterráneas	Inhalación Ingestión de agua contaminada con radón
Tricloroetileno	Adhesivos Aire exterior Algunos productos para la limpieza Barnices Líquido corrector de mecanografía Lubricantes Obras hidráulicas que usan fuentes de agua subterráneas Removedores de pintura	Inhalación Ingestión de agua contaminada Contacto en la piel

Contaminante	Fuentes en espacios interiores (orden alfabético)	Principales rutas de exposición
	Tintes para la madera	
Tetracloroetileno TCE	Adhesivos Algunas fragancias Algunos artículos para la limpieza Limpiadores de madera Limpiadores para vehículos Pinturas Removedores Repelentes Textiles o ropas tratados con TCE Tintas de impresión	Inhalación Ingestión de agua contaminada

Nota: Adaptado de "WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants" (World Health Organization. Regional Office for Europe, 2010).

7.5. Tecnología de biodepuración del aire

De acuerdo con estudios adelantados por investigadores de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Biológicas de Lille (Francia), el Centro Científico y Técnico del Edificio, y el Departamento de Climatología, Aerodinámica, Polución y Depuración de Nantes (Francia), una sustancia contaminante presente en la atmósfera puede penetrar en una planta por dos posibles vías. La primera es a través de la raíz, una vez que el contaminante se ha disuelto en el agua presente en el suelo. Por esta vía ocurre una variedad de reacciones físicas, químicas y biológicas gracias a la participación de microorganismos. La segunda vía de entrada son las hojas. A este nivel, existen dos vías posibles: a) a través de los estomas o b) a través de un depósito superficial (Cuny, y otros, 2005, pág. 34).

Los estomas son orificios presentes principalmente en la epidermis de las hojas de las plantas y son necesarios para la respiración, la fotosíntesis y la regulación del agua. A través de los estomas ocurre el intercambio de gases entre la planta y la atmósfera. Pero no todos los contaminantes pueden entrar a la planta por esta vía, sólo los contaminantes más volátiles, con bajo peso molecular e hidrosolubles (SO2, NOx, O3, Formaldehído, benceno, tolueno…). Los contaminantes dentro de las cavidades sub-estomáticas entran en contacto con el agua de las

paredes y ocurre el intercambio celular y la metabolización, lo que puede generarle efectos nocivos a las plantas o eventualmente ser almacenados (Cuny et al., 2005, p.34).

Los contaminantes de volatilidad intermedia de alto peso molecular y aquellos en forma de polvo y aerosoles se depositan preferentemente sobre la cutícula, la cual es una capa lipídica continua (excepto en los estomas), y que es una barrera protectora con múltiples funciones para la planta. Esta cutícula no está sólo en la superficie, sino que también tiene extensiones al interior de la epidermis. Los contaminantes pueden migrar dentro de esta cutícula bajo la influencia de parámetros como temperatura y naturaleza del contaminante (Cuny et al., 2005, pp.34-35).

Los Laboratorios de Tecnología Espacial de la NASA ubicados en el estado de Mississipi empezaron a realizar investigaciones en los años ochenta usando procesos naturales para reciclar el agua, purificar el aire y revitalizar sistemas ecológicos cerrados de soporte vital. A continuación una somera descripción de los experimentos realizados y los resultados encontrados.

Dentro de cámaras selladas de Plexiglas® con temperatura y humedad controladas e iluminadas con grandes focos, se evaluó la capacidad de un grupo de plantas para remover del aire contaminado, la sustancia de formaldehído en concentraciones de 15-37 ppm. Las plantas utilizadas fueron: Potos (*Scindapsus aureus)*, Singonio ó Cabeza de flecha (*Syngonium podophyllum*) y Planta Araña (*Chlorophytum elatum var. vittatum*). Bajo condiciones de estudio, la Planta Araña probó ser la más eficiente para absorber y o remover hasta 2,27 μg de formaldehído por cm^2 de área foliar en 6 horas de exposición. En la siguiente tabla, los resultados obtenidos, ver Tabla 14.

Tabla 14

Datos de experimentos grupos de control y con plantas con follaje

	Formaldehyde, ppm							
Experiment	0h	6h	24 h	V_{cas} L*	Temp ^{0}C	Barometric pressure, mm	Mean leaf surface area cm^2	No. of replicates
Controls w/o pots	17	17	17	362	28.3	765	0	3
Controls w/ pots	15	12	10	356	28.0	765	0	3
Scindapsus aureus	18	9	6	354	29.2	765	9,340	7
Syngonium podophyllum	18	9	6	355	27.8	764	8,549	6
Chlorophytum elatum var. vittatum								
Set 1	14	2	< 2	356	26.3	763	7,086	7
Set 2	37	8	< 2	359	23.8	763	6,135	3
*Corrected to STP								

Nota: Tomado de "Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy-efficient homes" (Wolverton, McDonald, & Watkins, 1984, pág. 227).

En posteriores estudios, se encontró que no sólo las hojas de las plantas daban cuenta de la remoción de los contaminantes, sino también la zona de las raíces. De hecho en 1989, Wolverton, Willard y Bounds realizaron experimentos en los que concluían:

> Durante los últimos estudios, los únicos controles utilizados fueron cámaras libres de plantas para evaluar la fuga de los productos químicos, y macetas con tierra y sin plantas. En ese entonces se suponía que la retirada de productos químicos de las cámaras selladas podía atribuirse a las hojas de la planta…Otro cambio importante realizado para este estudio, en un esfuerzo para determinar el mecanismo exacto en la eliminación química fue la defoliación de las plantas durante los experimentos y la cobertura de la tierra para macetas con gravilla usando follaje de la planta completa. Para nuestra sorpresa, encontramos que la eliminación química del benceno parecía deberse a las raíces de las plantas. Por lo tanto, se empezó a incorporar una prueba de esta hipótesis en todos los

experimentos. Las plantas maduras con follaje completo se utilizaron en ensayos por períodos de 24 horas o más, seguido de la prueba de las mismas plantas a las que se les había cortado todo el follaje, dejando sólo tallos cortos 1 a 2 pulgadas de longitud que sobresalían por encima del nivel del encapsulamiento del suelo. Para determinar si el vapor de agua era importante, algunos de los contenedores de tierra para macetas se saturaron con agua antes de realizar los ensayos. El agua no parecía ser un actor importante en la eliminación química. (Wolverton, Willard, & Bounds, 1989, págs. 5-6).

Los principales resultados de estos experimentos fueron los siguientes:

1. Virtualmente en todas las plantas evaluadas, las reducciones de benceno y formaldehído fueron significativas.
2. El promedio de remoción del benceno fue mucho mayor en plantas a las que se les había removido las hojas. Lo que sugiere que las raíces de las plantas y los microorganismos asociados a ellas parecen ser la vía principal para la remoción de los químicos.
3. Para asegurar que el suelo de las plantas sea altamente efectivo en la remoción de químicos, las plantas deben haber crecido en ese suelo.
4. Para remover altas concentraciones de químicos y o humos al interior de edificios, es deseable tener integrado un sistema que use plantas en macetas y una o más sistemas de filtración con carbón activado ó plantas. (Wolverton, Willard, & Bounds, 1989, págs. 8-10).

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos por el doctor Wolverton y su equipo de investigadores bajo condiciones similares de cámaras selladas utilizando plantas de hogar para la remoción de Formaldehído, Benceno y Tetracloroetileno, ver Tabla 15.

Tabla 15

Químicos removidos por plantas de hogar desde una cámara experimental sellada durante período de exposición de 24-HR

	Formaldehyde (ppm)			Benzene (ppm)			Trichloroethylene (ppm)		
Experiment	Inicial	Final	Percent Removed	Inicial	Final	Percent Removed	Inicial	Final	Percent Removed
Mass Cane	20	6	70	14	11	21.4	16	14	12.5
Pot Mum	18	7	61	58	27	53	17	10	41.2
Gerber Daisy	16	8	50	65	21	67.7	20	13	35
Warneckei	8	4	50	27	13	52	20	18	10
Ficus	19	10	47.4	20	14	30	19	17	10.5
Leak Control	18	17.5	2.8	20	19	5	20	18	10

Note: Plants were maintained in a comercial type greengouse until ready for testing. Twenty-four hours test were conducted in sealed chambers with temperatures and light intensity readings of 30^0C and +/- 1 and 125 F-T

Nota: Tomado de "A study on interior landscape plants for indoor air pollution abatement. An interim report" (Wolverton, Willard, & Bounds, 1989, pág. 11).

Cabe anotar al observar la anterior tabla, que la efectividad de la remoción no fue la misma cuando se trató de diferentes químicos, las plantas de la especie *Dracaena Mass Cane* removieron el 70% de formaldehído en 24 horas, siendo el mejor resultado en su grupo, mientras que en la remoción del benceno, las que mejor obtuvieron los mejores rendimientos fueron las plantas del género *Gerbera* (67.7%) y finalmente para la remoción del tricloroetileno fueron las plantas del género *Chrysanthemum* (Pot Mum) las que exhibieron la mejor efectividad en su remoción (41.2%).

En el mismo reporte Wolverton et al. (1989), presentaron resultados obtenidos con experimentos usando plantas de la especie *Dracaena marginata* en los que se evidencia la efectividad de la remoción de químicos cuando se utilizaron las mismas plantas defoliadas. Ver Tabla 16.

Tabla 16

Benceno removido por Marginata dentro de una cámara sellada experimental durante un período de exposición de 24-HR (Concentración en ppm)

	Inicial	Final	Percent Removed
Follaje completo	0.152	0.051	66
Follaje completo con suelo de maceta cubierto con gravilla	0.171	0.085	50
Suelo de maceta descubierto con follaje removido	0.278	0.194	**70**
Suelo en macetas - Control	0.206	0.164	20

Tomado de "A study on interior landscape plants for indoor air pollution abatement. An interim report" (Wolverton, Willard, & Bounds, 1989, pág. 12).

Si bien los trabajos del doctor Wolverton y su equipo de la NASA se encuentran junto con el trabajo de los rusos entre los pioneros, cabe mencionar que ya a la fecha la investigación sobre plantas biodepuradoras es una realidad mundial en la que participan cerca de 41 laboratorios distribuidos en 21 países y que desde 1970 han estado realizando trabajos de investigación desde diferentes enfoques (Plant'air pur, 2015). A modo de ejemplo se relacionan a continuación dos estudios realizados recientemente (2006 y 2009) bajo condiciones de laboratorio por parte de dos grupos de investigación, uno de la república de Corea del Sur y otro de los EEUU.

7.5.1. Remoción del benceno y del tolueno

Investigadores del Departamento de Ciencia Ambiental de la Universidad de Konkuk (Seoul, Corea) y del Departamento de Horticultura, Edificio de las Ciencias de las Plantas de la Universidad de Georgia (Athens, Georgia) en EEUU publicaron en el 2006 los resultados de sus trabajos cuyo propósito era evaluar la habilidad de ciertas plantas para remover algunos VOC (benceno y tolueno). Las especies utilizadas fueron *Hedera hélix L.* (English ivy – Hiedra o

Yedra), *Spathiphyllum wallissi* Regal (peace Lily – Lirios de la paz o Espata), *Syngonium podophyllum* Schott. (nephthytis – Singonio ó Planta cabeza de flecha) y *Cissus rhombifolia* Vahl. (grape ivy – Ciso ó Viña de apartamento).

Las plantas fueron expuestas de manera individual a concentraciones de 1μL*L-1 y a 0.5 * μL*L-1 de cada uno de los gases de benzeno y tolueno, dentro de ambientes cerrados por períodos de 6 horas, durante el día y durante la noche. De igual forma seleccionaron algunos procesos fisiológicos para establecer el efecto que dichos gases pudieran generar en las plantas).

La efectividad de la remoción de los VOC varió según la especie, el momento del día y si los gases estaban presentes de forma individual o mezclados. Cuando las plantas estaban expuestas de manera individual al VOC las plantas *H. hélix*, *S. wallissi* y *S. podophyllum* exhibieron una mayor eficiencia durante el día. No obstante, la eficiencia en la remoción cambió cuando ambos gases estaban presentes. La *H. hélix* fue sustancialmente mucho más efectiva en la remoción tanto del benceno como del tolueno con relación a las otras especies. Adicionalmente, la eficiencia para remover el tolueno fue el doble de la eficiencia para remover el benceno.

En exposiciones con cada una de las plantas de manera individual a cada uno de los gases, la eficiencia de remoción fue mayor durante el día que durante la noche. En situaciones donde ambos gases estaban presentes, la eficiencia en la remoción de la *H. hélix* fue similar tanto en el día como en la noche, indicando con esto que la difusión de los estomas no era el factor principal.

Los cambios en las tasas de fotosíntesis, la conductividad de los estomas y la transpiración, antes y después de la exposición a los VOC indicó que estos afectan de manera adversa a las plantas y de una manera diversa según la especie y el tipo de gas (Mung Hwa Yoo;Youn Jung Kwon; Ki-Cheol Son & Stanley J. Kays, 2006, pág. 452).

7.5.2. Remoción del ozono

Trabajos publicados en el 2009 realizados por un grupo de investigadores de la Universidad Estatal de Pennsylvania relacionados con la efectividad de algunas plantas para remover el ozono (O3) concluyeron que las especies *Sansevieria trifasciata* (snake plant- Lengua de suegra ó Lengua de Tigre), *Chlorophytum comosum* (spider plant- Cinta ó Malamadre ó Lazo de Amor) y *Epipremnum aureum* (golden pothos – Potos) fueron efectivas para mitigar el ozono comparado con un escenario de control que no contenía plantas. Los resultados fueron consistentes con los reportados por el doctor Wolverton y su equipo al usar especies de plantas similares para la mitigación de VOC. No obstante, no se encontraron diferencias muy grandes en la mitigación del ozono por parte de las diferentes especies (Papinchak, Holcom, Orendovici Best, & Decoteau, 2009).

La capacidad de las plantas para reducir las concentraciones de ozono en su entorno parece depender de la absorción de ozono a través de los estomas y de las reacciones de desintoxicación posterior dentro de los espacios intracelulares. Las tasas instantáneas de absorción por parte de la superficie de las plantas dependería de la conductividad de los estomas y del área total de las hojas, aunque estas dos variables requieren posteriores estudios. En investigaciones previas se había hecho notar sobre la importancia del microcosmos: planta-suelo para reducir de manera más efectiva los contaminantes. No obstante, el estudio realizado no consideró esta variable (de hecho en los experimentos se aisló la parte del suelo en las plantas utilizadas) (Papinchak et al., 2009).

7.6. Principales Plantas Purificantes Para la Biodepuración del Aire Interior

Existen diferentes listas de plantas purificadoras del aire en espacios interiores, se seguirá aquí las indicadas en el sitio web Plantes Dépolluantes[11] y del sitio web Plant'airpur[12] las cuales

[11] http://www.plantes-depolluantes.com/index.php

tienen como referencia principal los trabajos realizados por el doctor Wolverton y su equipo de investigadores. Para cada planta se presenta su nombre científico, el nombre común en inglés y el nombre común en español, en la siguiente tabla se identifican 37 plantas descontaminantes (ver Tabla 17).

Tabla 17

Lista de Plantas Descontaminantes

Nombre Científico	Nombre común en inglés	Nombre común en español
Aglaonema commutatum Schott	Philippine evergreen	Aglaonema
Anthurium andraeanum Linden	flamingo-lily	Capotillo
Araucaria heterophylla (Salisb.) Franco	Norfolk Island pine	Pino de la Isla de Norfolk
Begonia L.	Begonia	Begonia
Chamaedorea elegans Mart	parlor palm	Palma de Salón / Palmera de Interior
Chamaedorea seifrizii Burret	Seifriz's chamaedorea	Palma Bambú
Chlorophytum comosum (Thunb.) Jacq	spider plant	Cinta / Malamadre / Lazo de Amor
Chrysalidocarpus lutescens H.Wendl. /Dypsis lutescens (H.Wendl.) Beentje & J.Dransf.	bamboo palm, golden cane palm, areca palm, yellow palm, or butterfly palm	Palma Areca / Palmera Bambú / Palma de Frutos de Oro
Chrysanthemum × morifolium (Ramat.)	Hemsl	Crisantemo
Cissus rhombifolia Vahl		Ciso, Roiciso, Viña de apartamento, Parra de interior, Hiedra de viña, Hiedra de la uva
Codiaeum variegatum (L.) A. Juss.	garden croton / variegated crotón	Crotón
Cyclamen persicum Mill.	Florist's ciclamen	Ciclamen, Violeta de Persia, Violetas de los Alpes
Dracaena deremensis	cornstalk dracaena / bottle tree	Drácena
Dracaena fragrans (L.) Ker Gawl.	fragrant dracaena	Tronco del Brasil, Palo de Brasil, Palos de la felicidad, Drácena, Palo de agua, Árbol de la felicidad, Carey
Dracaena marginata Lam.	Dragontree	Drácena, Drácena marginata, Dracaena de hoja fina
Epipremnum pinnatum (L.) Engl / Scindapsus aureus	centipede tongavine	Pothos / Potos
Euphorbia pulcherrima Willd. ex Klotzsch	Poinsettia	Flor de Pascua, Poinsetia, Pascuero

[12] http://www.plantairpur.fr/web2/upload_fich/plantes_depolluantes_web.pdf

Tabla 17

Lista de Plantas Descontaminantes

Nombre Científico	Nombre común en inglés	Nombre común en español
Ficus Alii / Ficus binnendijkii		Ficus Ali, Higuera de hoja estrecha.
Ficus Benjamina L.	Weeping fig / Benjamin's fig / Ficus tree	Ficus Benjamina
Ficus elastica Roxb. Ex Hornem.	Indian rubberplant	Ficus de hoja grande, Árbol del caucho, Ficus decora, Árbol de la goma, Gomero, Higuera del caucho.
Gerbera jamesonii Bolus ex Hook. f.	Barberton Daisy	Gerbera, Margarita africana
Hedera helix L.	English ivy	Hiedra / Yedra
Howea forsteriana	Kentia Palm / Thatch palm	Kentia
Liriope muscari (Decne.) L.H. Bailey	big blue lilyturf	Serpentina, Liriope
Maranta leuconeura E. Morren	prayerplant	Maranta, Planta de la oración
Nephrolepis exaltata (L.) Schott	Boston swordfern	Nefrolepis, Helecho espada, Helecho rizado
Phalaenopsis Blume	moth orchid	Orquídea alevilla / Orquídea Mariposa / Orquídea Boca
Philodendron Erubescens	Red leaf Philodendron / Blushing Philodendron / Red Emerald Philodendron /Burgundy Philodendron	Filodendro / Burgundy / Rojo Esmeralda / Rojo Imperial
Philodendron Scandens		Filodendron /Filodendro de hoja acorazonada
Philodendron selloum K. Koch	Philodendron	Filodendro de hoja cortada
Phoenix roebelenii O'Brien	pygmy date palm	Palmera enana, Palmera pigmea, Palmera robeleni, Datilera pigmea, Palmera de Roebelen, Palma fénix robelini, Palma fénix enana, Datilera enana
Rhapis Excelsa	Broadleaf Lady Palm	Rapis, Palmerita china, Palma bambú
Rhododendron Indicum		Azalea Indica / Azalea de la India
Sansevieria trifasciata hort. ex Prain	Viper's bowstring hemp	Lengua de suegra / Lengua de Tigre /Rabo de Tigre / Espada de San Jorge /Sansiviera / Chucho
Schefflera actinophylla (Endl.) Harms	Octopus tree	Arbol Paragüas / Arbol Pulpo
Spathiphyllum Schott	Spath / Peace lilies.	Lirios de la paz / Espata
Syngonium podophyllum Schott	American evergreen	Singonio / Planta cabeza de flecha

Adaptado de: “Les Plantes dépolluantes. Purifier l’air de la maison ou du bureau avec des plantes” (Chaudet & Boixiere, 2009).

7.6.1. Acción de las plantas sobre los principales voc

De los VOC identificados por la WHO se indican a continuación las plantas que han mostrado una mayor capacidad de biodepuración en condiciones de laboratorio. Las valoraciones indicadas van de 1 a 3, donde 1 significa algún tipo de capacidad, 2 capacidad media y 3 capacidad elevada de biodepuración. Los ocho VOC que se presentan son en su orden: Benceno, tricloroetileno, xileno, formaldehído, amoníaco, tolueno, monóxido de carbono, dióxido de carbono, en las tablas que van desde la Tabla 18 a la Tabla 25 respectivamente. A modo de resumen se presenta en la siguiente tabla la distribución de las plantas para cada uno de los VOC, ver Tabla 18.

Tabla 18

VOC y número de plantas biodepuradoras identificadas en este trabajo

VOC	Nro. Plantas identificadas
Dióxido de Carbono	37
Formaldehído	34
Xyleno	20
Benceno	14
Tricloroetileno	10
Tolueno	7
Amoníaco	7
Monóxido de Carbono	3

Tabla 19

Plantas que actúan en la biodepuración del benceno

	Capacidad de biodepuración		
Planta	**Alguna**	**Media**	**Elevada**
Gerbera jamesonii Bolus ex Hook. f.			3
Chrysanthemum × morifolium (Ramat.)			3
Chlorophytum comosum (Thunb.) Jacq			3

Epipremnum pinnatum (L.) Engl / Scindapsus aureus			3
Dracaena marginata Lam.		2	
Spathiphyllum Schott		2	
Chamaedorea seifrizii Burret		2	
Ficus Alii / Ficus binnendijkii	1		
Schefflera actinophylla (Endl.) Harms	1		
Sansevieria trifasciata hort. ex Prain	1		
Dracaena deremensis	1		
Aglaonema commutatum Schott	1		
Hedera helix L.	1		
Howea forsteriana	1		

Adaptado luego de revisar toda la bibliografia y se enfocó principalmente en el documento "Les Plantes dépolluantes. Purifier l'air de la maison ou du bureau avec des plantes" (Chaudet & Boixiere, 2009).

Tabla 20

Plantas que actúan en la biodepuración del tricloroetileno

	Capacidad de biodepuración		
Planta	Alguna	Media	Elevada
Spathiphyllum Schott			3
Dracaena marginata Lam.			3
Gerbera jamesonii Bolus ex Hook. f.			3
Dracaena deremensis		2	
Chamaedorea seifrizii Burret		2	
Sansevieria trifasciata hort. ex Prain	1		
Philodendron Erubescens	1		
Dracaena fragrans (L.) Ker Gawl.	1		
Hedera helix L.	1		
Ficus Alii / Ficus binnendijkii	1		

Adaptado luego de revisar toda la bibliografia y se enfocó principalmente en el documento "Les Plantes dépolluantes. Purifier l'air de la maison ou du bureau avec des plantes" (Chaudet & Boixiere, 2009).

Tabla 21

Plantas que actúan en la biodepuración del xileno

	Capacidad de biodepuración		
Planta	**Alguna**	**Media**	**Elevada**
Phoenix roebelenii O'Brien			3

Nephrolepis exaltata (L.) Schott			3
Chrysalidocarpus lutescens H.Wendl. /Dypsis lutescens (H.Wendl.) Beentje & J.Dransf.			3
Dracaena marginata Lam.			3
Schefflera actinophylla (Endl.) Harms		2	
Chamaedorea elegans Mart		2	
Chlorophytum comosum (Thunb.) Jacq		2	
Spathiphyllum Schott		2	
Rhododendron Indicum		2	
Syngonium podophyllum Schott		2	
Dracaena fragrans (L.) Ker Gawl.		2	
Ficus Benjamina L.		2	
Anthurium andraeanum Linden		2	
Sansevieria trifasciata hort. ex Prain	1		
Cyclamen persicum Mill.	1		
Hedera helix L.	1		
Rhapis Excelsa	1		
Dracaena deremensis	1		
Chamaedorea seifrizii Burret	1		
Ficus Alii / Ficus binnendijkii	1		

Adaptado luego de revisar toda la bibliografia y se enfocó principalmente en el documento "Les Plantes dépolluantes. Purifier l'air de la maison ou du bureau avec des plantes" (Chaudet & Boixiere, 2009).

Tabla 22

Plantas que actúan en la biodepuración del formaldehído

	Capacidad de biodepuración		
Planta	**Alguna**	**Media**	**Elevada**
Hedera helix L.			3
Philodendron Erubescens			3
Dracaena deremensis			3
Chamaedorea elegans Mart			3
Gerbera jamesonii Bolus ex Hook. f.			3
Chamaedorea seifrizii Burret			3
Nephrolepis exaltata (L.) Schott			3
Chrysanthemum × morifolium (Ramat.)			3
Phoenix roebelenii O'Brien			3
Chrysalidocarpus lutescens H.Wendl. /Dypsis lutescens (H.Wendl.) Beentje & J.Dransf.		2	
Rhapis Excelsa		2	
Chlorophytum comosum (Thunb.) Jacq		2	

Ficus Benjamina L.		2
Spathiphyllum Schott		2
Ficus elastica Roxb. ex Hornem.		2
Dracaena fragrans (L.) Ker Gawl.		2
Rhododendron Indicum		2
Dracaena marginata Lam.		2
Ficus Alii / Ficus binnendijkii		2
Aglaonema commutatum Schott		2
Philodendron selloum K. Koch	1	
Sansevieria trifasciata hort. ex Prain	1	
Cissus rhombifolia Vahl	1	
Anthurium andraeanum Linden	1	
Begonia L.	1	
Maranta leuconeura E. Morren	1	
Syngonium podophyllum Schott	1	
Araucaria heterophylla (Salisb.) Franco	1	
Codiaeum variegatum (L.) A. Juss.	1	
Phalaenopsis Blume	1	
Cyclamen persicum Mill.	1	
Epipremnum pinnatum (L.) Engl / Scindapsus aureus	1	
Philodendron Scandens	1	
Euphorbia pulcherrima Willd. ex Klotzsch	1	

Adaptado luego de revisar toda la bibliografia y se enfocó principalmente en el documento "Les Plantes dépolluantes. Purifier l'air de la maison ou du bureau avec des plantes" (Chaudet & Boixiere, 2009).

Tabla 23

Plantas que actúan en la biodepuración del amoníaco

	Capacidad de biodepuración		
Planta	**Alguna**	**Media**	**Elevada**
Anthurium andraeanum Linden			3
Rhapis Excelsa			3
Rhododendron Indicum		2	
Chamaedorea elegans Mart		2	
Spathiphyllum Schott		2	
Chrysanthemum × morifolium (Ramat.)		2	
Ficus Benjamina L.	1		

Adaptado luego de revisar toda la bibliografia y se enfocó principalmente en el documento "Les Plantes dépolluantes. Purifier l'air de la maison ou du bureau avec des plantes" (Chaudet & Boixiere, 2009).

Tabla 24

Plantas que actúan en la biodepuración del tolueno

	Capacidad de biodepuración	
Planta	**Alguna**	**Elevada**
Chlorophytum comosum (Thunb.) Jacq		3
Dracaena marginata Lam.		3
Epipremnum pinnatum (L.) Engl / Scindapsus aureus		3
Ficus Alii / Ficus binnendijkii	1	
Gerbera jamesonii Bolus ex Hook. f.	1	
Hedera helix L.	1	
Sansevieria trifasciata hort. ex Prain	1	

Adaptado luego de revisar toda la bibliografia y se enfocó principalmente en el documento "Les Plantes dépolluantes. Purifier l'air de la maison ou du bureau avec des plantes" (Chaudet & Boixiere, 2009).

Tabla 25

Plantas que actúan en la biodepuración del monóxido de carbono

	Capacidad de biodepuración
Planta	**Elevada**
Chlorophytum comosum (Thunb.) Jacq	3
Dracaena marginata Lam.	3
Epipremnum pinnatum (L.) Engl / Scindapsus aureus	3

Adaptado luego de revisar toda la bibliografia y se enfocó principalmente en el documento "Les Plantes dépolluantes. Purifier l'air de la maison ou du bureau avec des plantes" (Chaudet & Boixiere, 2009).

Tabla 26

Plantas que actúan en la biodepuración del dióxido de carbono

	Capacidad de biodepuración
Planta	**Alguna**
Aglaonema commutatum Schott	1
Anthurium andraeanum Linden	1
Araucaria heterophylla (Salisb.) Franco	1
Begonia L.	1
Chamaedorea elegans Mart	1
Chamaedorea seifrizii Burret	1
Chlorophytum comosum (Thunb.) Jacq	1

Tabla 26

Plantas que actúan en la biodepuración del dióxido de carbono

	Capacidad de biodepuración
Planta	**Alguna**
Chrysalidocarpus lutescens H.Wendl. / Dypsis lutescens (H.Wendl.) Beentje & J.Dransf.	1
Chrysanthemum × morifolium (Ramat.)	1
Cissus rhombifolia Vahl	1
Codiaeum variegatum (L.) A. Juss.	1
Cyclamen persicum Mill.	1
Dracaena deremensis	1
Dracaena fragrans (L.) Ker Gawl.	1
Dracaena marginata Lam.	1
Epipremnum pinnatum (L.) Engl / Scindapsus aureus	1
Euphorbia pulcherrima Willd. ex Klotzsch	1
Ficus Alii / Ficus binnendijkii	1
Ficus Benjamina L.	1
Ficus elastica Roxb. ex Hornem.	1
Gerbera jamesonii Bolus ex Hook. f.	1
Hedera helix L.	1
Howea forsteriana	1
Liriope muscari (Decne.) L.H. Bailey	1
Maranta leuconeura E. Morren	1
Nephrolepis exaltata (L.) Schott	1
Phalaenopsis Blume	1
Philodendron Erubescens	1
Philodendron Scandens	1
Philodendron selloum K. Koch	1
Phoenix roebelenii O'Brien	1
Rhapis Excelsa	1
Rhododendron Indicum	1
Sansevieria trifasciata hort. ex Prain	1
Schefflera actinophylla (Endl.) Harms	1
Spathiphyllum Schott	1
Syngonium podophyllum Schott	1

Adaptado de “Listing des plantes dépolluantes” (Plant'air pur, 2015)

7.6.2. Análisis de las plantas biodepuradoras identificadas a partir de su taxonomía

La clasificación de organismos o seres vivos colocados en grupos de acuerdo a similitudes y diferencias a nivel orgánico, celular y molecular, es de lo que se ocupa la taxonomía (Singh, 2009, pág. 1). Para el presente trabajo, a cada planta se le asignó su clasificación taxonómica utilizando como fuente principal de consulta el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés), específicamente el sitio web *Natural Resources Conservation Service* que ofrece al público la consulta a la base de datos PLANTS. Esta base de datos provee información estandarizada sobre plantas vasculares, musgos, hepáticas, antocerotas y líquenes de los EEUU y sus territorios (USDA - NRC, 2015). A continuación la identificación taxonómica en la que están clasificadas las plantas biodepuradoras identificadas (en color rojo y negrita) y que se encuentran clasificadas dentro de la base de datos PLANTS, ver tablas: Tabla 27 y Tabla 28.

Tabla 27

Ubicación general de las plantas biodepuradoras según taxonomía I
(Nivel Reino,subreino y super-división)

Reino	**Sub-Reino**	**Super-División**
Plantae (Plantas)*	Tracheobionta (Plantas Vasculares)*	Spermatophyta – Plantas con semillas*
	5 Divisiones	**4 Divisiones**
	1. Anthocerotophyta – Antocerotes 2. Bryophyta – Musgos 3. Chlorophyta – Algas verdes 4. Hepaticophyta – Hepáticas 5. Rhodophyta – Algas rojas	1. Equisetophyta – Colas de caballo 2. Lycopodiophyta – Licopodios 3. Psilophyta –Protohelechos 4. Pteridophyta – Helechos*

Adaptado de Plants Database (USDA - NRC, 2015)

Tabla 28

Ubicación general de las plantas biodepuradoras según taxonomía II.

Super-División	**División**	**Clase**	**Sub-Clase**	**Orden**
Spermatophyta – Plantas con semillas*	1. Coniferophyta – Coniferas*	Pinopsida*		*Pinales**
				Taxales
	2. Cycadophyta – Cícadas			

Tabla 28

Ubicación general de las plantas biodepuradoras según taxonomía II.

Super-División	División	Clase	Sub-Clase	Orden
	3. Ginkgophyta – Ginkgo			
	4. Gnetophyta – Te Mormón y otras gnetófitas			
	5. Magnoliophyta – Plantas con flores*	Liliopsida – Monocotiledóneas*	*Alismatidae**	*Alismatales**
				Hydrocharitales
				Najadales
			*Arecidae**	*Arales**
				*Arecales**
				Cyclanthales
				Pandanales
			*Commelinidae**	*Commelinales*
				Cyperales
				Eriocaulales
				Juncales
				Restionales
				Triuridales
				Typhales
			*Liliidae**	*Liliales**
				*Orchidales**
			*Zingiberidae**	*Bromeliales*
				Zingiberales
		Magnoliopsida – Dicotiledóneas*	*Asteridae**	*Asterales*
				Callitrichales
				Calycerales
				Campanulales
				Dipsacales
				Gentianales
				Lamiales
				Plantaginales
				Rubiales
				Scrophulariales
				Solanales
			Caryophyllidae	
			*Dilleniidae**	*Batales*
				Capparales
				Diapensiales
				Dilleniales
				Ebenales
				*Ericales**
				Lecythidales
				Malvales
				Nepenthales
				*Primulales**
				Salicales
				Theales
				*Violales**
			*Hamamelididae**	*Casuarinales*

Tabla 28

Ubicación general de las plantas biodepuradoras según taxonomía II.

Super-División	División	Clase	Sub-Clase	Orden
				Fagales
				Hamamelidales
				Juglandales
				Leitneriales
				Myricales
				*Urticales**
			Magnoliidae	
			*Rosidae**	*Apiales**
				Celastrales
				Cornales
				*Euphorbiales**
				Fabales
				Geraniales
				Haloragales
				Linales
				Myrtales
				Podostemales
				Polygalales
				Proteales
				Rafflesiales
				*Rhamnales**
				Rhizophorales
				Rosales
				Santalales
4 Divisiones				
1. Equisetophyta – Colas de caballo				
2. Lycopodiophyta – Licopodios				
3. Psilophyta – Protohelechos				
4. Pteridophyta – Helechos*		Filicopsida*		*Hydropteridales*
				Marattiales
				Ophioglossales
				*Polypodiales**

Adaptado de Plants Database (USDA - NRC, 2015)

A modo de resumen, puede decirse que las 37 plantas identificadas pertenecen al reino: *Plantae* y al sub-reino: *Tracheobionta* – Vascular plants. 36 de ellas pertenecen a la super-división de las *Spermatophyta* (plantas con semillas). Desde la perspectiva de la división: 35 se adscriben a las *Magnoliophyta* (plantas con flores), una a la *Coniferophyta* (coníferas) y otra a la *Pteridophyta* (Helechos), ver Figura 10.

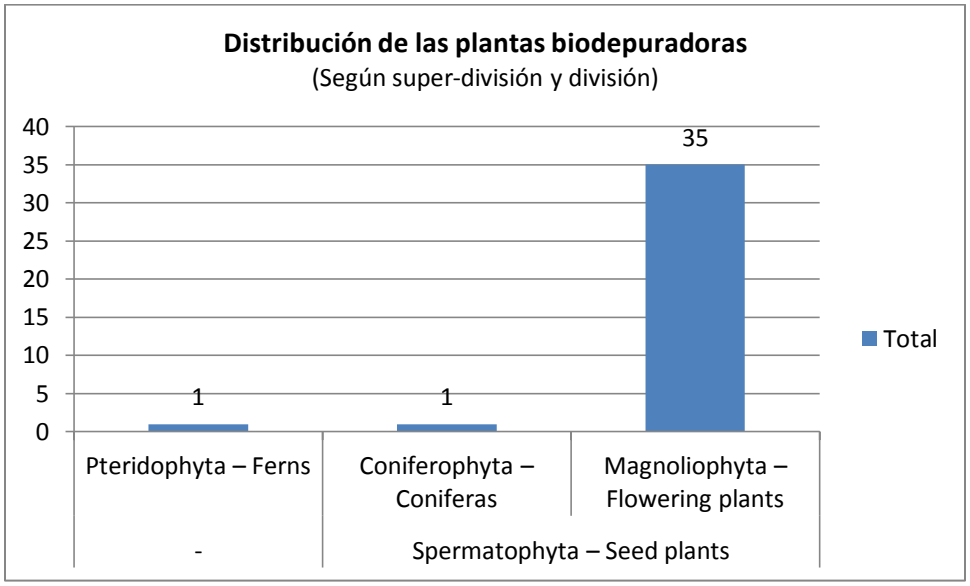


Figura 10. Distribución de las plantas biodepuradoras por super-división y división.

Entre las 35 plantas de la división *Magnoliophyta*, 22 se ubican en la clase *Liliopsida* – (Monocotiledóneas) y 13 en la clase *Magnoliopsida* (Dicotiledóneas), en la siguiente tabla puede apreciarse esta distribución, así como la distribución por *Sub-clase*, ver Tabla 29.

Tabla 29

Distribución de las plantas biodepuradoras identificadas según clase y sub-clase

Clase - Subclase	No. Especímenes
Liliopsida – Monocotyledons	22
Alismatidae	1
Arecidae	13
Liliidae	7
Zingiberidae	1
Magnoliopsida – Dicotiledóneas	13
Asteridae	2
Dilleniidae	3
Hamamelididae	3
Rosidae	5
Pinopsida	1
-	1

Filicopsida	1
-	1
Total general	**37**

7.7. Efectividad de la biodepuración del aire en espacios cerrados por medio de las plantas

Se presenta en este apartado el resumen de las principales posiciones con relación a la efectividad de la biodepuración del aire por medio de plantas: Por un lado quienes consideran que la biodepuración con plantas no es efectiva tal como está planteada y por el otro quienes la apoyan y han continuado realizando investigaciones en línea con el enfoque desarrollado por los investigadores de la NASA.

7.7.1. El programa phyt'air

El programa de investigación francés Phyt'air se ocupa de la viabilidad de la purificación del aire interior por medio de plantas colocadas dentro de los edificios y su capacidad de bio-indicación de la calidad del aire interior. Se ha desarrollado desde 2001 por parte de los dos laboratorios de investigación que lo conforman: a) el *Centre Scientifique et Technique Du Bâtiment* (CSTB por sus siglas en francés) (Centro científico y técnico para la construcción) que actualmente está adscrito al *Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie*, y b) la *Faculté de la Pharmacie de Lille* (Plant'air pur, 2015).

En su primera fase (2004 - 2007) el programa Phyt'air analizó los métodos y datos de los estudios adelantados por el doctor Wolverton y su equipo de investigadores de la NASA y en ese sentido presentó algunas observaciones de tipo metodológico con relación a las dosis de VOC utilizadas y que consideraron eran muy altas con respecto las que se encuentran en condiciones de vida normal. Por otra parte, consideraron que no se estudió la eventual participación de micro-organismos, carbón de leña o materia orgánica presente en los sustratos de plantas verdes utilizadas, y que podrían haber participado en la purificación del aire (Sénat, 2006).

Esta fase del programa realizada en el 2007 confirmó que las plantas efectivamente purifican el aire de los recintos cerrados y que la configuración de la planta con el suelo, las raíces y los microorganismos era la más efectiva para purificar el aire (las concentraciones de contaminantes disminuyeron entre 30% y 90%). Sin embargo, encontraron que el rendimiento se diferencia según las plantas y los contaminantes utilizados. Para las plantas examinadas, el monóxido de carbono había sido el contaminante con mejores tasas de reducción, seguido luego del formaldehído y por último el benceno. Sin embargo, en términos de la velocidad del proceso, el formaldehído se había eliminado más rápidamente que el tolueno y el monóxido de carbono (con aproximadamente la misma cantidad eliminada por la misma superficie foliar para *Chlorophytum comosum* y *Scindapsus aureus*). A diferencia de los datos existentes, la *Dracaena marginata* no mostró en las condiciones experimentales utilizadas actuación especial.

De igual forma, el Programa concluyó que la eficiencia de purificación del aire a través de las plantas puede estar limitada por parámetros no biológicos como la disminución de la temperatura y el aumento de la humedad.

En una segunda fase (2007-2009), el Programa pasó del análisis en recintos cerrados de 1 m^3 hacia ambientes donde normalmente se vive como el que se encuentra en las casas. La tercera fase (2009-2012) se encuentra en proceso de revisión por parte del Comité Científico y por tanto la publicación no se encuentra terminada, pero esperan poder evidenciar que las plantas en macetas tradicionales absorben poco o de manera muy lenta los VOC (Plant'air pur, 2015).

El programa Phyt’air no dice que las plantas no sean descontaminantes, sino que con un sistema simple no es posible la absorción eficaz de los VOC. Es por esta razón que se encuentra desarrollando un proyecto denominado MICROBACTAIR® cuyo propósito es encontrar la mezcla adecuada de microorganismos (bacterias, hongos y algas) dentro del sustrato de suelo que

permita optimizar el papel de un sistema activo, el cual consistiría en un conjunto de plantas, un sistema de ventilación que haga pasar el aire de la casa o apartamento a través de este conjunto de plantas y los sustratos del suelo con el fin de optimizar el proceso de purificación y al mismo tiempo, no afectar las raíces y la vida microbiana presente en el sustrato (Plant'air pur, 2015).

La *Agence de L'Environnement et de Maîtrise de L'Energie* (Agencia del Ambiente y la Matriz de Energía, ADEME por sus siglas en francés) publicó en septiembre de 2011 un aviso a la opinión pública en línea con las investigaciones adelantadas por el programa Phyt'air:

> En el laboratorio, en recintos controlados, las plantas pueden tener una capacidad para absorber los contaminantes gaseosos. Esta capacidad puede estar influenciada por varios parámetros físicos y/o biológicos. En los edificios en condiciones de exposición reales, la eficacia de la purificación del aire con las solas plantas es inferior a las tasas de cambio generados por la renovación de aire sobre concentraciones de contaminantes. En otras palabras, la aireación y ventilación son mucho más eficaces que la depuración a través de plantas. Por lo tanto, la ADEME considera que el argumento de "plantas descontaminantes" no está científicamente validado con respecto a los niveles de contaminación que se encuentran típicamente en las habitaciones y con los nuevos conocimientos científicos en este campo. En materia de mejoramiento de la calidad del aire interior, la prioridad sigue siendo la prevención y el control de las fuentes de contaminación (mantenimiento a los calentadores de agua y calderas, reducir el uso de productos químicos para el hogar) acompañada de una ventilación o de manera más general de una aireación de los locales (mantenimiento del sistema de ventilación, no obstruir las rejillas de ventilación, abrir las ventanas todos los días por algunos minutos) (ADEME, 2011, pág. 3).

7.7.2. Investigaciones sobre biodepuración del aire interior con plantas

La investigación sobre plantas biodepuradoras es una realidad mundial en la que participan cerca de 41 laboratorios distribuidos en 21 países que desde 1970 han estado realizando trabajos de investigación desde diferentes enfoques: investigativo, ambiental, tecnológico y hasta comercial (Plant'air pur, 2015). En este apartado se quiere hacer notar los resultados de un trabajo realizado en agosto y octubre del 2003 por el *Plants and Environmental Quality Group* de la Facultad de Ciencias de la *University of Technology de Sydney* (Australia) que por su importancia se considera que favorece una mejor comprensión de la efectividad de la biodepuración del aire interior.

Los estudios anteriores adelantados por este equipo, así como de otras muchas investigaciones similares, habían mostrado que el microcosmos: planta-maceta-rizosfera[13] podía eliminar altas concentraciones de VOC distribuido en el aire dentro de cámaras selladas y en períodos de 24 horas, previa inducción de las plantas por medio de una dosis inicial. Sin embargo no se habían reportado resultados de estudios que se hubieran hecho en ambientes reales.

El trabajo adelantado por Ronald A. Wood, Margaret D. Burchett, Ralph Alquezar, Ralph l. Orwell, Jane Tarran y Fraser Torpy (2006) se ocupó de realizar estudios de campo sobre los efectos de las plantas en macetas colocadas en 60 oficinas durante dos períodos de 5 a 9 semanas cada uno, en las que usaron dos especies de plantas internacionalmente conocidas : *Dracaena deremensis* (Janet Craig / Cornstalk dracaena / bottle tree – Drácena) y *Spathiphyllum* (Sweet Chico / Peace Lily- Lirios de la paz ó Espata).

Algunas de las principales observaciones del estudio fueron las siguientes:

[13] La rizosfera es la parte del suelo inmediata a las raíces vivas y que está bajo la directa influencia de éstas. (Tomado de: Rizosfera. (2015, 2 de febrero). Wikipedia, La enciclopedia libre. Fecha de consulta: 11:24, marzo 23, 2015 desde http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Rizosfera&oldid=79765293.)

- Las dosis de VOC fueron removidas de manera repetida en un período de 24 horas, una vez que el sistema de maceta de plantas había sido inducido a que alcanzara tasas de eliminación acelerados a través de una dosis inicial del VOC (p. 164).
- Los agentes principales de la remoción de VOC fueron los microorganismos presentes en las mezclas de las macetas (p.164).
- Los cultivos de bacterias derivados de las mezclas de las macetas podían ser inducidas a realizar remociones de VOC luego de una exposición inicial al compuesto (p. 164).
- "Los hallazgos están en línea con los demás estudios que han demostrado que al parecer universalmente las plantas establecen y mantienen comunidades de especies de microorganismos específicos a la manera de un microcosmos mutuamente beneficioso" (p.164).
- Las plantas no tuvieron un efecto significativo en las concentraciones de CO2 al interior de los edificios al compararse con los efectos en este sentido de las exhalaciones de los seres humanos (p.170).
- Se detectó la presencia de catorce VOC en los edificios del estudio: Etanol, Metilbutano, Tolueno, Xileno, Metil-Benceno, n-Pentano, n-Hexano, 2-Metilpentano, Metil-ciclopentano, Etil-Benceno, Dodecano, Limoneno, Acetona y n-Decano (p.174).

- Cuando el promedio de la carga de los VOC en el aire excedió las concentraciones de 100 ppb[14], las reducciones con los arreglos de plantas del estudio alcanzaron tasas de efectividad entre el 50% y el 70% (p.174).
- Las cantidades más pequeñas del microcosmos planta-maceta fueron suficientes para producir remociones efectivas de VOC (p.175).
- Se identificó que las dosis de VOC utilizadas en otros experimentos en los que se utilizaron cámaras selladas fueron mucho más altas de las que se encontraron en los edificios de esta investigación (p.175).
- Parecería que los VOC en su fase gaseosa cuando entran en contacto con el sistema planta-maceta pueden ser degradados por el sustrato de microorganismos a través de la misma forma como lo hacen otros microorganismos para la biodegradación de los derrames de petróleo u otros hidrocarburos aromáticos, en la cual los VOC se encuentran diluidos (p.176).
- Se encontró que no hay evidencia de una capacidad de sobre-abundancia del microcosmos planta-maceta para manejar concentraciones extremadamente bajas de VOC (volúmenes muy pequeños mostraron ser igualmente efectivos) y que la inducción del sistema se puede realizar e iniciar a partir de pequeñas dosis (p.176).
- No obstante, concentraciones por debajo de 100 ppb no parecieron que fueran suficientes para estimular la inducción del sistema a remover VOC (p.176).
- La efectividad del sistema planta-maceta parece ser igualmente efectivo bajo circunstancias de ambientes con o sin aire acondicionado (p.178).

[14] Ppb: partes por mil millones, equivalente a *part per billion* inglés (Tomado de: http://es.wikipedia.org/wiki/Partes_por_bill%C3%B3n)

Los hallazgos indican que el microcosmos planta-maceta representa un sistema adaptativo, auto-regulador, de bajo costo y sostenible para la biorremediación de la contaminación del aire en espacios interiores, el cual puede complementarse con medidas desde el ámbito de la ingeniería para cualquier tipo de construcción. (Wood, et al; 2006)

7.8. Especies de Plantas presentes en Colombia

A continuación se presenta una tabla donde de las 37 plantas descontaminantes totales expuestas en este documento, 23 se encuentran presentes en diferentes departamentos del territorio colombiano; a continuación se expone detalladamente la ubicación principal de cada una de ellas.

(ver Tabla 30).

Tabla 30

Lista de Plantas Descontaminantes presentes en territorio Colombiano

Nombre Científico	Departamento en el que se encuentra
Aglaonema commutatum Schott	Antioquia, Caldas, Meta, Risaralda, Valle.
Anthurium andraeanum Linden	Antioquia, Caldas, Cauca, Huila, Meta, Risaralda, Tolima, Valle.
Begonia L.	Norte de Santander
Chamaedorea elegans Mart	Antioquia, Cundinamarca
Chamaedorea seifrizii Burret	Antioquia
Chlorophytum comosum (Thunb.) Jacq	Boyacá, Antioquia, Caldas, Casanare, Cesar, C/marca, Meta, Norte de Santander, Valle, Risaralda.
Chrysalidocarpus lutescens H.Wendl. /Dypsis lutescens (H.Wendl.) Beentje & J.Dransf.	Antioquia, C/marca, Quindio, Atlantico, Tolima.
Codiaeum variegatum (L.) A. Juss.	Antioquia, Arauca; Meta, Nte Santander, San Andres y

Tabla 30

Lista de Plantas Descontaminantes presentes en territorio Colombiano

Nombre Científico	Departamento en el que se encuentra
	Providencia.
Cyclamen persicum Mill.	Antioquia, Boyaca
Dracaena fragrans (L.) Ker Gawl.	Quindio
Euphorbia pulcherrima Willd. ex Klotzsch	Bolivar, Cordoba, Guajira, Magdalena, Sucre, Tolima, Valle.
Ficus Benjamina L.	Amazonas y Meta
Ficus elastica Roxb. ex Hornem.	Amazonas, Antioquia y Atlantico
Gerbera jamesonii Bolus ex Hook. f.	Risaralda y Cundinamarca
Hedera helix L.	Boyacá y Cundinamarca
Howea forsteriana	Quindio
Maranta leuconeura E. Morren	Caldas
Nephrolepis exaltata (L.) Schott	Cundinamarca, Nte Santander, Huila, Casanare, Caldas, Tolima, Meta
Philodendron Scandens	Antioquia, Valle, Meta, Boyacá, Magdalena, Cesar.
Phoenix roebelenii O'Brien	Antioquia y Quindio
Rhapis Excelsa	Quindio y Antioquia
Sansevieria trifasciata hort. ex Prain	Antioquia, Arauca, Boyacá, Cauca, Cesar, Chocó, Cordoba, Huila, Meta, Risaralda, Santander, Sucre y Valle.
Schefflera actinophylla (Endl.) Harms	Antioquia, Atlantico.

Fuente: Autor 2015. Adaptado de www.biovirtual.unal.edu.co

Conclusiones

La contaminación atmosférica es un problema ambiental de gran preocupación para los colombianos y es un generador de enormes costos sociales después de la contaminación del agua y de los desastres naturales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014). Los costos estimados en el 2014 fueron alrededor 1,5 billones de pesos anuales, y están relacionados con efectos sobre la salud pública, mortalidad y morbilidad. De manera más concreta, los costos generados por la contaminación del aire interior se estimaron en 415 mil millones de pesos anuales representados en los costos por atención de estas enfermedades y la consecuente muerte de seres humanos. (Larsen, 2004)

De acuerdo con la revisión documental realizada en este trabajo se ha determinado que la presencia de los VOC en el aire de espacios interiores es la principal causa de contaminación. Dichos compuestos provienen de los materiales de construcción de esos espacios, de la contaminación del aire externo, así como de la gran cantidad de productos que utilizan las personas en las tareas y actividades de la vida diaria, bien sea en el hogar o en los lugares de trabajo.

Desde la década de los ochentas se han realizado investigaciones orientadas a depurar el aire contaminado de espacios interiores a partir del uso de plantas vegetales. En estas investigaciones se identificaron especies más efectivas que otras para realizar esta biodepuración.

Todas las plantas en mayor o menor medida poseen esta capacidad depurativa la cual es más o menos efectiva, dependiendo del tipo de VOC que encuentren en su ambiente.

Posteriores estudios han encontrado que no sólo la planta, sino el sistema planta-suelo y todo el microcosmos que comprende, es el que da cuenta de la efectividad de dicha depuración.

Si bien, las medidas más efectivas frente al problema de la contaminación del aire en espacios interiores, siguen siendo la prevención y el control de las fuentes de contaminación, se deben acompañar de una ventilación general de los espacios por algún tiempo en el día.

La investigación sobre plantas biodepuradoras es una realidad mundial en la que trabajan actualmente 41 laboratorios distribuidos 21 países en el mundo, desde diferentes enfoques: investigativo, ambiental, tecnológico y comercial.

Esta tecnología es atractiva, portable, flexible, de bajo costo y puede servir para complementar las medidas que desde la ingeniería deben realizarse para encarar el problema de la contaminación del aire en espacios interiores.

Para garantizar la sostenibilidad del medio ambiente urbano, es fundamental que las consideraciones ambientales, sociales y económicas, se satisfagan. En este sentido, la biodepuración del aire a través de plantas de interior se espera que llegue a convertirse muy pronto, en una tecnología estándar que mejore la calidad del aire interior, el cual es un elemento vital para la instalación de cualquier espacio para el ser humano.

Se encontró que 23 de las 37 plantas mencionadas en este documento se encuentran en territorio Colombiano, principalmente dentro de los departamentos Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda, Valle y Norte de Santander, donde las condiciones son propicias para el crecimiento de dichas especies, lo cual es una ventaja al momento de empezar a hacer estudios puntuales con los diferentes contaminantes, para posteriores investigaciones en torno a este tema.

La técnica más efectiva para limpiar un espacio interior sin duda es identificando los principales contaminantes presentes en ese entorno, luego escoger no sólo una especie si no varias para que cada una realice su respectiva limpieza, de acuerdo a su capacidad de degradación del contaminante para el que fue escogida, teniendo en cuenta la importancia del

sistema plata-maceta que finalmente es el que degrada por medio del sustrato de microorganismos dichos VOC.

Se identificó que cada una de las especies de Plantas mencionadas en esta monografía, tiene capacidad elevada de biodepuración de acuerdo a su respectivo contaminante para la que según estudios está destinada; otras funcionan no sólo para uno si no para varios; es así como por ejemplo la *Gerbera Jamesonni* tiene una capacidad elevada de remoción de Benceno, formaldehido y tricloroetileno en el ambiente; pero si quisiéramos eliminar la presencia de monóxido de carbono específicamente lo ideal sería utilizar una *Dracaena marginata o una Chlorophytum comosum*, que son especies que tienen un microcosmos específico para ello.

Los principales compuestos orgánicos volátiles que se encuentran en espacios cerrados y quienes pueden ser removidos mediante está técnica limpia son: Dióxido de carbono, formaldehído, xyleno, benceno, tricloroetileno, tolueno, amoniaco y monóxido de carbono.

Recomendaciones

Seguir desarrollando dentro de la Universidad esta línea de investigación haciendo pruebas experimentales, mediante sistemas controlados para evaluar la efectiva Biodepuración del aire en recintos cerrados.

La Universidad Distrital debería realizar unas cartillas divulgativas en donde se muestre a manera de resumen, la fuente de los contaminantes, los efectos en la salud y sus respectivas plantas depurantes.

Se recomienda así mismo implementar este documento como el inicio de una nueva línea de investigación dentro de la universidad, generando interés sobre esta nueva tecnología limpia dentro de la comunidad de profesionales afines al ambiente.

Es importante seguir generando investigación con respecto al tema de las Plantas purificantes, ya que en el país aún el tema es desconocido para la mayoría de personas y es en realidad un sistema de limpieza del ambiente con grandes beneficios a futuro, que merece ser estudiado aquí en Colombia y que mejor que en nuestra universidad.

Teniendo en cuenta la Diversidad de especies que se encuentran en nuestro país, se recomienda continuar con la investigación de cada especie y las condiciones óptimas para su crecimiento y biodepuración de contaminantes.

Referencias

ADEME. (09 de 2011). Plantes et épuration de l'air intérieur. Recuperado de http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/avis-ademe-sur-plantes-et-epuration-air-interieur-2013.pdf

ALA, EPA, Consumer Product Safety Commission, American Medical Association. (1994). Indoor air pollution. An introduction for health professionals. Recuperado de http://www.epa.gov/iaq/pdfs/indoor_air_pollution.pdf

Asociación Española para la Cultura, el Arte y la Educación. (2014). La ciencia ecológica. Recuperado de http://www.natureduca.com/cienc_indice.php

Association pour la Prévention de la Pollution Atmospherique Nord-Pas De Calais. (2010). Plantes & qualité de l'air intérieur: Les apports du Programme PHYTAIR. Dossier. Recuperado de http://www.appanpc.fr/_docs/7/Fichier/23-130218120348.pdf

Bernier, A.-M. (2011). Les plantes grimpantes. Recuperado de http://acaba.typepad.fr/files/les_plantes_grimpantes_une_solution_rafraichissante.pdf

Brown, S. (1997). Indoor air quality, Australia: State of the Environment Technical Paper Series (Atmosphere), Department of the Environment, Sport and Territories, Canberra. Recuperado de http://laptop.deh.gov.au/soe/1996/publications/technical/pubs/12indora.pdf

Bruce, N., Perez-Padilla, R., & Albalak, R. (2000). Indoor air pollution in developing countries: a major environmental and public health challenge. *Bulletin of the World Health Organization, 78*(9), 15. Obtenido de Bulletin of the World Health Organization, 78 (9). Recuperado de http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0042-96862000000900004&lng=en&tlng=en. 10.1590/S0042-96862000000900004

Bruce, N., Rehfuess, E., Mehta, S., Hutton, G., & Smith, K. (2006). (Eds.),. En D. Jamison, J. G. Breman, A. R. Measham, G. Alleyne, M. Claeson, D. B. Evans, . . . P. Musgrove, *Disease Control Priorities in Developing Countries* (págs. 793-816). Recuperado de https://books.google.com.co/books?id=Ds93H98Z6D0C&dq=Bruce+disease+control+priorities+in+developing+countries&lr=&hl=es&source=gbs_navlinks_s.

Burchett, M., Torpy, F., Brennan, J., & Craig, A. (2010). Greening the Great Indoors for Human Health and Wellbeing. Recuperado de http://www.ngia.com.au/Attachment?Action=Download&Attachment_id=1153

Bureau Européen des Unions de Consommateurs. (01 de 2005). Emission of chemicals by air fresheners. Recuperado de http://www.env-health.org/IMG/pdf/2005-00133-01-E.pdf

Burge, P. (2004). Sick building syndrome. Recuperado de http://oem.bmj.com/content/61/2/185.short

Carter, E. C., Earnest, M., Gall, E., Guerrero, P., Hun, D., Jackson, M.Lo, J., Stephens, B., Walsh, E. (2009). Priorities in indoor environmental science and health, as students see them. *Indoor Air, 19*, 444-445. Recuperado de http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0668.2009.00632.x/pdf

Central Intelligence Agency. (1962). Scientific intelligence report no 87. The soviet bioastronautics -\ research program. Recuperado de http://www.foia.cia.gov/sites/default/files/document_conversions/49/the_soviet_bio.pdf

Chaudet, G., & Boixiere, A. (22 de 01 de 2009). Plant Air Pur. Les plantes dépolluantes. (R. Editions, Ed.) Recuperado de http://www.plantairpur.fr/web2/upload_fich/plantes_depolluantes_web.pdf

Cuny, D. (2010). État des connaissances sur l'épuration de l'air intérieur par les plantes. *En Atelier: épuration de l'air intérieur par les plantes. Taller desarrollado en el CSTB, Paris, Francia* (pág. 43). Paris: Recuperado de http://www.oqai.fr/userdata/documents/396_Atelier_Plantes_Etat_des_connaissances_Damien_Cuny.pdf.

Cuny, D., & Cuny, M. A. (2010). Marqueur de genotoxicite chez un modele vegetal indicateur de la qualite de l'air interieur - Projet Magic. *Rencontres scientifiques de l'Anses* (pág. 21). Paris, comuna Maisons-Alfort: Recuperado de https://www.anses.fr/sites/default/files/documents/RSC-Co-140520Cuny.pdf.

Cuny, D., Rzepka, M.-A., Bulteau, G., Lakel, A., Devred, I., & Van Haluwyn, C. (2005). Quels rôles les plantes peuvent-elle jouer. Vis a vis de la pollution a línterieur des locaux? Recuperado de http://appa.asso.fr/_docs/7/fckeditor/file/Revues/AirPur/Airpur_69_Cuny.pdf

Dela Cruz, M., Christensen, J., & Müller, R. (19 de June de 2014). Can ornamental potted plants remove volatile organic compounds from indoor air? — a review. *Environ Sci Pollut Res*, 20. Doi: 10.1007/s11356-014-3240-x. Recuperado de https://greenplantsforgreenbuildings.org/wp-content/uploads/2014/09/Dela-Cruz-2014-review-on-phytoremediation-with-indoor-plants-2.pdf

Delgadillo-López, A., González-Ramírez , C. A., Prieto-García, F., Villagomez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. Recuperado de http://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icap/LI_IntGenAmb/Otilio_Sando/1.pdf

Departamento Nacional de Planeación. (2005). Conpes 3344. Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire. Recuperado de https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Uso%20de%20Recursos/Conpes/143005_conpes_3344_Prev_Cont_aire.pdf

European Lung Foundation. (2015). Frecuperado de http://www.europeanlung.org/assets/files/es/publications/indoor-air-pollution-es.pdf

Fjeld, T. (January-March de 2000). The Effect of Interior Planting on Health and Discomfort among Workers and School Children. *HortTechnology*, 46-52. Recuperado de http://horttech.ashspublications.org/content/10/1/46.full.pdf+html?sid=264b9219-073a-466b-99d9-5a713538fe57

Giese, M., Bauer-Doranth, U., Langebartels, C., & Sandermann, H. (1994). Detoxification of Formaldehyde by the Spider Plant (Chlorophytum comosum 1.) and by Soybean (C/ycine max 1.) Cell-Suspension Culture. *Plant Physiol.(1994) 104:*1301-1309. Recuperado de https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC159294/pdf/1041301.pdf

Gonzaga Gutierrez, L. (12 de 2006). Perspectivas de la biotecnología en las ecotecnologías. *Scientia et Technica, XII, 3(32),* 451-456. Recuperado de http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6359/3453

Guo, P., Yokoyama, K., Piao, F., Sakai, K., Khalequzzaman, M., Kamijima, T., & Kitamura, F. (2013). . Sick Building Syndrome by Indoor Air Pollution in Dalian, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 1489-1504. Recuperado de http://www.mdpi.com/1660-4601/10/4/1489.

Huang, C., Lee, J., & Yen, T. (2015). Measuring quantity of indoor/outdoor suspended air particle matter in Southern Taiwan. *Journal of Food, Agriculture & Environment, 13*(2),

218-222. Recuperado de: http://world-food.net/download/journals/2015-issue_2/2015-issue_1-environment/e6.pdf

Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2012). Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2007-2010. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022433/CALIDADDELAIREWEB.pdf

ISO. (01 de 12 de 2011). *ISO 16000-6.* Recuperado de http://www.stdsm.cn/Knowledge/ShowPDF?fileName=IX-ISO&docName=ISO%2016000-6-2011_0151.pdf

Istituto Superiore di Sanità (ISTISAN). (2014). La qualità dell'aria indoor: attuale situazione nazionale e comunitaria. L'esperienza del Gruppo di Studio Nazionale Inquinamento Indoor. En A. Santarsiero, L. Musmeci, & S. Fuselli (Ed.). (pág. 145). Roma: Rapporti ISTISAN 15/4. Recuperado de http://www.iss.it/binary/publ/cont/15_4_web.pdf

Kim, K.J., Jeong, M., Lee, D.W., Song, J.S., Kim, H.D., Yoo, E.H., Jeong, S.J., Han, S.W., Kays, S. Lim, Y-W. & Kim, H-H.(october de 2010). Variation in Formaldehyde Removal Efficiency among Indoor Plant Species. *Hortscience, 45*(10), 1489-1495. Recuperado de https://greenplantsforgreenbuildings.org/wp-content/uploads/2014/09/Formaldehyde-removal-plant-species.pdf

Kim, K., Kil, M., Song, J., Yoo, E., Son, K.-C., & Kays, S. (2008). Efficiency of Volatile Formaldehyde Removal by Indoor Plants: Contribution of Aerial Plant Parts versus the Root Zone. *J. Amer. Soc. Hort. Sci., 133*(4), 521-526. Recuperado de http://journal.ashspublications.org/content/133/4/521.full.pdf+html?sid=a649041b-8447-4aa7-9a31-cf727e3d2ea9

Kirchner, S., Arenes, J., Cochet, C., Derbez, M., Duboudin, C., Elias, P., Gregoire, A., Jédor, B. Lucas, J., Pasquier, N., Pigneret, M., & Ramalho, O. (juillet-août de 2007). État de la qualité de l'air dans les logements français. *Environment, Risques & Santé, 6*(4), 259-269. Doi: 10.1684/ers.2007.0096. Recuperado de http://www.jle.com/fr/revues/ers/e-docs/etat_de_la_qualite_de_lair_dans_les_logements_francais_274816/article.phtml?tab=texte

Larsen, B. (30 de 07 de 2004). Cost of environmental damage: a socio-economic and environmental health risk assessment. Recuperado de http://www.bvsde.paho.org/texcom/cd050996/larsen.pdf

Lioy, & P.J. (2006). Employing dynamical and chemical processes for contaminant mixtures outdoors to the indoor environment: The implications for total human exposure analysis and prevention. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* (16), 207-224. Recuperado de http://www.nature.com.ezproxy.unal.edu.co/jes/journal/v16/n3/pdf/7500456a.pdf

Mauseth, J. (2009). *Botany, an introduction to plant biology.* Recuperado de http://books.google.com.co/books?id=xPLGdYW9t5kC&pg=PA252&dq=heterotroph+fix+carbon&cd=2&hl=en#v=onepage&q=heterotroph%20fix%20carbon&f=false

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Gestión de la Calidad del Aire. Recuperado de http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/163-plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-16

Yoo, M., Kwon, Y. and Son, K. (2006). Efficacy of indoor plants for the removal of single and mixed volatile organic pollutants and physiological effects of the volatiles on the plants.

J. Amer. Soc. Hort. Sci. 131(4): 452-458.2006. Recuperado de http://journal.ashspublications.org/content/131/4/452.full.pdf+html?sid=a649041b-8447-4aa7-9a31-cf727e3d2ea9

NASA. (12 de 2005). Phytoremediation of indoor air: NASA, Bill Wolverton and the development of an industry. Recuperado de http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20120003454.pdf

NASA. (2014). Plants Clean Air and Water for Indoor Environments. Originating Technology/NASA Contribution. Recuperado de http://spinoff.nasa.gov/Spinoff2007/ps_3.html

Observatoire de la Quailité de l'air Interieur (OQAI), Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de Lille & Agencie de L'Environnement et de la Maitrise de L'Energie (ADEME). (2010). L'épuration de l'air intérieur par les plantes: état des connaissances. *Journée technique CSTB*, (págs. 1-44). Paris. Recuperado de http://www.oqai.fr/userdata/documents/395_Actes_Epuration_par_les_plantes_6mai2010.pdf

Organización Mundial de la Salud. (03 de 2014). Contaminación del aire de interiores y salud. Recuperado de http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs292/es/

Organización Panamericana de la Salud. (17 de 10 de 2013). La contaminación del aire es una de las principales causas ambientales de muerte por cáncer . Recuperado de http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9089:outdoor-air-pollution-a-leading-environmental-cause-of-cancer-deaths&Itemid=2&lang=es

Papinchak, H. L., Holcom, E. J., Orendovici Best, T., & Decoteau, D. R. (2009). Effectiveness of Houseplants in Reducing the Indoor Air Pollutant Ozone. *HortTechnology, 19(2),* 286 – 290. Recuperado de http://horttech.ashspublications.org/content/19/2/286.full#ref-14

Plant'air pur. (2015). Plant'airpur. Recuperado de http://www.plantairpur.fr/web2/p189_telechargement.html

Plantes Dépolluantes. (2014). Plantes Depolluantes. Recuperado de http://www.plantes-depolluantes.com/plantes.php

Rumchev, K., Spickett, J., Bulsara, M., Phillips, M., & Stick, S. (2004). Association of domestic exposure to volatile organic compounds with asthma in young children. Recuperado de http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1747137/pdf/v059p00746.pdf

Sénat. (02 de 10 de 2006). Risques chimiques au quotidien : éthers de glycol et polluants de l'air intérieur. Quelle expertise pour notre santé ? Compte-rendu des auditions (tome 2). Recuperado de http://www.senat.fr/rap/r07-176-2/r07-176-251.html

Singh, G. (2009). Plant systematics. An integrated approach. (C. press, Ed.). Recuperado de https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=z6fMBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=plant+systematics+a+phylogenetic+approach+third+edition+pdf&ots=61miLAT8nM&sig=hR_xYIE6lJ-954r7MyHhGdNLJlI#v=onepage&q&f=false

Stutte, G. W. (1 de 2012). Phytoremediation of indoor air*:* NASA, Bill Wolverton, and the development of an industry. Recuperado de http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20120003454.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (09 de 1988). Project summary. Indoor air quality in public buildings: Volume II. Recuperado de *National Service Center for*

Environmental Publications (NSCEP): http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=30003UPO.txt

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (09 de 1988). Project Summary.Indoor air quality in public buildings: Volume I. Recuperado de National Service Center for Environmental Publications (NSCEP): http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=30003UPG.txt

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (February de 1991). Indoor air facts No 4 (revised) Sick building syndrome. Obtenido de http://www.epa.gov/iaq/pdfs/sick_building_factsheet.pdf

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (February de 2000). Introduction to phytoremediation. Recuperado de http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/30003T7G.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995%20Thru%201999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C95THRU99%5CTXT%5C00000016%5C30003T7G.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=p%7Cf&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1

U.S. Environmental Protection Agency. (12 de 1987). A summary of indoor air quality research though 1984. Recuperado de http://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/2000TJA5.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000%20Thru%202005%7C1995%20Thru%201999%7C1991%20Thru%20

1994%7C1986%20Thru%201990%7C1981%20Thru%201985%7C1976%20Thru%2019
80%7CHardcopy%20Publications&Docs=&Query=indoor%20air%20quality%20&Time
=&EndTime=&SearchMethod=2&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QField
Year=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&
XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C86THRU90%5CT
XT%5C00000011%5C2000TJA5.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&S
ortMethod=-
%7Ch&MaximumDocuments=15&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r85g16/r85g16/x150
y150g16/i500&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActi
onS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x#

U.S. Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC). (February de 2009). Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised. Recuperado de http://www.itrcweb.org/Guidance/GetDocument?documentID=64

United Nations. (27 de 09 de 1997). Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution concerning the Control of Emissions of Volatile Organic Compounds or their Transboundary Fluxes. Recuperado de https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-1-d&chapter=27&lang=en

USDA - NRC. (15 de 03 de 2015). The PLANTS Database. Recuperado de http://plants.usda.gov: http://plants.usda.gov/java/citePlants

Vidali, M. (2001). Bioremediation. An overview. Recuperado de http://pac.iupac.org/publications/pac/pdf/2001/pdf/7307x1163.pdf

Wang, Z., Pei, J., & Zhang, J. S. (2014). Experimental investigation of the formaldehyde removal mechanisms in a dynamic botanical filtration system for indoor air purification. *Journal of Hazardous Materials, 280*(0), 235-243. Recuperado de http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.07.059

Wargocki, P., Wyon, D. P., Sundell, J., Clausen, G., & Fanger, P. O. (6 de 4 de 2000). The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, sick building syndrome (sbs) symptoms and productivity. Recuperado de http://journals.munksgaard.dk/indoorair

Weidner, M., & Texeira, J. (2006). Potential and limitations of ornamental plants for indoor-air purification. *Floriculture, ornamental and plant biotechnology, IV*, 55-63. Recuperado de http://www.dghk.net/datenbank/Weidner+und+andere+2006.PDF

Wolverton, B., & Wolverton, J. (1992). Interior plants: Their influence on airbone microbes inside energy-efficient buildings. Recuperado de https://greenplantsforgreenbuildings.org/wp-content/uploads/2014/09/Wolverton-Interior-Plants_1992.pdf

Wolverton, B., McDonald, R., & Watkins, E. J. (Apr.-Jun. de 1984). Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy-efficient homes. *Economic Botany, 38*(2), 224-228. Recuperado de http://www.jstor.org/stable/pdf/4254614.pdf?acceptTC=true

Wolverton, B., Willard, L., & Bounds, K. (1989). A study on interior landscape plants for indoor air pollution abatement. An interim report. NASA - Stennis Space Center. Recuperado de http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19930073077.pdf

Wood, R. A., Burchett, M. D., Alquezar, R., Orwell, R. L., Tarran, J., & Torpy, F. (2006). The potted-plant microcosm substantially reduces indoor air voc pollution: i. Office field-

study. Obtenido de Water, air and soil pollution: http://www.urbangarden.co.nz/pdfs/potted-plant-microcosm-office-field-study.pdf

World Health Organization (WHO) & International Programme on Chemical Safety (IPCS). (1997). Report & presentations of a joint symposium on the indoor environment & respiratory illness, including allergy. Reporte, Ustroñ (Polonia). Recuperado de: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/64243/1/PCS_98.16.pdf?ua=1

World Health Organization. (23-27 de 08 de 1987). Indoor air quality: Organic pollutants. Recuperado de http://whqlibdoc.who.int/euro/r&s/EURO_R&S_111.pdf

World Health Organization. Regional Office for Europe. (8-11 de june de 1982). Indoor air pollutants: exposure and health effects. Recuperado de http://whqlibdoc.who.int/euro/r&s/EURO_R&S_78.pdf

World Health Organization. Regional Office for Europe. (2010). WHO Guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Recuperado de http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf

Yoo, M., Kwon, Y., & Son, K. (2006). Efficacy of indoor plants for the removal of single and mixed volatile organic pollutants and physiological effects of the volatiles on the plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*, 452-458. 2006. Recuperado de http://journal.ashspublications.org/content/131/4/452.full.pdf+html?sid=a649041b-8447-4aa7-9a31-cf727e3d2ea9

Zhou, J., Qin, F., Liao, J.-W., & Xu, H. (july-october de 2011). Purification of formaldehyde-polluted air by indoor plants of Araceae, Agavaceae and Liliaceae. *Journal of Food, Agriculture & Environment, 9*(3 & 4), 1012-1018. Recuperado de http://world-food.net/download/journals/2011-issue_3_4/072(2).pdf

Zhou, J., Yue, B., Chen, S., & Xu, H.-l. (2013). Response of Marantaceae and Pteridophytes potted plants for purification of formaldehyde polluted air. *African Journal of agricultural Research, 8*(47), 6027-6033. 5 December, 2013. DOI: 10.5897/AJAR12.857. Recuperado de: http://www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/3A03D8142107